

ЕЛЕНА ИГОРЕВНА РАТЬКОВА

старший преподаватель кафедры систем автоматизированного проектирования строительного факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

ratjкова@mail.ru

ВЛАДИМИР СЕРГЕЕВИЧ СЮНЁВ

доктор технических наук, профессор, проректор по научно-исследовательской работе, заведующий кафедрой тяговых машин лесоинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

sionnev@psu.karelia.ru

ВАСИЛИЙ КУЗЬМИЧ КАТАРОВ

кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного транспорта и геодезии лесоинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

vkatarov@psu.karelia.ru

ВЛИЯНИЕ ЦИКЛА «ЗАМОРАЖИВАНИЕ – ОТТАИВАНИЕ» НА МОДУЛЬ ДЕФОРМАЦИИ И КОЭФФИЦИЕНТ СЖИМАЕМОСТИ СУГЛИНКОВ*

Рассмотрено влияние цикла «замораживание – оттаивание» на модуль деформации и коэффициент сжимаемости лесных почвогрунтов на примере суглинка легкого пылеватого. Приведена методика исследования и результаты испытаний. В лабораторных условиях подтверждено, что цикл «замораживание – оттаивание» служит причиной увеличения коэффициента сжимаемости и уменьшения модуля деформации. Практическое значение полученных результатов определяется возможностью их использования для прогнозирования глубины колеи в межсезонные периоды и обоснования укрепления волоков лесосечными отходами.

Ключевые слова: почвогрунты, модуль деформации, коэффициент сжимаемости, межсезонные периоды, глубина колеи

ВВЕДЕНИЕ

Повсеместное применение современных лесозаготовительных и лесотранспортных машин в значительной степени затруднено по причине недостаточной развитости и несущей способности путей транспорта леса. Ограничения на их применение определяются условиями колеообразования и величиной клиренса, давлением движителя на поверхность транспортных путей и несущей способностью почвогрунтов. Характерным является пример Северо-Западного федерального округа, на лесных территориях которого преобладают почвогрунты, чья несущая способность в безморозный период недостаточна для использования современной лесозаготовительной техники.

Промерзание лесных почвогрунтов на достаточную глубину снимает ограничения на применение лесозаготовительных машин. Однако и в зимний период теплоизолирующее влияние снежного покрова и оттепели часто вносят неопределенность в оперативное планирование лесозаготовок. В межсезонные периоды по причине более интенсивного колеообразования объективно формируются ограничения на количество проходов лесозаготовительных машин, что усложняет

разработку технологических схем освоения лесосеки в условиях развивающейся, но недостаточной дорожно-транспортной инфраструктуры лесопользования. В определенной мере компенсировать недостаточное количество путей лесотранспорта позволит изучение дополнительных возможностей их эксплуатации в межсезонные периоды.

Появляющаяся в этой связи многоплановая проблема технологически возможной и экономически целесообразной интенсификации использования дорожно-транспортной инфраструктуры и дорогостоящей лесозаготовительной техники в межсезонные периоды с учетом требований рационального природопользования приобретает особую актуальность в современных условиях. Соответственно, для решения научно-практических задач, связанных с данной проблемой, требуется разработка как экспериментальных методов, так и методов математического моделирования. При разработке методик решения данных задач необходимо учитывать российский и зарубежный опыт. Данная работа выполнена с учетом условий функционирования лесопромышленного комплекса в Северо-Западном регионе Российской Федерации.

КРАТКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Опыт решения ряда задач по развитию транспортной инфраструктуры лесной отрасли Финляндии отражен в работе [2]. Использование этого опыта возможно после его адаптации к условиям российских регионов. Вклад в решение этой задачи вносит работа [9], из которой, в частности, следует, что как в финских, так и в российских методиках проектирования лесных дорог учитываются усредненные зависимости несущей способности грунта от его гранулометрического состава и накопления в нем влаги.

