

DOI: 10.15393/j2.art.2025.8063

УДК 630*36

Обзор

Обоснование вида двигателя лесной машины по критерию экологичности для условий Крайнего Севера

Дьяченко Владимир Михайлович

соискатель, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна (Российская Федерация), Volodya.Dyachenko1986@mail.ru

Должиков Илья Сергеевич

кандидат технических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (Российская Федерация), idolzhikov222@mail.ru

Куницкая Ольга Анатольевна

доктор технических наук, профессор, Арктический государственный агротехнологический университет (Российская Федерация), ola.ola07@mail.ru

Марков Виктор Александрович

кандидат технических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна (Российская Федерация), tactor85@mail.ru

Макуев Валентин Анатольевич

доктор технических наук, профессор, Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана (Российская Федерация), makuev@mgul.ac.ru

Охлопкова Марфа Константиновна

кандидат технических наук, доцент, Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова (Российская Федерация), otk1268@mail.ru

Получена: 16 августа 2024 / Принята: 25 июня 2025 / Опубликовано: 4 августа 2025

Аннотация: В статье на основании анализа научной литературы, законодательных актов и электронных ресурсов всесторонне рассмотрено понятие «Крайний Север». Показано, что данное понятие может рассматриваться с юридической, географической и экологической точек зрения. Показано,

что лесные машины необходимы для работы на Крайнем Севере в условиях лесотундры и северной тайги, как в зимний период, так и в тёплое время года, — для выполнения лесохозяйственных и части лесосечных работ. Рассмотрены виды лесных машин и их движители. Рассмотрены специфика строения почвогрунтов лесов на многолетней мерзлоте, а также специфика воздействия на них движителей лесных машин. Показано, что из-за неблагоприятных климатических условий экосистемы Крайнего Севера, в т. ч. и лесные, характеризуются крайне замедленным биологическим кругооборотом и относятся к одним из наиболее чувствительных (ранимых) к негативному антропогенному воздействию. Наибольшее негативное антропогенное воздействие лесным экосистемам Крайнего Севера лесные машины наносят в тёплое время года за счёт деформации (уплотнения и колееобразования) почвогрунтов движителями. Обоснована необходимость снижения допустимой глубины образуемой колеи величиной в 5 см. Доказано, что наиболее экологически эффективным для лесных машин, работающих в условиях Крайнего Севера, будет гусеничный движитель, с резиноармированными гусеницами.

Ключевые слова: движители лесных машин; воздействие на почвогрунты; образование колеи; экологическая безопасность лесных машин

DOI: 10.15393/j2.art.2025.8063

Review

Substantiation of the type of a forest machine propulsion according to the environmental friendliness criterion for the conditions of the Far North

Vladimir Dyachenko

applicant, Saint Petersburg State University of Industrial Technology and Design (Russian Federation), Volodya.Dyachenko1986@mail.ru

Ilya Dolzhikov

Ph. D. in engineering, associate professor, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (Russian Federation), idolzhikov222@mail.ru

Olga Kunitskaya

D. Sc. in engineering, professor, Arctic State Agrotechnological University (Russian Federation), ola.ola07@mail.ru

Viktor Markov

Ph. D. in engineering, associate professor, Saint Petersburg State University of Industrial Technology and Design (Russian Federation), mactor85@mail.ru

Valentin Makuev

D. Sc. in engineering, professor, Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University (Russian Federation), makuev@mgul.ac.ru

Marfa Okhlopkova

Ph. D. in engineering, associate professor, Northeastern Federal University named after M. K. Ammosov (Russian Federation), omk1268@mail.ru

Received: 16 August 2024 / Accepted: 25 June 2025 / Published: 4 August 2025

Abstract: The authors consider the concept of the «Far North» by analyzing scientific literature, legislative acts, and electronic resources. This concept can be considered from a legal, geographical and environmental point of view. Forestry machines are to work in the Far North in the conditions of forest tundra and northern taiga, both in winter and in the warm season to perform forestry and logging operations. It is shown that due to unfavorable climatic conditions, the ecosystems of the Far North, including forest ecosystems, are characterized by an extremely slow biological cycle, and are among the

most sensitive (vulnerable) to negative anthropogenic impact. The greatest negative anthropogenic impact on the forest ecosystems of the Far North is caused by forest machines in the warm season due to deformation (compaction and rutting) of soils by movers. The necessity of reducing the permissible depth of the formed track by a value of 5 cm is justified. It has been proven that the most environmentally effective for forest vehicles operating in the Far North will be a caterpillar engine with rubber-reinforced tracks.

Keywords: movers of forest machines; impact on soils; track formation; environmental safety of forest machines

1. Введение

Понятие «Крайний Север» (Far North Region) имеет несколько аспектов. Например, юридический — закреплённый в постановлении Правительства Российской Федерации № 1946 от 16.11.2021 г. «Об утверждении перечня районов Крайнего Севера и местностей, приравненных к районам Крайнего Севера, в целях предоставления государственных гарантий и компенсаций для лиц, работающих и проживающих в этих районах и местностях, признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации и признании не действующими на территории Российской Федерации некоторых актов Совета Министров СССР». Согласно данному документу, к Крайнему Северу полностью относятся Магаданская область, Мурманская область, Ненецкий, Чукотский и Ямало-Ненецкий автономные округа, Камчатский край, Республика Саха (Якутия). Частично к Крайнему Северу относятся территории Республики Карелия, Республики Коми, Республики Тыва, Красноярского и Хабаровского краёв, Архангельской, Иркутской и Сахалинской областей, а также Ханты-Мансийского автономного округа — Югра.

Географически территория, находящаяся, главным образом, севернее Полярного круга, составляет около 5,5 млн км², на которых расположены арктическая зона, тундра, лесотундра и районы северной тайги. Вытекающий отсюда экологический аспект — специфические экосистемы, сформировавшиеся в природных условиях Крайнего Севера.

Все эти аспекты объединяет то, что они рассматривают Крайний Север как территорию с суровыми климатическими условиями, в которых людям и элементам биосферы жить и развиваться крайне непросто [1—5].

Важно отметить, что понятие «Крайний Север» не следует отождествлять с понятием «Арктика». Географически Арктика меньше, чем Крайний Север, и заканчивается на южной границе тундры, т. е. Арктика территориально входит в Крайний Север и является той её частью, на которой нет лесных насаждений.

С точки зрения п. 3 «Теория и методы воздействия техники и технологий на лесную среду в процессе лесовыращивания, заготовки и переработки древесного сырья» Паспорта научной специальности 4.3.4 — Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины Крайний Север — это лесные сообщества, расположенные на многолетней мерзлоте (леса криолитозоны).

Хорошо известно, что эффективное освоение территорий Крайнего Севера в настоящее время является одним из самых приоритетных направлений экономического развития Российской Федерации. Сюда относится и Северный морской путь (СМП), и Арктический гектар [6—10]. При этом также хорошо известно, что экосистемы Крайнего Севера относятся к сильно заторможенным, в которых восстановление нарушений происходит крайне медленно, и в этой связи они являются одними из наиболее ранимых. У таких экосистем медленный круговорот веществ, низкая производительность биологической продукции

и слабый «иммунитет», под которым в данном ракурсе следует понимать способность противодействовать внешним воздействиям [11—15].

Негативное антропогенное воздействие на экосистемы Крайнего Севера значительно быстрее приводит к критическим (необратимым) последствиям, чем такое же воздействие на экосистемы, расположенные южнее Полярного круга. Неслучайно в указе Президента Российской Федерации № 164 от 05.03.2020 г. «Об Основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 г.», в разделе III «Цели, основные направления и задачи государственной политики Российской Федерации в Арктике» содержится пункт «Охрана окружающей среды и обеспечение экологической безопасности». Очевидно, что данный пункт основных направлений и задач должен касаться не только Арктической зоны, но и всего Крайнего Севера.

Как было отмечено выше, на Крайнем Севере располагаются зоны арктическая, тундровая, лесотундровая и северной тайги. С точки зрения ведения коммерческого лесного хозяйства основной интерес представляет зона северной тайги.

Но с точки зрения экологии важной для лесного хозяйства является и лесотундровая зона (притундровые леса), которая хотя и не имеет значимых запасов деловой древесины, но играет огромную роль как в глобальной экосистеме Земли, так и в местной, в т. ч. это депонирование углерода в количестве от 20 до 45 т/га, снижение интенсивности процессов заболачивания за счёт транспирации, очистка атмосферы от вредных примесей, выбрасываемых предприятиями по добыче полезных ископаемых — нефтегазовых, карьеров, шахт и т. д., которых на Крайнем Севере достаточно много [16—20]. Следовательно, в таких лесах также необходимо своевременно и в полном объёме проводить требуемые лесохозяйственные мероприятия, что без использования различных машин — транспортных и технологических просто невозможно.

