

DOI: 10.58168/E-SESTTI2025_12-15

УДК 630*36

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ
ДВИЖИТЕЛЕЙ ЛЕСНЫХ МАШИН НА ПОЧВОГРУНТЫ КРАЙНЕГО СЕВЕРА**
PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS OF THE IMPACT
OF FOREST MACHINERY PROPELLERS ON THE SOILS OF THE FAR NORTH

Дьяченко В.М., аспирант ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», Россия, Санкт-Петербург.

Гурьев А.Ю., ассистент, ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет», Россия, Якутск.

Новгородов Д.В., ассистент, ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет», Россия, Якутск.

Dyachenko V.M., Postgraduate Student, FGBOU VO «St. Petersburg State University of Industrial Technology and Design», Saint Petersburg, Russia

Guryev A.Y., assistant, FGBOU VO «Arctic State Agrotechnological University», Yakutsk, Russia.

Novgorodov D.V., Postgraduate Student, FGBOU VO «Arctic State Agrotechnological University», Yakutsk, Russia.

Аннотация: В настоящее время в связи с динамичным освоением территории Крайнего Севера Российской Федерации все острее встает вопрос возможных негативных экологических последствий, путей их минимизации. В лесах Крайнего Севера проводятся лесохозяйственные работы, с использованием колесных и гусеничных машин, которые могут оказывать негативное воздействие на почвогрунты. В связи с этим требуется уточнение известных математических моделей взаимодействия движителей машин и почвогрунтов, учитывающих специфику сложения почвогрунтов Крайнего Севера. Работа выполнена в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства». Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-16-00092, <https://rscf.ru/project/23-16-00092/>.

Abstract: Currently, due to the dynamic development of the territory of the Far North of the Russian Federation, the issue of possible negative environmental consequences and ways to minimize them is becoming more acute. Forestry operations are carried out in the forests of the Far North using wheeled and tracked vehicles, which can have a negative impact on soils. In this regard, it is necessary to refine the well-known mathematical models of the interaction of propulsion machines and soils, taking into account the specifics of the composition of soils in the Far North. The work was carried out within the framework of the scientific school "Innovative developments in the field of the logging industry and forestry". The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 23-16-00092, [https://rscf.ru/project/23-16-00092 /](https://rscf.ru/project/23-16-00092/).

Ключевые слова: лесные машины, почвогрунты, многолетняя мерзлота, Крайний Север.

Keywords: forest machinery, soils, permafrost, the Far North.

Проблематике воздействия движителей лесных машин на почвогрунты лесосек посвящено большое количество теоретических и экспериментальных работ отечественных и зарубежных ученых. В последнее время в отдельном научном направлении в лесоинженерном деле является проблематика изучения воздействия колесных и гусеничных движителей лесных машин на почвогрунты лесов криолитозоны – лесов на многолетней мерзлоте. В данном вопросе лидирующие позиции, в настоящее время, занимает научная школа «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» Арктического государственного агротехнологического университета, возглавляемая д.т.н., проф. И.В. Григорьевым.

В рамках данного направления теоретических исследований участниками научной школы разработаны и исследованы математические модели воздействия колесных и гусеничных движителей лесных машин на почвогрунты криолитозоны, на равнинной местности, и на склонах, с учетом специфики сложения данного объекта воздействия [1-4]. Экспериментальным путем исследована динамика температур верхних слоев многолетней мерзлоты на лесосеках. Эти научные данные позволили дать обоснованные рекомендации по оптимальным параметрам и показателям работы колесных и гусеничных машин в данных специфических условиях эксплуатации.

Разумеется, вопрос степени негативного воздействия движителей лесных машин на почвогрунты остро встает только в теплый период года, когда начинает оттаивать и насыщаться влагой слой сезонной мерзлоты. Это приводит к резкому падению сопротивления верхнего слоя почвогрунта касательным напряжениям, возникающим при реализации касательной силы тяги движителями перемещающихся по ним машин. Причем в условиях склонов на многолетней мерзлоте, в теплое время года, необходимо дополнительно учитывать эффект солифлюкции, возникающий из-за резкого падения сил сцепления верхнего слоя почвогрунта и оттаивающего слоя сезонной мерзлоты, а также из-за действия силы тяжести, что может приводить даже к самопроизвольному «съезду» массива почвогрунта вниз по склону.

Как известно, одним из наиболее негативных последствий воздействия движителей лесных машин на почвогрунты является образование глубокой колеи, которая может стать очагом водной эрозии и заболачивания. Колея образуется как под действием нормальной нагрузки, передаваемой движителем машины на почвогрунт, и приводящей к выдавливанию почвогрунта за пределы колеи, так и под действием касательных сил, реализуемых движителем, и вызывающих сдвиг слоев почвогрунта в колею в направлении обратном направлению движения машины.

Из-за сильного переувлажнения верхнего слоя сезонной мерзлоты почвогрунты криолитозоны в теплый период года становятся значительно более чувствительными к негативному воздействию движителей, по сравнению с лесными почвогрунтами других лесов России, а из-за сильной заторможенности биологических процессов, протекающих в почвогрунтах, последствия негативного воздействия движителей сказываются значительно дольше, по сравнению с лесными почвогрунтами других лесов России.