Воздействие колесных движителей на лесные почвогрунты рассмотрено в статье [5], в которой предложены математические модели послойного уплотнения почвогрунта крупногабаритными шинами с развитыми грунтозацепами.

Задача распределения проходов трелевочного трактора по длине волока с учетом колеекобразования рассмотрена в статье [10]. Предложено уменьшать в процессе трелевки расчетную рейсовую нагрузку на трактор в зависимости от прогнозируемого увеличения глубины колеи на участках волока со слабой несущей способностью грунта.

В статье [8] сжимаемость почв и грунтов изучена как процесс разрушения их микроструктуры, элементы которой проявляют свойства упругости и вязкопластичности. Предложена модель сжимаемости, основанная на известных представлениях о микроструктуре и выявленном автором эффекте цикличности скорости деформирования почв и грунтов.

Методика определения глубины колеи с учетом прочности грунта смятию предложена в статье [15].

В статье [7] предложена многокомпонентная модель лесной почвы как опорной поверхности движения лесохозяйственных машин.

Краткий обзор других публикаций по затронутой теме приведен в статье [11]. Не останавливаясь на детальном анализе публикаций, заметим, что авторы многих работ отмечают сложность и недостаточную изученность системы «лесозаготовительная машина – почвогрунт». При этом к числу наиболее сложных и актуальных относится названная выше задача моделирования техногенного воздействия на лесные почвогрунты с учетом особенностей межсезонных периодов [12].

Для прогнозирования техногенного воздействия в работе [11] предложена двухпараметрическая модель для определения глубины колеи в зависимости от числа проходов лесозаготовительной машины. В модели используется логистическое уравнение. Аналогичное уравнение использовано в качестве корреляционной зависимости с четырьмя параметрами в методике расчета осадки насыпи на слабых грунтах [14].

Применение логистического уравнения в моделях колеекобразования рассмотрено в работах [11], [12].

Анализ представленных выше работ показал, что теоретическое определение глубины колеи после первого прохода колесной или гусеничной машины возможно, если известны модуль деформации, пористость и другие характеристики почвогрунта [6]. Эти характеристики для усредненных почвенно-климатических условий можно найти в справочной литературе [9]. Однако оценка их зависимости от почвенно-климатических условий региона в межсезонные периоды требует продолжения исследований для уточнения представлений о процессах колеекобразования на почвогрунтах при воздействии лесозаготовительных машин.

В данной статье рассматривается влияние цикла «замораживание – оттаивание» на физико-механические характеристики почвогрунтов. Такие циклы неоднократно повторяются в межсезонные периоды «зима – весна» и «осень – зима». Известно, что вода, превращаясь в лед, увеличивает свой объем примерно на 9 %. Почвогрунт естественной влажности неспособен противодействовать такому увеличению объема содержащейся в нем воды (в форме льда). С изменением объема появляются внутренние силы, разрушающие связи между частицами почвогрунта. Вследствие этого могут различаться его физические свойства до замораживания и после оттаивания. Очевидно, особенно заметными эти различия будут в межсезонные периоды, для которых характерна высокая естественная влажность почвогрунтов и повторение циклов «замораживание – оттаивание».

Заметим, что внешнее проявление увеличения объема влажного грунта при отрицательных температурах хорошо известно и обозначается термином «морозное пучение».

Значимость изменения физико-механических свойств грунтов в межсезонные периоды находит отражение в строительной классификации грунтов как в России, так и за рубежом. Сравнение российских и финских классификаций грунтов применительно к проектированию, строительству и содержанию лесных дорог приведено в книге [3].

Морозное пучение является проявлением сложных процессов изменений состояния воды и структуры грунта. Детальный анализ этих изменений выходит за рамки данной работы. Рассмотрим только недостаточно изученный, что показал анализ литературы [2], [3], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], вопрос о влиянии цикла «замораживание – оттаивание» на изменения коэффициента сжимаемости и модуля деформации грунта. Рассмотрение этого вопроса необходимо для уточнения представлений о процессах колеекобразования в межсезонные периоды.