Согласно приказу Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации № 23 от 17.01.2022 г. «Об утверждении видов лесосечных работ, порядка и последовательности их выполнения, формы технологической карты лесосечных работ, формы акта заключительного осмотра лесосеки и порядка заключительного осмотра лесосеки»: «разработка лесосек в лесах, произрастающих на многолетне-мерзлотных почвах, должна вестись в зимний период при промёрзшем верхнем слое почвы. При проведении рубок в данных природно-климатических условиях повреждение почвы с минерализацией её поверхности не допускается». Но множество лесохозяйственных мероприятий необходимо проводить только в тёплый период года — лесовосстановительные работы, противопожарные и т. д. [21—25]. При этом невозможно полностью предотвратить повреждение почвы с минерализацией её поверхности, но возможно путём принятия научно обоснованных организационных и технико-технологических мероприятий свести такие повреждения к минимуму [26], [27]. Именно эти соображения обосновывают актуальность настоящей работы для лесопользования и лесного хозяйства.

В настоящее время ведущие позиции в исследуемом вопросе занимает научная школа «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» Арктического государственного агротехнологического университета. За последние годы её участниками выполнен большой объём теоретических и экспериментальных исследований в области средоолагодающего лесопользования в криолитозоне. Однако проблемное поле в данной области ещё во многом остаётся с «белыми пятнами», в т. ч. и в области разработки критериев экологичности применяемых машин и технологических процессов лесосечных и лесохозяйственных работ.

2. Материалы и методы

Как было отмечено во введении, понятие «Крайний Север» может быть рассмотрено в нескольких аспектах. На рисунке 1 представлено территориальное распространение Крайнего Севера с точки зрения юридического аспекта — постановления Правительства Российской Федерации № 1946 от 16.11.2021 г.

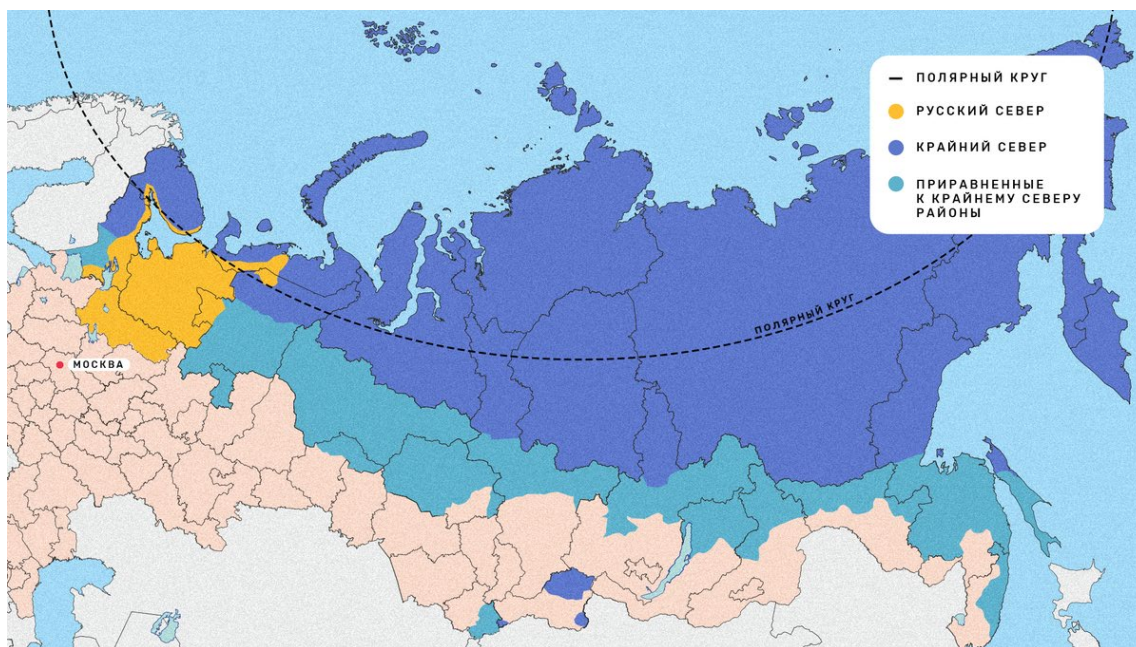


Рисунок 1. Территориальное распространение Крайнего Севера с точки зрения постановления Правительства Российской Федерации № 1946 от 16.11.2021 г. [4]

Figure 1. Territorial distribution of the concept of the Far North from the point of view of the Decree of the Government of the Russian Federation dated 11/16/2021 No. 1946

Из рисунка 1 хорошо видно, что территории, юридически отнесённые к Крайнему Северу, практически полностью совпадают с территориями распространения многолетней мерзлоты в Российской Федерации (рисунок 2).

При этом таксационные характеристики лесных насаждений, произрастающих на Крайнем Севере, по постановлению Правительства Российской Федерации № 1946 от 16.11.2021 г. очень значительно различаются. Это совершенно очевидно, если, например, сравнить характеристики лесов южной, центральной и северной Якутии [28].



Рисунок 2. Распространение мерзлоты в Российской Федерации [5]

Figure 2. Permafrost distribution in the Russian Federation

С точки зрения географического аспекта (территории, расположенные севернее Полярного круга) площадь Крайнего Севера почти в два раза меньше (рисунок 3).

С точки зрения научной специальности 4.3.4 нецелесообразно рассматривать природно-производственные условия арктической и тундровой зон Крайнего Севера, поскольку на них практически не встречаются лесные насаждения. В связи с этим ограничимся рассмотрением природно-производственных условий лесотундровой зоны и зоны северной тайги Крайнего Севера.

Как очевидно из названия, лесотундра является переходной зоной между тундрой и тайгой. Географически она представляет собой достаточно узкую полосу, южнее зоны тундры и севернее зоны северной тайги [29], [30]. Площадь лесотундровой зоны значительно меньше площади тундровой зоны и зоны северной тайги (рисунок 4).

Лесные насаждения лесотундры, в основном, состоят из лиственницы сибирской, ели сибирской и берёзы пушистой, которые могут образовывать сомкнутые насаждения. Живой напочвенный покров (ЖНП) представлен мохово-кустарниковым покровом [29], [31], [32]. Благодаря более высокому уровню инсоляции, по сравнению с тундровой зоной, а также

меньшей толщине образующегося зимой снежного покрова, многолетняя мерзлота в тёплый период года оттаивает на большую глубину (больше слой сезонной мерзлоты). Это, в свою очередь, приводит к более интенсивному развитию процессов заболачивания, которые способствуют образованию толстой торфяной подстилки и так называемых бугристых болот [34], [35].

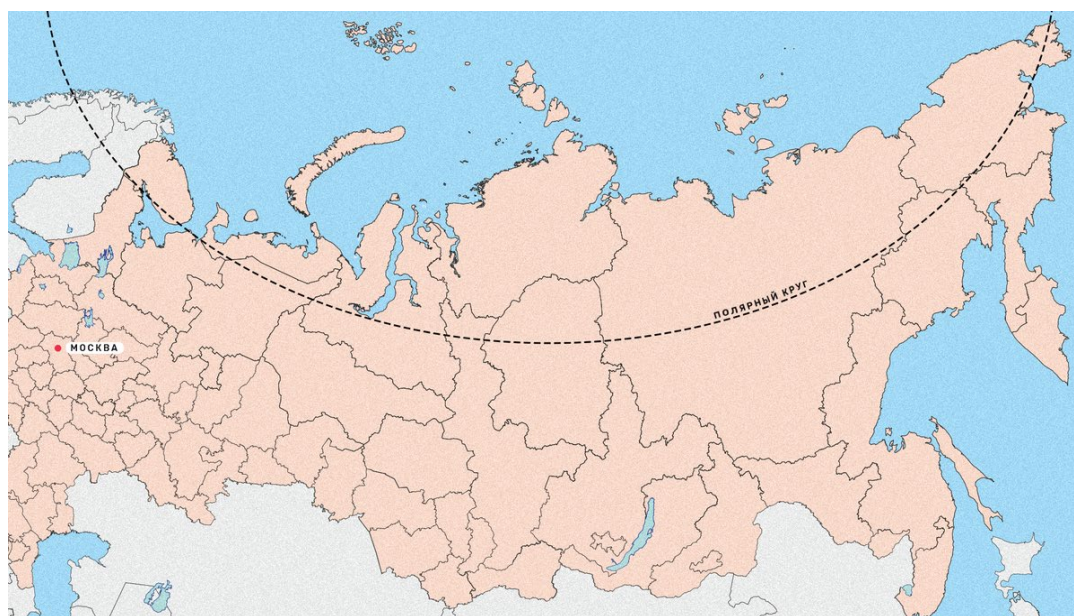


Рисунок 3. Территориальное распространение Крайнего Севера как географического понятия [8]

Figure 3. Territorial distribution of the concept of the Far North as a geographical concept



Рисунок 4. Зона распространения лесотундры [10]

Figure 4. Forest tundra distribution zone

Лесотундра издревле используется коренными малочисленными народами севера (КМНС) под выпас оленей. Для перемещения своих временных стойбищ вместе с миграцией оленьих стад КМНС используют различные виды вездеходной техники [36], [37]. В настоящее время на территории лесотундры активно ведётся разработка полезных ископаемых, процессы разведки и добычи полезных ископаемых также сопровождаются активным использованием колёсных и гусеничных машин.

