

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ГУСЕНИЧНОЙ ТЕХНИКИ В ЛЕСАХ КРИОЛИТОЗОНЫ

Юрий Анатольевич Карасев, Виктор Михайлович Дьяченко,
Владимир Александрович Марков

Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета
промышленных технологий и дизайна, Санкт-Петербург, Россия

© Карасев Ю. А., Дьяченко В. М., Марков В. А., 2026

Автор-корреспондент: В. А. Марков, e-mail: mactor85@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена исследованию воздействия гусеничной и колесной техники на почвогрунты криолитозоны, представляющей собой особый регион земного шара, характеризующийся присутствием многолетнемерзлых пород. Авторы установили, что применение гусеничной техники позволяет минимизировать негативное воздействие на экологию лесов вечной мерзлоты по сравнению с использованием колесной техники. Этот положительный эффект достигается благодаря большему размеру пятна контакта элементов движителя с поверхностью почвы. Рассмотрены ключевые характеристики криолитозоны, включая наличие многолетней мерзлоты, зональность распространения, толщину мерзлого слоя, температурный режим и виды мерзлотных образований. Обозначено, что наличие многолетней мерзлоты создает особые условия для строительства инфраструктуры, добычи полезных ископаемых и сельскохозяйственного освоения земель. Подробно описаны трудности, связанные с освоением этих территорий, необходимость специальных технологий и оборудования, адаптированных к условиям мерзлых грунтов. Приведены статистические данные о распределении различных типов лесов на территориях с многолетней мерзлотой, подчеркивая важность северотаежных и притундровых лесов с точки зрения экологии. Проведен детальный анализ влияния различной лесной техники на состояние почвогрунтов, показано преимущество гусеничной техники перед колесной благодаря увеличенному пятну контакта. Упоминаются экспериментальные проекты, такие как шагающие харвестеры, направленные на уменьшение разрушительного воздействия на лесные массивы, хотя их коммерческое внедрение оказалось затруднительным. Отмечаются преимущества гусеничной техники в условиях Крайнего Севера, включая простоту конструкции, производства и обслуживания, а также лучшая проходимость на сложных почвах. Вместе с тем указаны недостатки, такие как больший расход топлива и худшие динамические характеристики. Исследование подтверждает, что выбор гусеничной техники для работы в лесах криолитозоны обоснован как с экологической, так и с технической точек зрения. Результаты анализа имеют важное значение для повышения эффективности и устойчивости лесного хозяйства в экстремальных климатических условиях.

Ключевые слова: криолитозона, лесные машины, пятно контакта, почвогрунт, гусеничные машины, колесные машины

Для цитирования: Карасев Ю. А., Дьяченко В. М., Марков В. А. Экологическое обоснование применения гусеничной техники в лесах криолитозоны. // Технология и энергетика. 2026. № 1 (1). С. 58–65. DOI: 10.46418/3033-7852_2026_1_1_58-65

ENVIRONMENTAL JUSTIFICATION FOR EMPLOYING TRACKED MACHINERY IN CRYOLITHOZONE FORESTS

Yuri Anatolyevich Karasev, Viktor Mikhailovich Dyachenko, Vladimir Aleksandrovich Markov

Higher School of Technology and Energy, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Saint Petersburg, Russia

Corresponding author: V.A. Markov, e-mail: mactor85@mail.ru

ABSTRACT

This article investigates the impact of tracked and wheeled vehicles on the soils of the cryolithozone, a unique global region characterized by the presence of permafrost. The authors established that the use of tracked vehicles minimizes



the negative impact on the ecology of permafrost forests compared to using of wheeled vehicles. This positive effect is achieved due to the larger contact patch between the running gear components and the soil surface. The key characteristics of the cryolithozone are considered, including the presence of permafrost, the zonal distribution, the thickness of the frozen layer, the temperature condition, and the types of permafrost formations. The presence of permafrost creates special conditions for infrastructure development, mineral extraction, and agricultural land use. The difficulties associated with developing these territories are described in detail, along with the necessity for special technologies and equipment adapted to frozen ground conditions. Statistical data on the distribution of various forest types within permafrost territories are presented, underlining the ecological importance of northern taiga and forest-tundra woodlands. A detailed analysis of the impact of various forestry machines on soil conditions was conducted. The advantage of tracked vehicles over wheeled ones was demonstrated, attributed to their larger contact patch. Experimental projects, such as walking harvesters, aimed at reducing destructive impact on forest ecosystems are mentioned, although their commercial implementation has proven challenging. The advantages of tracked vehicles in the conditions of the Far North are noted, including simplicity of their design, manufacture and maintenance, as well as better cross-country ability on difficult soils. At the same time, disadvantages are pointed out, including increased fuel consumption and poorer dynamic performance. The study demonstrates that using tracked machinery in cryolithozone forests is well-founded on both environmental and technical grounds. The analysis results are of significant importance for enhancing the efficiency and sustainability of forestry under extreme climatic conditions.