Очевидно, замораживание почвогрунта естественной влажности и фазовые превращения

воды служат причиной, по которой структура и, соответственно, физические свойства почвогрунта после цикла «замораживание – оттаивание» могут отличаться от свойств того же почвогрунта до его замораживания. В данной работе рассмотрено влияние цикла «замораживание – оттаивание» на коэффициент сжимаемости и модуль деформации суглинка.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости грунтов, в том числе мерзлых, изложены в [4]. Лабораторные эксперименты выполнялись на стандартном оборудовании по методике, общепринятой в механике грунтов. Одна часть образцов испытывалась до замораживания, другая часть образцов того же грунта испытывалась после цикла «замораживание – оттаивание». Замораживание образцов осуществлялось в морозильной камере при температуре -8°C в течение 8 часов. Оттаивание – при температуре $+10^{\circ}\text{C}$ в течение 8 часов. По результатам измерений для каждого образца определялась компрессионная зависимость, вычислялись коэффициент сжимаемости и модуль деформации. Результаты испытаний приведены в таблице.

Характеристики грунта до замораживания и после оттаивания

Состояние	Коэффициент сжимаемости m_1 , МПа $^{-1}$	Коэффициент относительной сжимаемости m_0 , МПа $^{-1}$	Модуль деформации E , МПа
До замораживания	0,546	0,303	10,1
После оттаивания	0,827	0,459	9,1
Изменение, %	+51,5	+51,5	-9,9

*Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ в рамках реализации комплекса мероприятий по развитию научно-исследовательской деятельности на 2012–2016 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Герасимов Ю. Ю., Давыдков Г. А., Кильпеляйnen С. А., Соколов А. П., Сунёв В. С. Перспективы применения новых информационных технологий в лесном комплексе // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2003. № 5. С. 122–129.
- Герасимов Ю. Ю., Карвинен С., Сунёв В. С., Соколов А. П., Катаров В. К. Развитие транспортной инфраструктуры лесной отрасли – опыт Финляндии // Транспортное дело России. 2009. № 77. С. 99–102.
- Герасимов Ю. Ю., Катаров В. К. Лесные дороги. Иоэнсуу, 2009. 70 с.
- ГОСТ 12248–2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.
- Григорьев И. В., Шкрум В. Д. Теория послойного уплотнения почвы крупногабаритными шинами лесопромышленного трактора // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2005. № 175. С. 134–141.
- Катаров В. К., Сунёв В. С., Ратькова Е. И., Герасимов Ю. Ю. Влияние форвардеров на лесные почвогрунты // Resources and Technology. 2012. Т. 9. № 2. С. 73–81.
- Коршун В. Н. Основы механики лесной почвы // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2006. № 4. С. 47–54.
- Ляшенко П. А. Природа сжимаемости почв и грунтов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2006. № 19. С. 9–28.
- Матвеенко Л. С. Автомобильные лесовозные дороги: Справочник. М.: Экология, 1991. 336 с.
- Пискунов М. А., Воронов Р. В., Васильев В. Н., Воронова А. М. Распределение проходов по длине волока и расчет рейсовых нагрузок трелевочного трактора при движении по грунтам с низкой несущей способностью на примере хлыстовой технологии заготовки леса // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2011. № 73.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты испытаний показали, что цикл «замораживание – оттаивание» увеличивает коэффициент сжимаемости суглинка на 51 % и уменьшает модуль деформации на 10 %. Эти данные могут быть использованы на практике для прогнозирования глубины колеи на путях транспорта леса. Например, по причине оттепелей, прежде всего в межсезонные периоды, возможно локальное увеличение глубины колеи на некоторых избыточно увлажненных участках волока. Принимая во внимание метеорологические данные о температуре и учитывая характеристики почвогрунтов, можно, например, по известной методике [11] определить величину колеи для конкретного вида лесозаготовительной машины [6]. Если прогнозируемая глубина колеи окажется недопустимо большой, то на данном участке может быть рекомендовано локальное укрепление путей первичного транспорта лесосечными отходами.