Таксационные характеристики лесных насаждений лесотундры не способствуют их коммерческому освоению (малый объём хлыста, тонкие искривлённые стволы, не даром их часто называют «криволесье»), но они достаточно активно вырубаются КМНС для собственных нужд [38—40].

Площадь зоны северной тайги значительно больше, чем лесотундровой зоны (рисунок 5). Климатические и, соответственно, лесорастительные условия сравнительно лучше, поскольку северная тайга находится южнее лесотундры [41—45].



Рисунок 5. Территория северной тайги [11]

Figure 5. The territory of the northern taiga

В Архангельской области на долю северной тайги приходится 21 % территории субъекта, в Мурманской — 59 % (и 100 % всей таёжной зоны области), в Республике Карелия — 52 %, в Республике Коми — 42 % [46]. Здесь следует отметить, что Архангельская область, Республика Коми и Республика Карелия входят в число субъектов с развитым лесопромышленным комплексом, который включает заготовку, транспортировку и переработку древесины. Часть древесины заготавливается и в зоне северной тайги.

Лесные насаждения северной тайги, в основном, относятся к низкобонитетным (IV—V класс по хвойным породам, до III класса — по мягколиственным), дающим небольшой ежегодный прирост и небольшой выход деловой древесины. Для территории

северной тайги также характерны большие заболоченные площади (в основном представленные сфагновыми болотами), образование которых также связано с протаиванием слоя сезонной мерзлоты, которое происходит ещё на большую глубину, нежели в лесотундровой зоне [47—50]. Лесные насаждения в северной тайге образуют сосна, ель, лиственница, кедр, пихта, берёза, осина. Преобладающими породами являются сосна и ель [51—53].

В проанализированных литературных источниках встречается отождествление Крайнего Севера и Северного экономического района (СЭР) Российской Федерации [54], являющегося одним из 12 экономических районов нашей страны и включающего Республику Карелия и Республику Коми, Архангельскую, Вологодскую и Мурманскую области, а также Ненецкий автономный округ. Данный перечень не совсем совпадает с перечнем субъектов, указанных в постановлении Правительства Российской Федерации № 1946 от 16.11.2021 г. Вологодская область в него не включена, Республика Карелия и Республика Коми, а также Архангельская область относятся частично.

Если рассматривать запасы древесины в субъектах СЭР, то достаточно информативными будут данные, представленные на рисунках 6—8 [54]. Согласно данным работы [54], средневзвешенный средний объём хлыста в спелых и перестойных лесах по всем субъектам СЭР составляет $0,259 \text{ м}^3$, а средневзвешенный запас леса на гектар лесопокрытой площади — $131 \text{ м}^3/\text{га}$. Безусловно, если рассматривать Крайний Север только как лесотундру и северную тайгу, то эти данные будут существенно меньше.



Рисунок 6. Распределение запаса древесины и запаса спелых и перестойных лесных насаждений в эксплуатационных лесах субъектов СЭР [54]

Figure 6. Distribution of the wood stock and the stock of ripe and overgrown forest stands in the operational forests of the subjects of the SIR

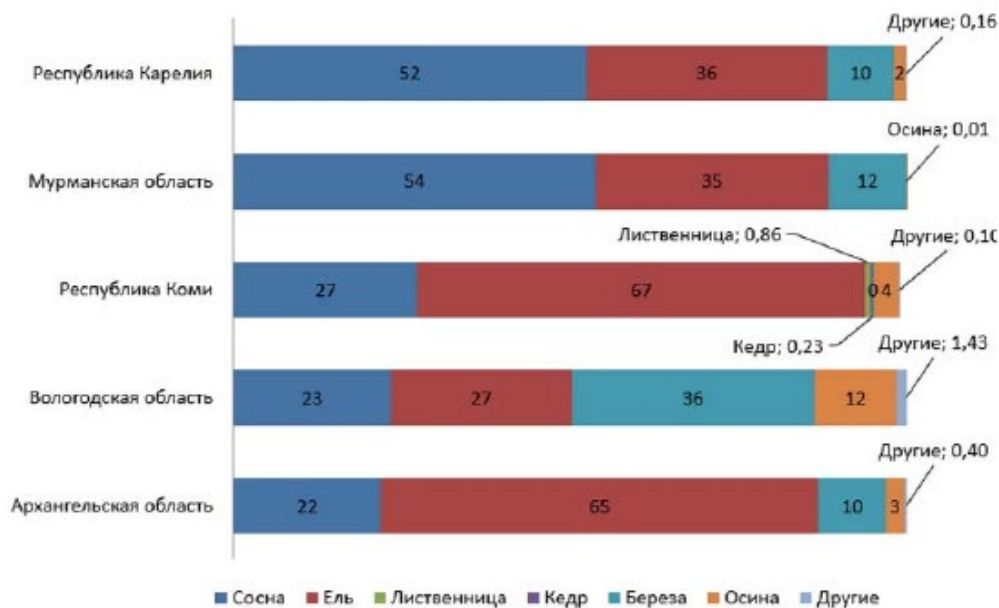


Рисунок 7. Распределение запасов древесины по породам в субъектах СЭР [54]

Figure 7. Distribution of wood stocks by species in the subjects of the Russian Federation

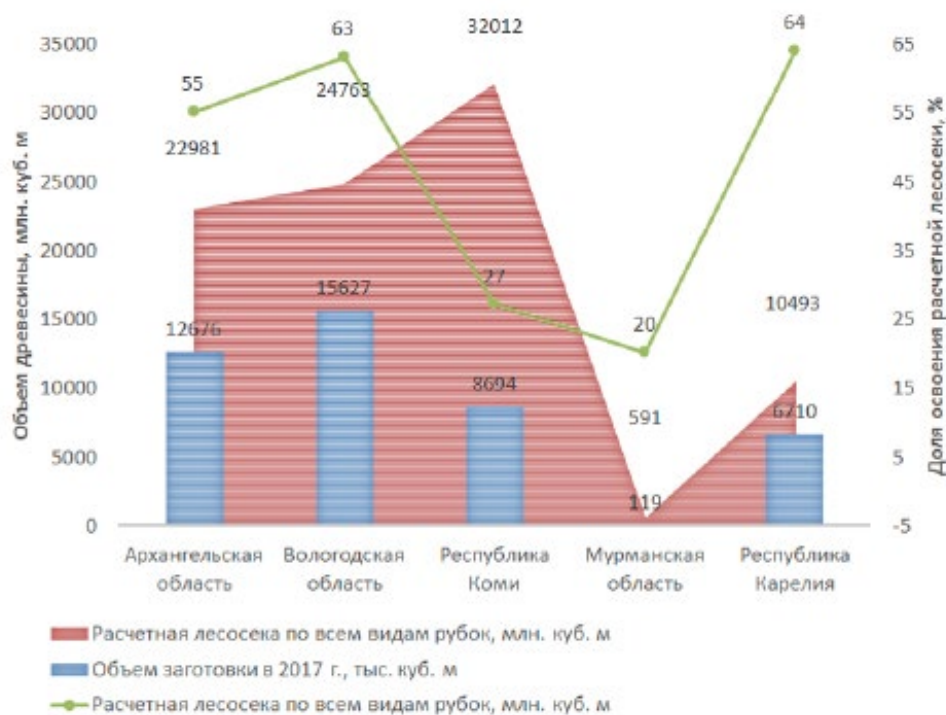


Рисунок 8. Распределение объёмов заготовки и расчётной лесосеки (на 2017 г.) субъектов СЭР [54]

Figure 8. Distribution of harvesting volumes and estimated cutting volumes (for 2017) of the subjects of the SIR

Из данных рисунка 8 хорошо видно, что во всех субъектах СЭР есть значительный ресурс в наращивании объёмов заготовки древесины (поскольку расчётная лесосека осваивается далеко не полностью), особенно в Республике Коми. Но также очевидно, что лесозаготовительные и лесохозяйственные работы в северных лесах должны вестись с учётом их особой ранимости, и во многом это касается ограничений по степени повреждения (негативного воздействия) лесных почвогрунтов движителями лесных машин.