Keywords: cryolithozone, forestry machines, contact patch, soil ground, tracked vehicle, wheeled vehicles

For citation: Karasev Yu. A., Dyachenko V. M., Markov V. A. (2026) Environmental justification for employing tracked machinery In cryolithozone forests. Technology and Energy, vol. 1, no. 1, pp. 58–65. DOI: 10.46418/3033-7852_2026_1_1_58-65

ВВЕДЕНИЕ

Криолитозона представляет собой особую зону земной коры, характеризующуюся наличием многолетнемерзлых пород, сохраняющих отрицательную температуру круглый год. Термин «криолитозона» образован от греческих слов («κρύος» — холод, мороз и «λίθος» — камень) [1]. Это явление характерно преимущественно для высоких широт Арктики и Субарктики, а также высокогорных районов умеренных зон.

Особенности криолитозоны были сформулированы учеными кафедры технологии и оборудования лесного комплекса Арктического государственного агротехнологического университета:

1. **Многолетняя мерзлота:** подземные слои грунта находятся в замороженном состоянии постоянно или большую часть года. Температура пород ниже точки замерзания воды (менее +0 °C).
2. **Зональность распространения:** наиболее широко распространена в полярных регионах Северного полушария (Сибирь, Аляска, Канада), а также в горных районах Кавказа, Алтая, Урала и других регионов с суровым климатом.
3. **Толщина мерзлого слоя:** глубина промерзших грунтов варьируется от десятков сантиметров до сотен метров и даже километров. Например, на севере Сибири мощность вечномерзлых слоев достигает 1500 м.

4. **Температурный режим:** верхние горизонты грунтов испытывают сезонные колебания температуры (тепло-заморозка), тогда как нижележащие остаются стабильно мерзлыми весь год.

5. Типы мерзлотных образований:

- солифлюкционные процессы: движение грунтовых масс по склону под действием циклов замораживания-оттаивания;
- бугры пучения: ледяные образования, возникающие вследствие накопления льда в грунте;
- полигональные структуры: формирование полигонов трещин вследствие многократного замораживания и растрескивания поверхности почвы.

6. **Экономическое значение:** наличие многолетней мерзлоты существенно влияет на строительство инфраструктуры, добычу полезных ископаемых и сельскохозяйственное использование земель. Необходимо учитывать специфику строительства фундаментов зданий, прокладки трубопроводов и дорог, учитывая воздействие низких температур и подвижек грунта.

В криолитозоне происходят специфические геологические, геоморфологические и экологические процессы, связанные с промерзанием и оттаиванием грунтов. Здесь распространены вечномерзлые грунты, которые занимают около 25% суши Земли. Невозможность прогрева почвы в этой зоне вызвана наличием подземных ледников, оказывающих существенное влияние на поверхностную температуру.

Криолитозона оказывает значительное влияние на хозяйственную деятельность человека в высоких широтах. Освоение этих территорий требует особых технологий и техники, учитывающих специфику мерзлых грунтов. Криолитозона также имеет обобщенное название «Крайний Север».

Важно отметить, что Крайний Север не следует отождествлять с Арктикой. Географически Арктика меньше и заканчивается на южной границе тундры, — то есть она территориально входит в Крайний Север и является той ее частью, на которой нет лесных насаждений.

В Российской Федерации около 65% территории, покрытой многолетней мерзлотой, входит в зону хвойных бореальных лесов, еще 2,5% территории приходится на лесотундру, 1,5% — лесостепь, оставшиеся 31% территории многолетней мерзлоты занимают открытые пространства — тундровые, степные, пустынные [2].