Очевидно, целесообразно формирование региональной базы данных о свойствах лесных почвогрунтов различных типов с учетом сезонных и межсезонных изменений [12]. Оперативность практического применения базы данных может быть обеспечена использованием интернет-технологий [1]. Актуальность данной задачи подтверждается опытом России и Финляндии [2], [3].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лабораторными испытаниями образцов суглинка подтверждено, что цикл «замораживание – оттаивание» служит причиной увеличения коэффициента сжимаемости и уменьшения модуля деформации. Практическое значение полученных результатов определяется возможностью их использования для определения прогнозируемой глубины колеи в межсезонные периоды в целях обоснования укрепления путей транспорта леса лесосечными отходами.

11. Ратькова Е. И. Моделирование техногенного воздействия на лесные почвогрунты с учетом особенностей межсезонных периодов // Леса России в XXI веке: Материалы шестой междунар. науч.-техн. Интернет-конференции. Март 2011 г. СПб.: СПбГЛТА, 2011. С. 227–234.
12. Сюнёв В. С., Ратькова Е. И. Методика прогнозирования воздействия лесозаготовительных машин на почвогрунты в межсезонные периоды // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2012. № 6 (127). С. 70–74.
13. Сюнёв В. С., Соколов А. П., Коновалов А. П., Катаров В. К., Селиверстов А. А., Герасимов Ю. Ю., Карвиен С., Вялькую Э. Сравнение технологий лесосечных работ в лесозаготовительных компаниях Республики Карелия // НИИ леса Финляндии METLA. Йоэнсуу, 2008. 126 с.
14. Усовершенствованная методика расчета осадки насыпи на слабых грунтах на основе реализации математических моделей процессов лабораторных испытаний образцов // Государственный дорожный научно-исследовательский институт ФГУП «СОЮЗДОРНИИ». М., 2002.
15. Ципук А. М., Родионов А. В. Определение глубины колеи лесных машин // Лесная промышленность. 2004. № 2. С. 21–22.

Rat'kova E. I., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
 Syunev V. S., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
 Katarov V. K., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

EFFECT OF “FREEZING AND DEFROSTING” ON DEFORMATION MODULE AND COEFFICIENT OF CLAY LOAM REDUCTION

The effect of “freezing and defrosting” cycle on the module of deformation and compressibility coefficient of wood soils on the example of easy dust loam is considered. Methods of research and obtained results are provided. In laboratory settings, it was proven that the “freezing and defrosting” cycle accounts for the increase of compressibility coefficient and decrease of the model of deformation. Practical significance of the obtained results is defined by the possibility of their use to predict the depth of the track during off-season period and to substantiate strengthening of the skidding track by wood debris.

Key words: wood soils, module of deformation, compressibility coefficient, off-season periods, track depth