3. Результаты

3.1. Особенности строения почвогрунтов Крайнего Севера

Северные леса — в определённой степени условное понятие. Прежде всего, их выделяют по преобладанию хвойных лесов, в основном образованных бореальными видами деревьев, такими как ель, пихта, лиственница и сосна. Значительная часть территории северных лесов приходится на леса криолитозоны, произрастающие на многолетней мерзлоте, которая занимает около 13 млн км² [55], [56].

В Российской Федерации около 65 % территории, покрытой многолетней мерзлотой, входит в зону хвойных бореальных лесов, ещё 2,5 % территории приходится на лесотундру, 1,5 % — на лесостепь, остальные около 31 % территории многолетней мерзлоты занимают открытые пространства — тундровые, степные, пустынные [57], [58].

На деформацию почвогрунтов северных лесов, особенно лесов криолитозоны, под воздействием движителей тяжёлых лесных машин, преобладающих в лесном хозяйстве и в лесозаготовительном производстве предприятий и организаций Российской Федерации, значительное влияние оказывают особенности их строения и водно-теплового режима [59—62].

В работе [63] отмечено, что с увеличением тепловой нагрузки на сезонно-протаивающие почвогрунты происходит формирование дестабилизированных посткриогенных образований. Прежде всего, такое явление можно наблюдать при быстром оттаивании льдонасыщенных грунтов промежуточного слоя, имеющих слоисто-сетчатую и атакситовую криоструктуру. При оттаивании почвогрунта со скоростью 0,2 м и более за одно лето образующиеся трещины, пустоты не успевают смыкаться под тяжестью верхнего слоя почвогрунта, и в результате возникают зоны ослабленных грунтов с другой посткриогенной структурой, а именно зоны рыхлого грунта в сезонно-оттаивающем слое почвогрунта с пустотами и трещинами на месте вытаявших прослоек льда. В таких зонах плотность грунта может уменьшаться в 1,2—2,0 раза, и при этом фильтрация воды возрастает на 1—2 порядка. Причём развитие этого процесса длится несколько лет.

Исследования [64] показали, что такие подземные пустоты могут располагаться, начиная с глубин 0,3—0,5 м, и представлять собой полигональную решётку над рыхлыми грунтовыми жилами и жильными льдами. Эти пустоты могут иметь различную форму и размеры. В исследованиях [64] ширина таких пустот составляла 0,1—1,2 м,

высота — 0,1—0,7 м. Согласно работе [64], рыхлые грунтовые жилы образуются в результате частичного заполнения пустот осыпавшимся сверху почвогрунтом. В исследованиях [64] ширина таких пустот составляла 0,8—1,2 м, высота — 0,5—1,0 м. Ввиду наличия пустот и трещин шириной 0,5—3,0 см, данные грунтовые жилы имеют малую плотность — 0,5—0,9 т/м³. Их полигонально-жильная структура располагается в виде сетки, с густотой решётки 6—10 продольных и поперечных рядов на гектаре. В дальнейшем эти грунтовые жилы могут как уплотняться, так и ещё более разуплотняться, в зависимости от вида и интенсивности водно-тепловых и физико-механических воздействий.

В работе [64] приведены следующие стадии образования и развития зоны рыхлого грунта в слое сезонной мерзлоты с пустотами и трещинами:

- начало образования — вытаивание повторно-жилистого льда и образование начальных пустот;
- рост образовавшихся пустот в процессе активного вытаивания повторно-жилистого льда и термоэрозии грунтов. Особенно интенсивно данная стадия развивается на склонах. Скорость развития зависит от длительности тёплого сезона, величины положительных температур, количества осадков в данный период;
- частичное заполнение пустот, в результате чего, во-первых, уменьшается их объём, во-вторых, они «поднимаются» к солнечной поверхности за счёт осыпания почвогрунта с их стенок и потолка;
- исчезновение пустот за счёт полного заполнения обрушившимся в них почвогрунтом.

Результатом такого процесса формирования грунтовых жил по вертикальному профилю слоя сезонной мерзлоты является образование дестабилизированных мерзлотных геосистем. Причём в ряде случаев подземные пустоты могут заполняться в течение полувека [64]. Причём, как отмечено в исследовании [65], развитие рассмотренного криогенного процесса влечёт за собой активизацию водно-физических процессов, приводящих к образованию в рыхлых грунтовых жилах значительных запасов влаги, существенно превышающих наименьшую влагоёмкость грунтов, а в ряде случаев превышающих и их полную влагоёмкость в случае уничтожения слоисто-сетчатых и атакситовых структур.

В работе [65] приведены опытные данные вариаций теплофизических свойств ряда типов мерзлотных почв в талом состоянии (см. таблицу). Значительный интерес в рамках рассматриваемого вопроса представляют результаты исследований [66—69]. В частности, установлено влияние нарушений ЖНП на изменение температурного режима почвогрунтов после проведения рубок леса. Отмечается, что в брусничных типах леса сохранение ЖНП обеспечивает незначительное повышение температуры почвогрунтов благодаря его теплоизолирующим свойствам. В равнинных лишайниковых типах леса сильное повреждение ЖНП приводит к повышению температуры грунта даже на глубине 10 м (повышение около 0,3 °C). А в лесах на склонах, у подошвы склона, температура дневной поверхности увеличивается на 1,0—1,5 °C с увеличением глубины сезонного протаивания на 0,7 м [66]. В свою очередь, это начинает приводить к развитию рассмотренного

выше процесса развития рыхлых грунтовых жил. В результате авторы [66—69] приходят к однозначному выводу, что допустимая толщина подвергающегося изменению под воздействием движителей лесных машин верхнего слоя почвогрунта в условиях Крайнего Севера не должна превышать 5 см.

Таблица. Вариации теплофизических свойств ряда типов мерзлотных почв в талом состоянии [64]

Table. Variations of thermophysical properties of a number of types of permafrost soils in thawed state [64]

Тип мерзлотной почвы	Пределы изменений				
	Плотность, т/м ³	Влажность, %	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	Коэффициент объёмной теплоёмкости, МДж/м ³	$\alpha \cdot 10^6$, м ² /с
Лугово-чернозёмная	0,82—1,44	8—52	0,31—1,05	1,2—2,98	0,22—0,45
Чернозёмно-луговая	0,51—1,27	15—37	0,31—0,8	1,52—2,25	0,19—0,37
Дерново-луговая	0,39—1,62	28—56	0,53—1,21	1,71—2,67	0,24—0,51
Таёжная палевая	1,25—1,46	7—20	0,44—0,85	1,49—2,35	0,29—0,36

В результате можно сделать вывод о том, что чем большее количество льда содержит почвогрунт, тем более он становится подверженным процессам деструкции своей структуры при повышении температуры окружающей среды, увеличении инсоляции за счёт удаления лесного полога, увеличении продолжительности теплых периодов. В публикации [70] отмечается, что количество включённого льда в верхнем слое почвогрунта в Арктической зоне может достигать 70—90 %.

3.2. Лесные машины

Согласно данным проанализированных источников, лесные машины принято классифицировать по следующим основным признакам [71—75]:

1. Виду движителя.
2. Назначению (выполняемым технологическим операциям).
3. Классу тяги (энергонасыщенности).

Среди этих основных признаков есть своя, более или менее развёрнутая классификация, особенно это касается п. 2.

По виду движителя лесные машины подразделяют на колёсные, гусеничные, полугусеничные и шагающие. Поскольку целью настоящей работы является снижение негативного воздействия движителей лесных машин на почвогрунты лесосек Крайнего Севера, движители лесных машин будут более подробно рассмотрены далее.

По назначению лесные машины подразделяются достаточно обширно. Прежде всего, следует отметить, что принято выделять понятие «лесная машина» — машина, конструктивно предназначенная для выполнения лесосечных и/или лесохозяйственных работ в условиях леса [76—80]. Среди лесных машин выделяют группу машин лесозаготовительных, к ним относят машины, которые конструктивно предназначены для валки деревьев и (обычно) выполнения последующих операций лесосечных работ, например: валочные (ВМ), валочно-пакетирующие (ВПМ), валочно-трелёвочные (ВТМ), валочно-сучкорезно-раскряжёвочные (харвестеры), валочно-сучкорезно-раскряжёвочно-трелёвочные (харавардеры и форвестеры), валочно-трелёвочно-процессорные (ВТПМ), т. е. лесные машины, которые конструктивно не предназначены для выполнения операции валки деревьев, лесозаготовительными не являются [81—83].