На Крайнем Севере находятся арктическая, тундровая, лесотундровая и северотаежная зоны. Для коммерческой эксплуатации лесов наибольший интерес представляет последняя, однако с экологической точки зрения значима и лесотундровая зона (притундровые леса). Несмотря на отсутствие значительных запасов ценной древесины, эти леса выполняют

важные экологические функции: накапливают углерод (от 20 до 45 тонн на гектар), снижают заболочиваемость территорий благодаря испарению влаги растениями, очищают атмосферу от загрязнений, вызванных деятельностью предприятий добывающей промышленности региона. Поэтому проведение необходимых мероприятий по уходу за этими лесами требует обязательного применения специализированной техники и оборудования.

Леса, произрастающие в криолитозоне, крайне чувствительны к антропогенному воздействию; вмешательство человека может нанести непоправимый вред хрупкой северной природе. Способность лесов криолитозоны восстанавливаться после природных и антропогенных нарушений значительно меньше, чем, например, в умеренном климате. И с очевидным потеплением климата, наблюдаемым в последние десятилетия, способность экосистем лесов криолитозоны восстанавливать нарушения все более снижается [3]. Согласно Приказу Министерства ресурсов и экологии РФ, лесозаготовительные работы в данной географической зоне можно проводить лишь в зимний период. Только таким образом возможно уберечь почвогрунты и корневые системы деревьев от разрушения. Однако в летний период проводятся работы по лесовосстановлению, уходу за насаждениями, а также противопожарные мероприятия, требующие передвижения тяжелой техники по почвогрунту.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являются почвогрунты северных регионов Российской Федерации (Республика Карелия, Республика Саха (Якутия), Архангельская область).

На деформацию почвогрунтов северных лесов, особенно лесов криолитозоны, под воздействием движителей тяжелых лесных машин, преобладающих в лесном хозяйстве и в лесозаготовительном производстве предприятий и организаций Российской Федерации, значительное влияние оказывают особенности их устройства [4]. В ходе проведения исследований научной школой «Инновационных разработок в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» было установлено, что колесная техника наносит более высокий вред почвогрунтам, чем гусеничная. Это связано в первую очередь с пятном контакта элементов движителя, которое значительно больше у гусениц, чем у колес.

На рисунке 2 показан сравнительный анализ образования глубины колеи различными лесными машинами. Из данного графика видно, что колесный трактор ЛТ-157 уже после первого прохода оставляет под собой значительно более глубокую колею, чем гусеничные

тракторы, а с повышением количества проходов данная динамика увеличивается. Естественным ограничением глубины колеи в данном случае может являться лишь клиренс лесной машины. При многократных проходах колесной лесной машины происходит разрушение подстилающего слоя грунта, приводящее к его размягчению и значительному увеличению глубины колеи. При прохождении же гусеничной машины воздействие на почвогрунт значительно более щадящее [5].

Различную динамику формирования колеи отражает рисунок 3. На устойчивых почвогрунтах первоначальный контакт движителя вызывает деформацию лишь поверхностного слоя, после чего увеличение глубины колеи замедляется, следуя закону, близкому к логарифмическому (вариант 1). Второй вариант на рисунке отражает аналогичную закономерность, однако глубина деформации верхнего слоя почвы значительно больше. Третий вариант показывает ситуацию на мягких грунтах, где образование колеи продолжается непрерывно, увеличиваясь вплоть до момента потери проходимости пути, когда глубина достигает уровня дорожного просвета транспортного средства. Темпы развития этого процесса различаются, что видно на примере кривых 3