REFERENCES

1. Герасимов Ю. Ю., Давыдков Г. А., Кильпеляйnen S. A., Соколов А. П., Сунев В. С. Prospects of New Technologies’ Use in Forest Industry [Perspektivnye primeneniya novykh informatsionnykh tekhnologiy v lesnom komplekse]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Forest Journal]. 2003. № 5. P. 122–129.
2. Герасимов Ю. Ю., Карвиен С., Сунев В. С., Соколов А. П., Катаров В. К. Transportation Infrastructure in Forest Industry – Finnish Experience [Razvitiye transportnoy infrastruktury lesnoy otrassli – opyt Finlyandii]. *Transportnoe delo Rossii* [Transportation Issue of Russia]. 2009. № 77. P. 99–102.
3. Герасимов Ю. Ю., Катаров В. К. *Lesnye dorogi* [Forest Roads]. Joensuu, Forest Research Institute of Finland, 2009. 70 p.
4. GOST 12248–2010. *Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya kharakteristik prochnosti i deformiruemosti* [All-Union State Standards 12248–2010. Sub-soils. Methods of Strength Characteristics and Deformation Scale Definition].
5. Григорьев И. В., Шкрум В. Д. Theory of Soil Consolidation by Forest Industry Tractor Retires of Large Dimension [Teoriya posloynogo uplotneniya pochvy krupnogabaritnymi shinami lesopromyshlennogo traktora]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Proceedings of Saint-Petersburg Forest Academy]. 2005. № 175. P. 134–141.
6. Катаров В. К., Сунев В. С., Рат'кова Е. И., Герасимов Ю. Ю. Influence of Forwarders on wood soils [Vliyanie forvarderov na lesnye pochvo-grunty]. *Resources and Technology*. 2012. Т. 9. № 2. P. 73–81.
7. Коршун В. Н. Foundations of Wood-soils Mechanics [Osnovy mehaniki lesnoy pochvy] *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Forest Journal]. 2006. № 4. P. 47–54.
8. Ляшенко П. А. Nature of Soils’ Decrease [Priroda szhimaemosti pochy i gruntov]. *Politematicheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic Net Journal of Kuban State Agricultural University]. 2006. № 19. P. 9–28.
9. Матвеенко Л. С. *Avtomobil'nye lesovoznye dorogi* [Automobile Hauling Roads]. Moscow, Ekologiya Publ., 1991. 336 p.
10. Пискунов М. А., Воронов Р. В., Васильев В. Н., Воронова А. М. Distribution of tracks along skidding roads and calculation of trailing tractor’s load on wood-soils on the examples of tree-length timber harvesting [Raspredelenie prokhodov po dline voloka i raschet reysovyykh nagruzok trelevochnogo traktora pri dvizhenii po gruntam s nizkoy nesushchey sposobnost’yu na primere khlystovoy tekhnologii zagotovki lesa]. *Politematicheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic Net Journal of Kuban State Agricultural University]. 2011. № 73.
11. Рат’кова Е. И. Modeling of man-induced impact on wood soils including special features of transitional seasons [Modelirovaniye tekhnogennogo vozdeystviya na lesnye pochvogrunty s uchetom osobennostey mezhezonnykh periodov]. *Lesa Rossii v XXI veke* [Russian Forests in XXI century]. St. Petersburg, SPbGLTA Publ., 2011. P. 227–234.
12. Сунев В. С., Рат’кова Е. И. Methods Prognosticating Harvesters’ Impact on Soils during Transitional Seasons [Metodika prognozirovaniya vozdeystviya lesozagotovitel’nykh mashin na pochvogrunty v mezhezonnye periody] Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. “Estestvennye i tehnicheskie nauki” [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural & Engineering Sciences]. 2012. № 6 (127). P. 70–74.
13. Сунев В. С., Соколов А. П., Коновалов А. П., Катаров В. К., Селиверстов А. А., Герасимов Ю. Ю., Карвиен С., Вялькую Э. Сравнение технологий лесосечных работ в лесозаготовительных компаниях Республики Карелия [Comparison of logging operation technologies in forest harvesting companies of Karelia]. Joensuu, SRI of Finland METLA, 2008. 126 p.
14. Усовершенствованная методика расчета осадки насыпи на слабых грунтах на основе реализации математических моделей процессов лабораторных испытаний образцов [Advanced calculation methods of embankment displacement on weak soils with the use of mathematical models obtained in laboratory settings]. Moscow, State Road Construction Institute “SOYUZDORNII”, 2002.
15. Ципук А. М., Родионов А. В. Definition of the track depth induced by the forest vehicles [Opredelenie glubiny kolei lesnykh mashin]. *Lesnaya promyshlennost’* [Forest Industry]. 2004. № 2. P. 21–22.