Согласно общей теории технологии, технологические операции принято подразделять на рабочие (обрабатывающие), транспортные (переместительные) и смешанные, предусматривающие обработку предмета труда в процессе его перемещения. Исходя из принципиальных подходов данной классификации, большая часть лесозаготовительных машин выполняет смешанные операции — обработку предмета труда и его перемещение в пространстве [84].

Лесозаготовительные машины, обычно, принято относить исключительно к фазе лесосечных работ. Однако, на наш взгляд, это не совсем методически верно, поскольку рубки ухода за лесом разумно принято относить к фазе лесохозяйственных работ, а в настоящее время они часто проводятся не механизированным, а машинным способом [85—88]. В европейских странах машинным способом проводят даже первые приёмы рубок ухода за лесом — осветления и прочистки, которые, согласно п. 30 приказа Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации № 534 от 30.07.2020 г. «Об утверждении Правил ухода за лесами», должны осуществляться при отсутствии глубокого снежного покрова, а обычно, по сложившейся в России практике, проводятся в вегетационный период.

По виду движителя лесозаготовительные машины могут быть колёсные, гусеничные и шагающие. Исторически первым видом специальных лесных машин являются трелёвочные тракторы. Самый первый специальный трелёвочный гусеничный трактор был разработан и поставлен на серийное производство в СССР, после Великой Отечественной войны, его марка КТ-12 [89]. Можно сказать, что трелёвочные тракторы являются самой многочисленной группой лесных машин. По виду движителя они бывают гусеничные, колёсные и полугусеничные. Также их принято подразделять по виду технологического оборудования и связанному с ним способу трелёвки [90]:

- чокеры и бесчокерные — трелёвка в полупогруженном положении;
- с пачковым захватом (пачкоподборщики, или скиддеры) — трелёвка в полуподвешенном положении;
- сортиментоподборщики (форвардеры) — трелёвка в полностью погруженном положении.

Все они могут быть как колёсными, так и гусеничными.

Также трелёвочные тракторы, прежде всего форвардеры, принято подразделять по массе — лёгкие, средние, тяжёлые. Выбор того или иного трелёвочного трактора зависит от машин (оборудования), используемых для валки деревьев и обуславливаемых используемым технологическим процессом лесосечных работ [91], [92].

Важно отметить два принципиальных момента:

1. Какие бы машины (оборудование) не использовались для проведения рубок ухода за лесом, без трелёвочных тракторов эти работы выполнить невозможно. Кроме случая, когда нежелательная древесно-кустарниковая растительность удаляется при помощи навесного (на гидроманипуляторе) мульчера [85], [86], [93].

2. Трелёвочные тракторы (в большей части случаев) применяются как база для лесохозяйственных машин, используемых на «летних» работах — лесовосстановительных (для сбора и транспортировки семенного материала, подготовки почвы на вырубках и гарях, доставки и посадки посадочного материала), противопожарных (для создания минерализованных полос, борьбы с лесными пожарами).

Также важно отметить, что тракторная трелёвка является самым экологически вредным видом лесосечных работ [94], [95]. К лесным машинам для выполнения лесосечных работ также принято относить сучкорезные машины, сучкорезно-раскряжёвочные машины (процессоры), погрузчики, мобильные рубительные машины, подборщики сучьев [96—101]. Очистка лесосек от порубочных остатков является заключительной фазой лесосечных работ, после сплошных рубок без сохранения результатов предварительного естественного возобновления (подроста) её целесообразно производить при помощи специальных тракторных подборщиков [102]. Согласно логике приказа Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации № 23 от 17.01.2022 г. «Об утверждении видов лесосечных работ, порядка и последовательности их выполнения, формы технологической карты лесосечных работ, формы акта заключительного осмотра лесосеки и порядка заключительного осмотра лесосеки», очистку лесосеки, как минимум доочистку, следует проводить в бесснежный период.

К чисто лесохозяйственным машинам относят лесопожарные тракторы; тракторы с технологическим оборудованием для подготовки почвы на вырубках и гарях, а также для прокладки минерализованных противопожарных полос — плугами, фрезами; посадочные машины; мульчерные машины и ротоваторы; кусторезы; деревовстряхивательные машины, машины для химического ухода за лесными насаждениями [21], [22], [24], [75], [94], [103—106].

Отметим, что подавляющее большинство лесных машин представляет собой специализированную тракторную базу (конструкция которой учитывает специфику работы в лесу), с установленным на ней комплектом технологического оборудования, который и определяет её назначение [107], [108], хотя в ряде случаев лесные машины могут создаваться не на специализированных лесных тракторных базах, а на базе сельскохозяйственных или промышленных тракторов, а также на вездеходных базах — колёсных или гусеничных [97], [106], [109], [110].

Выше было отмечено, что лесные машины могут иметь четыре вида движителей — колёсный, гусеничный, полугусеничный и шагающий.

Два последних вида движителя нет необходимости рассматривать в рамках настоящего исследования по следующим причинам. Шагающий движитель был использован в конструкции экспериментальных харвестеров компании «Тимберджек» (фото 1), всего было выпущено менее десятка машин. Целью такой конструкции было именно снижение негативного воздействия движителя на лесной почвогрунт, прежде всего на склонах. Известные результаты испытаний этих машин в производственных условиях показали, что конструкторам удалось добиться поставленной задачи — экологическая эффективность машины оказалась на высоте [111]. Но такое прорывное для лесных машин конструктивное решение не могло сразу же дать и сопоставимые с колёсными или гусеничными машинами показатели эксплуатационной эффективности. Машина нуждалась в серьёзной доработке в области управляемости. Можно с уверенностью предположить, что конструкторам компании «Тимберджек» удалось бы «довести её до ума», а шагающие лесные машины не были бы сейчас неизвестной многим специалистам экзотикой, но всемирный финансовый кризис 2008 г. привёл к банкротству компании «Тимберджек», она была приобретена американским холдингом «Джон Дир», а новый владелец бизнеса закрыл это направление разработок, посчитав его неперспективным. В результате большая часть выпущенных в пилотной партии машин находятся в музеях леса разных стран, например, в музее леса Финляндии Lusto.

Машины с полугусеничным движителем представляют собой модернизированные колёсные машины, у которых часть колёс заменена на гусеничный движитель (рисунок 10). Именно заменена, поскольку вариант, предусматривающий установку на колёсные танделы моногусениц, не делает машину полугусеничной. Положительным эффектом от такой модернизации является увеличение силы тяги и проходимости в сложных условиях, снижение расхода топлива, при прочих равных условиях. Основной недостаток — ухудшение управляемости машиной [112—115].

Вывод машин с полугусеничным движителем за рамки настоящего исследования объясняется тем, что серийно выпускаемых специальных лесных машин в Российской Федерации и за рубежом нет. И в России, и за рубежом в таком качестве в лесу используются модернизированные колёсные сельскохозяйственные тракторы, типа МТЗ, что хорошо видно на фото 2 [116].



Фото 1. Харвестер с шагающим двигателем компании «Тимберджек» [111]

Photo 1. Harvester with a Timberjack walking engine



Фото 2. Полугусеничный трактор [116]

Photo 2. Semi-tracked tractor

К специализированным лесным машинам в России и за рубежом предъявляются достаточно жёсткие требования в области обеспечения безопасности, связанные со спецификой работы в лесу. В частности, это наличие конструктивных элементов защиты кабины, предохраняющих оператора при падении на кабину дерева или переворачивании машины (ROPS и FOPS) [117—120]. У сельскохозяйственных или промышленных тракторов такой защиты нет, что нередко приводит к тяжёлым несчастным случаям при их использовании на лесосечных работах, обычно в качестве трелёвочных машин [121], [122].

В связи с высказанными выше замечаниями в настоящем исследовании ограничимся рассмотрением колёсного и гусеничного движителей.

3.3. Колёсные движители лесных машин

Колёсные движители лесных машин обычно представляют собой достаточно дорогие, особо прочные шины, со специальной защитой от проколов и боковых порезов, обеспечиваемой дополнительным армированием каркаса долговечной сталью, который находится внутри специальной, высокотехнологичной резины, способной эффективно сопротивляться точечным механическим нагрузкам, перепадам температур. С целью снижения буксования, шины специальных лесных машин оснащены развитыми грунтозацепами (фото 3), конструкция которых способствует их самоочищению от налипающего почвогрунта [123], [124].