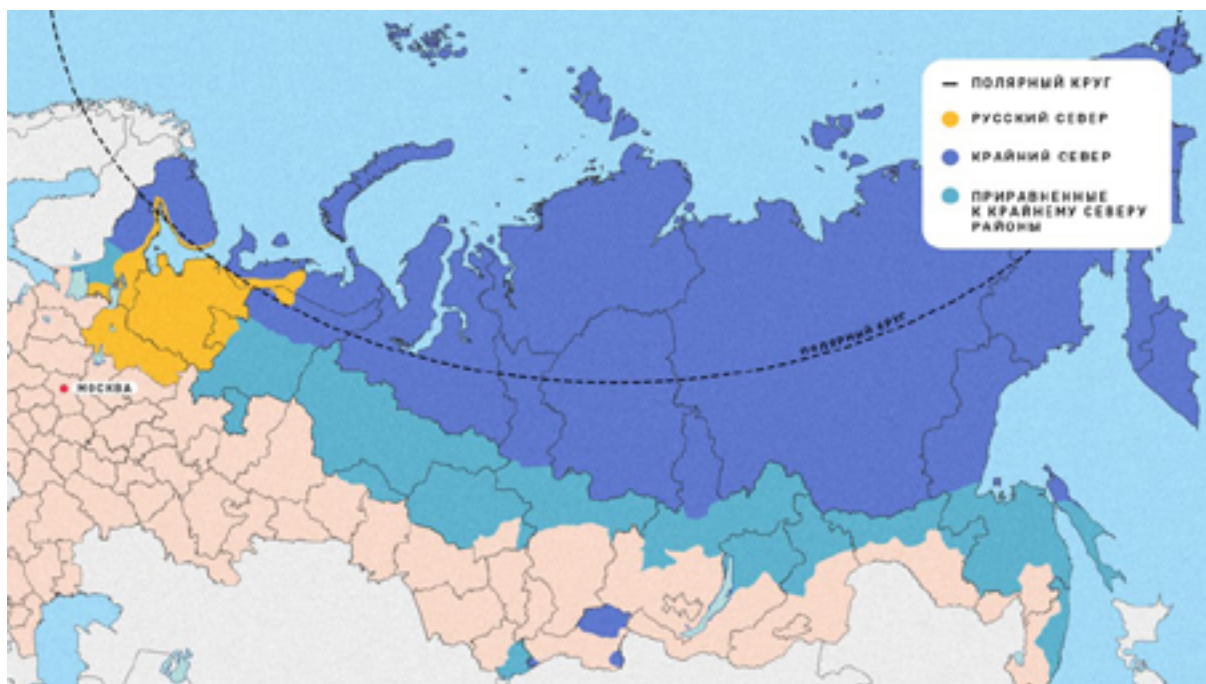


Рисунок 1. Территориальное распространение понятия «Крайний Север»

Figure 1. Geographic distribution of the concept "The Far North"

и 4. Наконец, при повторных проездах и повышенных нагрузках, характерных для колёсных машин, нижний слой грунта теряет свою прочность, вызывая резкое углубление колеи (вариант 5), что может привести к застреванию или затоплению машины.

Ширина гусениц играет важную роль для снижения давления на почвогрунт. Для лесных машин выбирают наиболее широкие гусеницы, увеличивая тем самым пятно контакта движителя с почвогрунтом. Заводы-изготовители производят стандартные заводские траки для экскаваторов и другой дорожной и складской техники шириной 600 мм; в то же время для лесной техники применяют гусеницы шириной 700 мм. С учетом «хрупкости» почвы в криолитозоне для северных лесов целесообразно было бы применять гусеницы с менее выраженными грунтозацепами, которые повреждают корневую систему деревьев при проходе лесной машины. На рисунке 4 представлены гусеницы дорожной и лесной техники [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Альтернативой гусеницам и колесам могут быть нестандартные элементы движателей, такие как «ноги». Экспериментальные харвестеры фирмы Timberjack оснащались шагающим движителем (рисунок 5), общее количество произведённых единиц составило менее

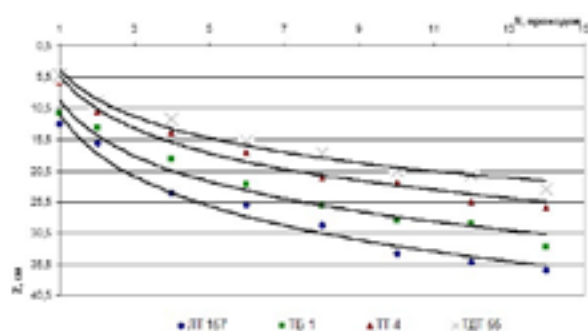


Рисунок 2. Образование колеи различными лесными машинами

Figure 2. Track formation by various forestry machines

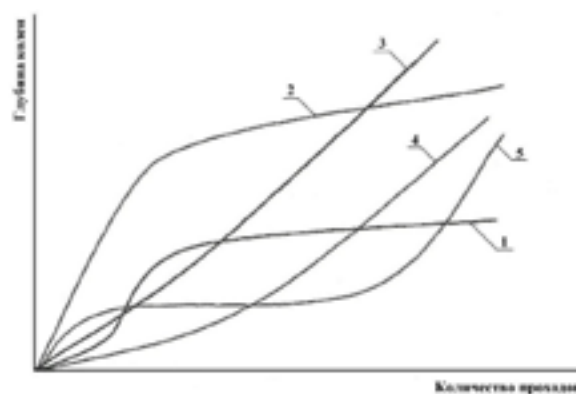


Рисунок 3. Типовые варианты динамики колееобразования

Figure 3. Typical patterns of rut formation dynamics



Рисунок 4. Гусеницы дорожной и лесной техники: а) гусеница экскаватора — 600 мм; б) гусеница лесной машины — 700 мм
Figure 4. Crawler tracks of road and forestry machines a) excavator track — 600 mm; b) forestry machine track — 700 mm