В теории и практике лесоинженерного дела эффективность работы лесных машин принято оценивать показателями экологической эффективности (в основном это степень

негативного воздействия на почвогрунты) и показателями эксплуатационной эффективности, к которым, прежде всего, относится энергетическая эффективность – расход топлива (энергии) на единицу площади лесосеки, или длины пути по волокам и технологическим коридорам ($\text{кВт}\cdot\text{ч/га}$, или $\text{кВт}\cdot\text{ч/км}$). Известно, что с увеличением глубины колеи расход топлива, что у колесных, что у гусеничных машин увеличивается, что вызвано затратами энергии на деформацию опорной поверхности. Это позволяет утверждать, что с ростом глубины колеи ухудшаются показатели и эксплуатационной и экологической эффективности работы лесных машин.

Как было отмечено выше, в качестве отдельного научного направления в лесоинженерном проблематика изучения воздействия колесных и гусеничных движителей лесных машин на почвогрунты лесов криолитозоны выделилась относительно недавно. И для качественной верификации разработанных и разрабатываемых математических моделей взаимодействия колесных и гусеничных, а также комбинированных движителей лесных машин с мерзлотными почвогрунтами пока еще не набран достаточный объем экспериментальных данных по физико-механическим свойствам почвогрунтов криолитозоны, с учетом значительной вариативности их водно-теплового режима в теплый период года.

В этой связи наиболее перспективным направлением дальнейших исследований в области совершенствования и уточнения прогнозных математических моделей результатов воздействия колесных и гусеничных лесных машин на почвогрунты Крайнего Севера будет проведение достаточного для полноценного набора данных о физико-механических свойствах почвогрунтов криолитозоны, с учетом значительной вариативности их водно-теплового режима в теплый период года, натурных экспериментальных исследований. А также разработка пакетов прикладных программ и баз данных для автоматизации прогнозных расчетов результатов воздействия колесных и гусеничных лесных машин на почвогрунты Крайнего Севера.

Необходимо учитывать, что известный и достаточно широко применяемый многими лесозаготовительными предприятиями России способы поддержания работоспособности трасс трелевочных волоков и технологических коридоров в теплый период года, и, соответственно, снижения колееобразования – укладка на них слоя порубочных остатков в условиях почвогрунтов Крайнего Севера не дает известного экологического эффекта, поскольку крайне заторможенный круговорот веществ в мерзлотных почвогрунтах не способствует разложению порубочных остатков, и в дальнейшем они могут становиться очагами температурной эрозии.

Как показали результаты информационного поиска, наиболее экологически эффективным вариантом защиты почвогрунтов Крайнего Севера от негативного воздействия движителей лесных машин будет являться предварительная укладка на трассы волоков и технологических коридоров сборно-разборных дорожных покрытий из пластиковых дорожных матов, но проблема их широкого использования заключается в том, что они дорого стоят [5]. В этой связи весьма перспективным направлением дальнейших исследований становится вариант увязки порубочных остатков в пакеты, перед их укладкой

на трассы волоков и технологических коридоров, что сделает возможных и последующую выемку и вывоз с территории лесосек.

Список литературы

1. Рудов С.Е., Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Куницкая О.А., Григорьева О.И. Прогнозная модель воздействия трелевочной системы на лесной почвогрунт в сложных сезонно-климатических условиях // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2020. № 5 (377). С. 131-144.
2. Рудов С.Е., Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Куницкая О.А., Григорьева О.И. Исследование процесса разрушения мерзлых и оттаивающих почвогрунтов при воздействии трелевочной системы // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2020. № 2 (374). С. 101-117.
3. Рудов С.Е., Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Куницкая О.А., Григорьева О.И. Особенности контактного взаимодействия трелевочной системы с мерзлым почвогрунтом // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2019. № 1 (367). С. 106-119.
4. Каляшов В.А., Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Куницкая О.А., Должиков И.С., Друзьянова В.П. Формирование колеи движителем лесной машины на склоне оттаивающего почвогрунта криолитозоны с учетом эффекта солифлюкции // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2024. № 3 (399). С. 140-152.
5. Зорин М.В., Куницкая О.А. Типы современных пластиковых плит для строительства временных лесных дорог и технологических коридоров // Деревянное домостроение Севера: традиции и инновации. Сборник статей по материалам всероссийской научно-практической конференции. Петрозаводск, 2023. С. 28-30.

References

1. Rudov S.E., Shapiro V.Ya., Grigorev I.V., Kunitskaya O.A., Grigoreva O.I. Predictive model of the impact of a skidding system on forest soil in difficult seasonal and climatic conditions // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Forest magazine. 2020. No. 5 (377). pp. 131-144.
2. Rudov S.E., Shapiro V.Ya., Grigorev I.V., Kunitskaya O.A., Grigoreva O.I. Investigation of the process of destruction of frozen and thawing soils under the influence of a skidding system // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Forest magazine. 2020. No. 2 (374). pp. 101-117.
3. Rudov S.E., Shapiro V.Ya., Grigorev I.V., Kunitskaya O.A., Grigoreva O.I. Features of the contact interaction of the skidding system with frozen soil // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Forest magazine. 2019. No. 1 (367). pp. 106-119.
4. Kalyashov V.A., Shapiro V.Ya., Grigorev I.V., Kunitskaya O.A., Dolzhikov I.S., Druzyanova V.P. Formation of a track by a forest engine on the slope of a thawing cryolithozone soil, taking into account the effect of solifluction // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal. 2024. No. 3 (399). pp. 140-152.
5. Zorin M.V., Kunitskaya O.A. Types of modern plastic slabs for the construction of temporary forest roads and technological corridors // Wooden house construction in the North: traditions and innovations. Collection of articles based on the materials of the All-Russian scientific and practical conference. Petrozavodsk, 2023. pp. 28-30.