Фото 3. Шины специальных лесных машин [106]

Photo 3. Tires of special forest vehicles

По конструктивным особенностям изготовления, не считая типо-размерного ряда, шины специальных лесных машин (обычно) подразделяют по двум признакам:

- камерные или бескамерные;
- радиальные или диагональные.

Практика эксплуатации шин специальных лесных машин показывает, что камерные шины дольше удерживают давление при возникновении прокола или бокового пореза. Диагональные шины лучше сопротивляются порезам и боковым проколам [125].

Как отмечено в исследованиях [106], [109], [110], для выполнения лесосечных и лесохозяйственных работ могут использоваться машины на базе колёсных вездеходов (фото 4).



Фото 4. Форвардер на базе колёсного вездехода «Тром-20» [123]

Photo 4. Forwarder based on the Trom-20 wheeled all-terrain vehicle

В проанализированных литературных и электронных источниках не обнаружено информации об оснащении лесных машин на базе колёсных вездеходов необходимыми конструктивными элементами защиты кабины. Но в случае использования вездеходов на ряде лесохозяйственных работ, в отличие от работ лесосечных, такая защита не будет насущно необходимой.

Шины колёсных вездеходов отличаются большими размерами, с целью снизить давление на почвогрунт, поскольку они изначально предназначены для работы в труднопроходимой, обычно болотистой, местности [126]. По конструкции они подразделяются на широкопрофильные, арочные, пневмокатики и тороидные [127]. В отличие от шин специальных колёсных лесных машин они не всегда имеют развитые

грунтозацепы, а при использовании камер сверхнизкого давления могут обходиться и вовсе без них. В этом случае их заменяет стягивающая камеру шлейка (фото 5) [128]. Тяговое усилие шины сверхнизкого давления реализуют за счёт того, что они обтекают неровности поверхности движения и отталкиваются от них [129]. Это делает шины сверхнизкого давления самым средоточающим колёсным движителем, особенно для условий Крайнего Севера, когда ЖНП вместе со слоем оттаявшей сезонной мерзлоты легко минерализуется даже от небольшого касательного усилия [130]. Но такие шины не могут обеспечить необходимую надёжность в условиях перемещения по лесу (вырубке, гари), поскольку не имеют конструктивной защиты от проколов и боковых порезов, свойственной шинам колёсных лесопромышленных тракторов [131]. В связи с этим колёсные машины на пневматиках сверхнизкого давления также нерационально рассматривать в рамках настоящего исследования.



Фото 5. Вездеходная камера сверхнизкого давления [128]

Photo 5. Ultra-low pressure all-terrain camera

Как показывает практика, практически в 100 % случаев тяжёлые колёсные машины оказывают значительное негативное воздействие на оттаявшие почвогрунты на многолетней мерзлоте в тёплый период года. Это связано с низкой несущей способностью таких почвогрунтов и возникающим в связи с этим буксованием колёсного движителя [132—135].

Хорошо известно, что в сложных условиях эксплуатации колёсные лесные машины оснащаются колёсными гусеницами — моногусеницами (фото 6), которые существенно

увеличивают пятно контакта движителя с поверхностью движения, тем самым снижают давление на почвогрунт и буксование движителя [85], [136].

Конструкция колёсных гусениц может быть различной. Прежде всего, она зависит от условий их применения — слабонесущие (заболоченные и переувлажнённые) почвогрунты, глубокий снег, песок [85], [137]. В продаже также есть универсальные гусеницы, производители которых заявляют, что они хорошо подходят для любых тяжёлых условий эксплуатации. Но очевидно, что в этом заявлении есть определённая доля лукавства, поскольку любой движитель более или менее всегда специализирован под конкретные условия эксплуатации. Это напрямую касается и колёсных гусениц. Поэтому, в идеале, следует иметь несколько комплектов колёсных гусениц на одну машину. Например, в условиях Крайнего Севера желательно иметь комплект болотоходных гусениц и комплект гусениц для работы при глубоком снежном покрове. Стоимость этих гусениц достаточно существенная. Согласно данным специализированных сайтов (на август 2024 г.), гусеницы отечественного производителя «РУТРАК» стоили 630 тыс. руб., т. е. на одну лесную машину с колёсной формулой 8к8 потребуется потратить на один комплект более 2,5 млн руб. А если приобретать два комплекта, то более 5 млн руб. Причём служат эти гусеницы не очень долго, гарантия на них составляет всего один год, а их последующий ремонт обойдётся (по ценам предложения на август 2024 г.) в 240 тыс. руб., или 960 тыс. руб. на один машино-комплект.



Фото 6. Колёсный форвардер, оснащённый моногусеницами [124]

Photo 6. A wheeled forwarder equipped with mono tracks

Это очень существенно удорожает стоимость владения колёсной лесной машиной. Но без колёсных гусениц (в тёплое время года) они смогут соответствовать природоохранным требованиям и будут наносить критический экологический ущерб [138]. Причём в представленном на фото 6 варианте оснащения колёсная машина взаимодействует с почвогрунтом по тому же механизму, что и гусеничная.

3.4. Гусеничные движители лесных машин

Гусеничные движители лесных машин для отечественных лесных машин являются намного более привычными, чем колёсные. С момента создания первого в мире специального трелёвочного трактора КТ-12 отечественные лесные машины проектировались и производились, в основном, на гусеничных шасси; не считая скиддеров на базе мощных колёсных «Кировцев», которые не показали высокой надёжности в лесных условиях эксплуатации, а также на базе лёгких колёсных тракторов Липецкого тракторного завода, которые были спроектированы НПО «Силава», прошли государственные испытания, но в связи с развалом СССР в серийное производство так и не вышли.

Доминирование гусеничных движителей в отечественном лесном машиностроении связано с несколькими моментами. Прежде всего, они более просты в проектировании, изготовлении и эксплуатации. Кроме этого, на территории лесного фонда Российской Федерации преобладают (около 60 %) почвогрунты III и IV категории, на которых в тёплое время года гусеничные машины работают значительно лучше, нежели колёсные [139].

Вариантов конструкций гусеничных движителей, судя по данным проанализированных литературных и электронных источников, даже больше, чем колёсных. На серийных лесопромышленных гусеничных тракторах обычно устанавливаются самые простые и дешёвые варианты гусениц — с последовательными открытыми металлическими (сухими) шарнирами, конструкция которых состоит из литых траков, имеющих проушины для соединительных пальцев (по принципу вал — отверстие). Звенья такой гусеницы последовательно соединяются друг с другом [139].

В ряде случаев (для повышения долговечности гусеницы) могут использоваться резинометаллические шарниры. Они уменьшают трение (сталь по стали) и, соответственно, износ в шарнирах, снижают шум от перекатывания гусеницы и облегчают переезд через препятствия [140].

Не считая особенностей конструкции подвески, оптимизированной под природно-производственные условия леса, гусеничные движители лесных и сельскохозяйственных тракторов схожи. И тем, и другим необходимо реализовывать достаточную силу тяги, и при этом как можно меньше повреждать поверхность движения.

В для минимизации вредного уплотняющего воздействия движителя на почву, снижения интенсивности колеобразования в последние годы в гусеничных сельскохозяйственных тракторах, в т. ч. отечественных, начали использовать резинометаллические (резиноармированные) гусеницы, например, собираемый в Республике

Башкортостан трактор «Фермер» РБ-2103 (фото 7), а также на последних модернизациях широко распространённых промышленных тракторов ДТ-75. Можно с уверенностью предположить, что резинометаллические гусеницы могут рассматриваться как перспективный вариант оснащения и отечественных гусеничных лесопромышленных тракторов, тем более что примеры использования таких гусениц есть у зарубежных лесных машиностроительных компаний (фото 8).

Резинометаллические гусеницы конструктивно схожи с шинами колёсных тракторов — в их массив завулканизированы металлические армирующие конструктивные элементы (рисунок 9) [140]. Такая конструкция позволяет реализовывать касательную силу тяги обычным образом и при этом исключать пробуксовку движителя. Резинометаллические гусеницы обладают высокой морозостойкостью (что весьма важно для машин, работающих в условиях Крайнего Севера), а из-за отсутствия стандартной звенчатости гусеницы они обеспечивают более повышенную скорость передвижения трактора. Кроме этого, они могут перемещаться по дорогам общего пользования, не повреждая асфальтового покрытия, что делает их столь же универсальными, как колёсные тракторы, но при этом намного более средоохраняющими.