Рисунок 5. Экспериментальный харвестер Timberjack
Figure 5. Timberjack experimental harvester

10 экземпляров. Основная цель внедрения подобной схемы заключалась в уменьшении разрушающего влияния ходового устройства на почву лесного массива, особенно на участках с уклоном. Испытания подтвердили успешность инженерного решения — достигнуто минимальное воздействие техники на почвогрунт [7]. Однако столь инновационная конструкция изначально

уступала колёсным и гусеничным аналогам по эксплуатационным характеристикам и требовала значительных усилий для улучшения управляемости. Если бы компания Timberjack продолжила развитие проекта, вполне вероятно, что лесозаготовительная техника на шагающих шасси стала бы привычным элементом отрасли. Тем не менее глобальный экономический кризис 2008 г.

привёл к финансовому краху Timberjack, её последующему поглощению американской корпорацией John Deere и закрытию перспективного направления исследований новым владельцем, который счел проект экономически неоправданным. Большая часть опытных образцов ныне экспонируется в специализированных музеях, включая музей леса Финляндии «Lusto».

Преобладание гусеничного хода в российском лесном машиностроении обусловлено рядом факторов. Во-первых, такие механизмы проще конструировать, производить и обслуживать. Помимо этого, значительная доля почв (примерно 60%) лесных территорий России относится к III и IV категориям, на которых гусеничные машины летом демонстрируют существенно лучшую проходимость по сравнению с колесными аналогами [8].

Вопрос выбора подходящей техники для работы в лесах криолитозоны обусловлен особыми условиями окружающей среды, такими как низкая температура, сложность ландшафта и высокая чувствительность почвогрунтов к внешним механическим воздействиям. В исследовании рассмотрены различия воздействия гусеничной и колесной техники на структуру и свойства почв, а также предложены рекомендации по выбору оптимальной транспортной базы для защиты уникальных природных комплексов Севера.

Исследования показали, что применение гусеничной техники способствует минимизации негативного воздействия на природу криолитозоны по следующим причинам:

- большой размер пятна контакта: увеличенная площадь взаимодействия с почвой снижает удельное давление на единицу площади, предотвращая глубокое проникновение механизма в землю и обеспечивая лучшее распределение нагрузки;
- проходимость: за счет большой ширины гусениц и равномерного распределения веса машины обеспечивается повышенная мобильность и маневренность даже на рыхлом или замерзшем грунте;
- экологическая безопасность: использование широких гусениц предотвращает повреждение корней растений и лишнюю компрессию верхних горизонтов почвы, способствуя сохранению естественных биоценозов.

Колесная техника, напротив, характеризуется большим давлением на небольшие участки земли, что ведет к образованию глубоких следов и ухудшению состояния почвенного покрова. Колея, оставляемая колесными транспортными средствами, нарушает целостность гумуса и препятствует восстановлению растительного покрова.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование гусеничного движителя имеет преимущества перед колесным вариантом, особенно заметные в условиях бездорожья или слабых грунтов. Благодаря увеличенной площади соприкосновения с поверхностью почвы давление, оказываемое таким транспортным средством на грунт, существенно снижается. Это достигается за счёт распределения массы машины на большую поверхность, что позволяет минимизировать негативное воздействие на почву [9].

При уменьшении давления снижается и степень погружения ходового механизма в грунт. Таким образом, слой почвы, испытывающей непосредственное влияние транспортного средства, становится тоньше. Это означает меньшую деформацию грунта, снижение уплотнения поверхностного слоя и сохранение большей части структуры верхнего плодородного слоя. Такое свойство имеет особое значение в сельскохозяйственной технике, лесной промышленности и строительстве, где важно свести к минимуму ущерб природному покрытию и обеспечить устойчивость техники даже на мягких грунтах [10].