Фото 7. Сельскохозяйственный трактор на резинометаллических гусеницах «Фермер» РБ-2103 [140]

Photo 7. Agricultural tractor on rubber-metal tracks Farmer RB-2103



Фото 8. Форвардер «Понссе», оснащённый резинометаллическим гусеничным двигателем [140]

Photo 8. The Ponsse forwarder equipped with a rubber-metal crawler

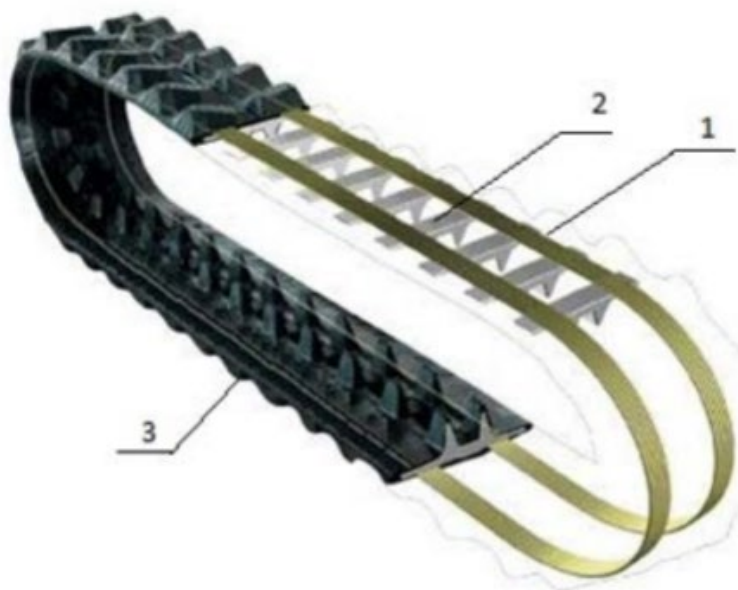


Рисунок 9. Конструкция резиноармированной гусеницы: 1 — металлокорд; 2 — стальной сердечник; 3 — резиновый массив [140]

Figure 9. Construction of the rubber–reinforced track: 1 — metal cord; 2 — steel core; 3 — rubber array

Как отмечено в работах [109], [141], для выполнения лесосечных и лесохозяйственных работ также могут использоваться машины на базе гусеничных вездеходов (фото 9). Гусеничные вездеходы, как правило, оснащаются резинометаллическими гусеницами. Это позволяет утверждать, что наиболее перспективным вариантом движителя для лесной машины, предназначенной для работы в условиях Крайнего Севера, будут современные резинометаллические (резиноармированные) гусеницы.



Фото 9. Форвардер на базе гусеничного вездехода Haggglund BV 206 [141]

Photo 9. Forwarder based on the Haggglund BV 206 tracked all-terrain vehicle

3.5. Воздействие движителей лесных машин на почвогрунты лесосек

Как было отмечено во введении, согласно приказу Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации № 23 от 17.01.2022 г., «разработка лесосек в лесах, произрастающих на многолетне-мерзлотных почвах, должна вестись в зимний период при промёрзшем верхнем слое почвы». Также было отмечено, что ряд необходимых лесных работ, помимо заготовки древесины, невозможно выполнять в зимний период — очистка лесосек от порубочных остатков, лесовосстановительные и лесопожарные работы, некоторые виды ухода за лесами выполняются только в бесснежный, вегетационный период. Эти работы проводятся с использованием лесных машин, и при этом они могут наносить существенный экологический ущерб за счёт повреждения движителями ослабленных влажностью почвогрунтов.

Настоящее исследование, прежде всего, направлено на минимизацию экологического ущерба, наносимого движителями лесных машин почвогрунтам лесов Крайнего Севера.

В этой связи целесообразно рассмотреть механизм и причины этого негативного воздействия. Прежде всего, необходимо отметить следующие обстоятельства:

- Во-первых, согласно данным проанализированных литературных источников, воздействие движителей лесных машин на почвогрунты лесосек может быть как отрицательным, так и положительным [95], [142], [143]. Отрицательное воздействие заключается в переуплотнении корнеобитаемого слоя почвогрунта, что ухудшает условия питания корней растений, включая деревья, за счёт ухудшения водно-воздушного режима органического слоя почвогрунта. Кроме этого, при уплотнении почвогрунта уменьшается его объём в месте воздействия движителя, что приводит к образованию колеи, которая, в свою очередь, может послужить очагом развития процесса эрозии [144], [145]. Положительное воздействие, в ряде случаев, может наблюдаться в результате первых проходов лесных машин по одному следу (1—2). Оно заключается в доуплотнении корнеобитаемого слоя почвогрунта до оптимальных значений, а также скарификации верхнего слоя почвогрунта, что может улучшать водно-воздушный режим его органического слоя. Согласно данным проанализированных литературных источников, плотность корнеобитаемого слоя почвогрунта естественного сложения не всегда оптимальна для корневого питания растений, включая древесные виды [146], [147].

- Во-вторых, классический почвогрунт не является монолитным массивом, а представляет собой многослойную систему из органических и неорганических подстилающих слоёв, на которые движитель лесной машины воздействует одновременно. Толщина слоя почвогрунта, на который одновременно воздействует касательная сила, реализуемая движителем лесной машины, зависит от величины нормального давления движителя, физико-механических свойств почвогрунта (способности сопротивляться вертикальному внедрению в его массив движителя) и высоты грунтозацепов [148—150]. Очевидно, что при использовании гусеничного движителя площадь его контакта с почвогрунтом будет больше, а давление, соответственно, меньше, чем у колёсного, при прочих равных условиях. Если давление будет меньше, то глубина внедрения движителя в почвогрунт также будет меньше, а значит, толщина подвергнувшегося воздействию движителя слоя почвогрунта также будет меньше.

На рисунке 10 представлен эпюр распространения напряжений в почвогрунте от нормального давления движителя машины. За основу данного рисунка взят эпюр дополнительных напряжений в идеальном почвогрунте и его собственного давления при плотности $1,8 \text{ г/см}^3$ [139]. Но, как было показано в настоящей работе выше, почвогрунты Крайнего Севера не являются идеальными, поскольку, во-первых, из-за периодических сезонных и протаиваний и замерзаний они зачастую представляют собой дестабилизированную посткриогенную ячеистую структуру; во-вторых, в условиях Крайнего Севера (в лесах криолитозоны) корнеобитаемый слой почвогрунта лежит на слое льда, образованного многолетней мерзлотой. Но рисунке 10 его расположение показано чёрной линией условно, поскольку глубина протаивания слоя сезонной мерзлоты зависит

от ряда факторов, прежде всего климатических, которые ежегодно меняются, а также периода, прошедшего с момента начала тёплого сезона до момента воздействия движителя машины на почвогрунт, поэтому глубина подвергающегося давлению от движителя лесной машины почвогрунта может быть различной.

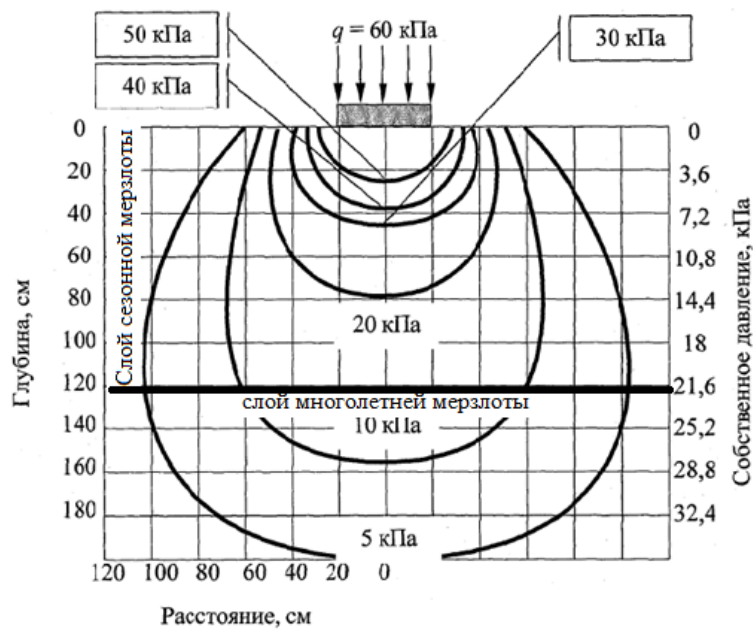


Рисунок 10. Эпюр распространения напряжений в почвогрунте под нормальным давлением движителя лесной машины [139]

Figure 10. Diagrams of stress propagation in the soil under normal pressure of the propulsion of a forest machine

Под воздействием нормальной силы давления движителя талый почвогрунт как вязкопластический материал будет, во-первых, вдавливаясь вниз (при этом уплотняясь), во-вторых, выдавливаясь по бокам движителя, в-третьих, уже за счёт воздействия касательной силы тяги движителя, почвогрунт будет перемещаться в противоположную направлению движения машины сторону [149]. Эти три одновременно протекающих процесса деформации почвогрунта приводят к образованию колеи. Интенсивность этого процесса может быть различной, и она зависит от физико-механических свойств почвогрунта, дающих ему возможность сопротивляться механическому воздействию движителя. В свою очередь, физико-механические свойства почвогрунта зависят от его состава и влажности. Чем больше влажность, тем меньше несущая способность [145]. Схема колееобразования в почвогрунте под воздействием движителя машины представлена на рисунке 11 [139], а типовые варианты динамики этого процесса — на рисунке 12.