Таким образом, преимущества гусеничных машин заключаются именно в их способности снижать нагрузку на единицу площади поверхности и обеспечивать повышенную проходимость и экологичность эксплуатации в сложных природных условиях [11].

Применение гусеничной техники наиболее предпочтительно для условий Крайнего Севера не только с экологической, но и с эксплуатационной стороны. Гусеницы, в отличие от колес, не подвержены таким факторам, как снижение давления эластичности из-за низких температур, повышенный износ, разрывы и порезы. Однако и у гусеничной техники есть свои недостатки по сравнению с колесной: это в первую очередь динамические характеристики и расход топлива, который у гусеничного трактора значительно выше, чем у колесного трактора с таким же объемом двигателя. Альтернативой в некоторых случаях могут являться съемные гусеницы для колесных машин, однако стоимость их достаточно велика и широкого применения данная технология у российских лесозаготовителей не нашла.

Список литературы

1. Дударев О. В., Чаркин А. Н., Шахов Н. Е. Современный литоморфогенез на восточно-арктическом шельфе России: монография. Томск: ТПУ, 2016. 192 с.
2. Григорьев И. В., Чураков А. А. Перспективный машинный комплекс для заготовки древесины // Природные ресурсы и экология Дальневосточного региона. Материалы



- II международного научно-практического форума. 2017. С. 170–175.
3. Константинов П. Я., Арзунов Р. Н., Герасимов Е. Ю., Угаров И. С. О связи глубины сезонного протаивания с межгодовой изменчивостью средней годовой температуры грунтов // Криосфера Земли. Т. IV. № 3. 2006. С. 15–22.
 4. Григорьев И. В., Чураков А. А., Григорьева О. И. Перспективная конструкция вездехода для лесного хозяйства // Транспортные и транспортно-технологические системы. Материалы международной научно-технической конференции. 2017. С. 136–139.
 5. Григорьева О. И., Давтян А. Б., Гринько О. И., Войнаш С. А. Концепция универсальной машины для выполнения лесохозяйственных работ и тушения лесных пожаров // Машиностроение: новые концепции и технологии: Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Красноярск, 2020. С. 45–49.
 6. Сафин Р. Р., Сафин Р. Р., Григорьев И. В., Григорьева О. И., Разумов Е. Ю. Технология и машины лесовосстановительных работ. М.: Деревообрабатывающая промышленность, 2015. 230 с.
 7. Григорьева О. И., Давтян А. Б., Гринько О. И. Перспективы импортозамещения в производстве лесохозяйственных и лесопожарных машин в России // Лесоэксплуатация и комплексное использование древесины: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск, 2020. С. 66–69.
 8. Бурмистрова О. Н., Просужих А. А., Хитров Е. Г., Куницкая О. А., Лулева Е. Н. Теоретические исследования производительности форвардеров при ограничениях воздействия на почвогрунты // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2021. № 3 (381). С. 101–116.
 9. Rudov S. E. Theoretical approaches to logging trail network planning: increasing efficiency of forest machines and reducing their negative impact on soil and terrain / S. E. Rudov, A. M. Voronova, J. M. Chemshikova, E. V. Teterleva, I. N. Kruchinin, Yu. Zh. Dondokov, M. N. Khaldeeva, I. A. Burtseva, V. V. Danilov, I. V. Grigorev // Asian Journal of Water, Environment and Pollution. 2019. Vol. 16. No. 4. Pp. 61–75.
 10. Григорьев И. В., Григорьева О. И., Чураков А. А. Эффективные технологии и системы машин для малообъемных заготовок древесины // Энергия: экономика, техника, экология. 2018. № 2. С. 61–66.
 11. Куницкая О. А. Машинная заготовка древесины по скандинавской технологии / О. А. Куницкая, Н. А. Чернуцкий, М. В. Дербин, С. Е. Рудов, И. В. Григорьев, О. И. Григорьева. СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2019. 192 с.

References

1. Dudarev O. V., Charkin A. N. and Shakhov N. E. Modern Lithomorphogenesis on the East Arctic Shelf of Russia: monograph. Tomsk: TPU, 2016. 192 p.
2. Grigoriev I. V., Churakov A. A. (2017). Prospective machine complex for wood harvesting. In Natural Resources and Ecology of the Far Eastern Region: Proceedings of the Second International Scientific-Practical Forum, pp. 170–175.
3. Konstantinov P. Ya., Argunov R. N., Gerasimov E. Yu., Ugarev I. S. (2006). On the relationship between seasonal thaw depth and interannual variability in mean annual ground temperature. Earth's Cryosphere, vol. IV, no. 3, pp. 15–22.
4. Grigoriev I. V., Churakov A. A., Grigorieva O. I. (2017). Promising design of an all-terrain vehicle for forestry. Transport Systems and Technologies: Materials of the International Scientific-Technical Conference, pp. 136–139.
5. Grigorieva O. I., Davtyan A. B., Grinko O. I., Voinash S. A. (2020). Concept of a universal machine for performing forestry work and extinguishing forest fires. Mechanical Engineering: New Concepts and Technologies: All-Russian Scientific-Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists, Krasnoyarsk, pp. 45–49.
6. Safin R. R., Grigoriev I. V., Grigorieva O. I., Razumov E. Yu. (2015). Technology and Machines for Forest Restoration Work. Moscow: Woodworking Industry Publ., 230 p.
7. Grigorieva O. I., Davtyan A. B., Grinko O. I. (2020). Prospects for import substitution in production of forestry and fire-fighting machinery in Russia. Forestry Exploitation and Comprehensive Use of Timber: Collection of Articles from the All-Russian Scientific-Practical Conference, Krasnoyarsk, pp. 66–69.
8. Burmistrova O. N., Prosuzhikh A. A., Khitrov, E. G., Kunitskaya, O. A., Luneva, E. N. (2021). Theoretical studies of forwarder productivity under restrictions on soil impact. Bulletin of Higher Educational Institutions. Forestry Journal, no. 3 (381), pp. 101–116.
9. Rudov, S. E., Voronova, A. M., Chemshikova, J. M., Teterleva, E. V., Kruchinin, I. N., Dondokov, Y. Zh., Khaldeeva, M. N., Burtseva, I. A., Danilov, V. V., Grigorev, I. V. (2019). Theoretical Approaches to Logging Trail Network Planning: Increasing Efficiency of Forest Machines and Reducing Their Negative Impact on Soil and Terrain. Asian Journal of Water, Environment and Pollution, vol. 16, no. 4, pp. 61–75.
10. Grigoriev, I. V., Grigorieva, O. I., Churakov, A. A. (2018). Effective technologies and systems of machines for small-volume timber harvesting. Energy: Economics, Technique, Ecology, no. 2, pp. 61–66.
11. Kunitskaya O. A., Chernutsky N. A., Derbin M. V., Rudov S. E., Grigoriev, I. V., Grigorieva, O. I. (2019). Machine Harvesting of Timber According to Scandinavian Technology. St. Petersburg: Publishing and Printing Association of Higher Education Institutions, 192 p.



■ Информация об авторах

Карасев Юрий Анатольевич, соискатель, Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д. 4; ORCID: 0009-0009-9080-2974; SPIN-код: 1726–2547, AuthorID: 1239150; e-mail: kya1105@mail.ru.

Дьяченко Владимир Михайлович, соискатель, Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ивана

Черных, д. 4; ORCID: 0009-0003-0510-7579; e-mail: volodya.dyachenko1986@mail.ru.

Марков Виктор Александрович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры машин автоматизированных систем Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д. 4; ORCID: 0000-0002-4986-4155; SPIN-код: 1503–7932; AuthorID: 821223; e-mail: mactor85@mail.ru.

■ Information about the authors

Karasev Yuriy Anatolyevich, external PhD student, Higher School of Technology and Energy, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, 4 Ivan Chernykh Street, St. Petersburg, 198095; ORCID: 0009-0009-9080-2974; SPIN-code: 1726–2547, AuthorID: 1239150; e-mail: kya1105@mail.ru.

Dyachenko Vladimir Mikhailovich, external PhD student, Higher School of Technology and Energy, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, 4 Ivan

Chernykh Street, St. Petersburg, 198095; ORCID: 0009-0003-0510-7579; e-mail: volodya.dyachenko1986@mail.ru.

Markov Viktor Alexandrovich, PhD in Engineering, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Automated Machinery Systems of the Higher School of Technology and Energy, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, 4 Ivan Chernykh Street, St. Petersburg, 198095; ORCID: 0000-0002-4986-4155; SPIN-code: 1503–7932; AuthorID: 821223; e-mail: mactor85@mail.ru.