Если учесть тот факт, что при оттаивании слоя сезонной мерзлоты образуемая влага стремится уйти вниз, а этому препятствует слой многолетней мерзлоты,

то единственный путь снижения влажности верхнего слоя почвогрунта — это испарение влаги, как у почвогрунтов III категории. Но у последних грунтов нет постоянной подпитки почвенной влагой, а у почвогрунтов Крайнего Севера есть — за счёт продолжающегося процесса протаивания слоя сезонной мерзлоты. В итоге в тёплое время года лесные почвогрунты Крайнего Севера практически постоянно имеют низкую несущую способность [145]. Максимальная степень уплотнения почвогрунта наблюдается на дне колеи [142]. Из-за этого собирающаяся в колее вода, например дождевая, не может уйти в нижние слои, накапливается, застаивается и может послужить причиной возникновения процесса заболачивания. В любом случае, даже если процесс заболачивания не начнётся, лишняя застойная влага существенно ухудшит режим корневого питания растений, в т. ч. и древесных видов.

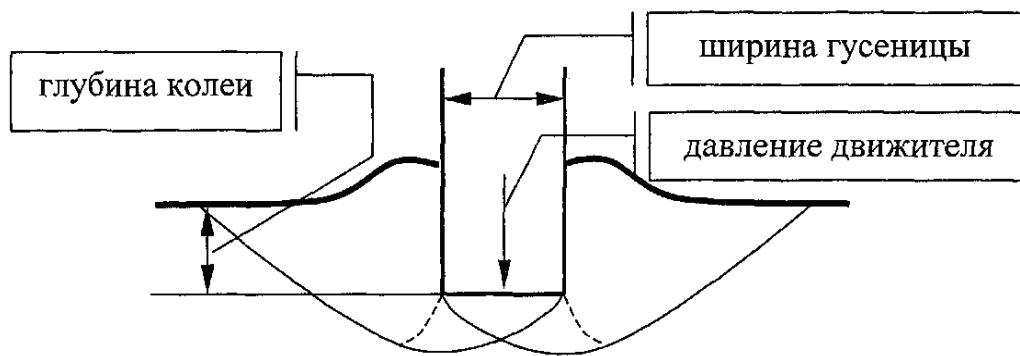


Рисунок 11. Схема колееобразования в почвогрунте под воздействием движителя машины [139]

Figure 11. The scheme of soil rutting under the influence of the machine mover

Плотность почвогрунта на дне колеи можно определить по выражению [143]

$$\rho_K = \rho_0 + \alpha_0 U, \quad (1)$$

где

$$\alpha_J = \frac{\rho_0(1-\nu_0^2)}{E_0 H}; \quad (2)$$

$$V = \omega b q_{\max} v (1 + \chi \lg N), \quad (3)$$

где ρ_0 — плотность почвогрунта естественного сложения (начальная плотность); H — глубина распространения деформации в почвогрунте; b — ширина пятна контакта движителя с поверхностью движения; ν_0 — коэффициент бокового расширения почвогрунта (коэффициент Пуассона); E_0 — модуль общей деформации почвогрунта; χ — коэффициент интенсивности накопления необратимой деформации почвы при повторных нагружениях; $\lg N$ — десятичный логарифм числа проходов машины по одному следу; ω — коэффициент,

зависящий от размера и формы опорной поверхности, для гусеничного движителя $L/b < 7$, - $\omega = (0,92 + 0,3 L/b)^{2/3}$, при $L/b > 7$, - $\omega = 2,15$; L — длина опорной поверхности гусеничного движителя, которая определяется в соответствии с рекомендациями ГОСТ 7057-81; $q_{\max v}$ — максимальное давление гусеничного движителя при скорости V .

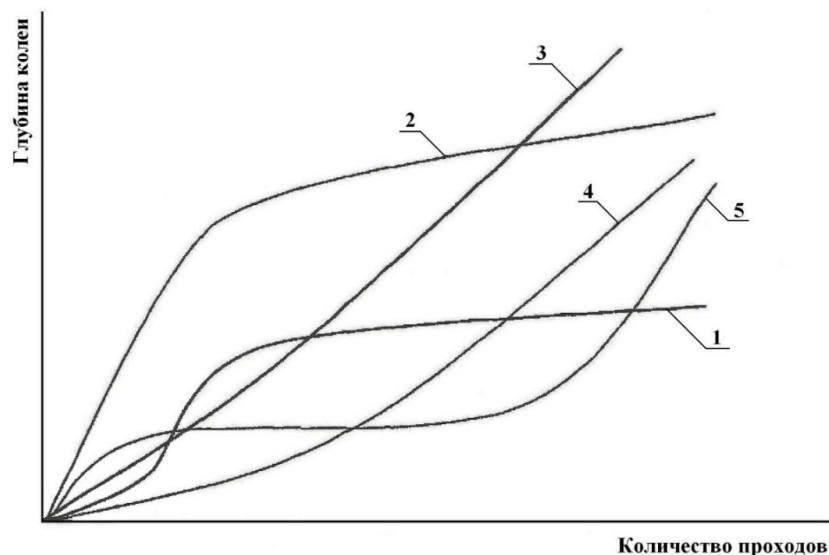


Рисунок 12. Типовые варианты динамики колееобразования: 1 — изменение колееобразования по логарифмическому закону; 2 — изменение колееобразования по логарифмическому закону с ускоренным проминанием колеи; 3 — нестабилизирующий рост глубины колеи; 4 — нестабилизирующий рост глубины колеи небольшой интенсивности; 5 — изменение колееобразования по логарифмическому закону с последующим резким ростом [139]

Figure 12. Typical variants of track formation dynamics: 1 — change in track formation according to the logarithmic law; 2 — change in track formation according to the logarithmic law with accelerated track penetration; 3 — unstable increase in track depth; 4 — unstable increase in track depth of low intensity; 5 — change in track formation according to the logarithmic law followed by a sharp increase

Известно мнение о том, что теоретически с увеличением скорости движения машины давление её движителя на почвогрунт должно снижаться, если не учитывать дополнительного уплотняющего воздействия, возникающего от динамики машины, возникающей при взаимодействии с микронеровностями поверхности движения (но это в большей степени свойственно колёсным лесным машинам). Это можно объяснить тем, что увеличение скорости движения машины ведёт к сокращению времени воздействия нормального давления движителя, в результате чего в почвогрунте не успевают завершиться процессы его деформации [151], [152]. Если считать это теоретическое мнение верным, то очевидно, что использование в условиях Крайнего Севера гусеничных лесных машин,

оснащённых резиноармированными гусеницами и имеющих, благодаря этому, большие скорости движения, является наиболее предпочтительным вариантом.

С целью минимизации негативного воздействия движителей лесных машин на лесные почвогрунты в практике лесозаготовительного производства есть ряд рекомендаций, к которым, например, относится укрепление ездых поверхностей трасс трелёвочных волоков и технологических коридоров порубочными остатками [144], [148], [153—155]. Для определения эффективности таких рекомендаций в мае 2024 г. было выполнено натурное обследование ряда вырубок разных лет, на которых лесосечные работы выполнялись в тёплый период года по скандинавской технологии. Было проведено натурное обследование вырубок прошлых лет, образовавшихся после проведения добровольно-выборочных рубок в сухих типах леса на севере Ленинградской области. При проведении обследования изучалось состояние сети трелёвочных волоков. Целью обследования являлось изучение динамики зарастания волоков и уменьшения глубины колеи на них.

Известно, что северные леса характеризуются сильно замедленным биологическим круговоротом [145]. Это оказывает значительное влияние на темпы восстановления сильно нарушенных почвогрунтов на трелёвочных волоках.

В результате натурного обследования установлено, что за период 8—10 лет, прошедший после проведения лесосечных работ, глубина колеи, образовавшейся на трелёвочных волоках под воздействием движителей лесных машин, практически не изменилась и во многих местах по-прежнему примерно равна клиренсу форвардера (фото 10). При этом на волоках, как в колеях, так и в межколейном пространстве, практически не появилось древесно-кустарниковой растительности. А колеи, образованные на склонах, в сторону подошвы склона, имеют склонность к увеличению, по всей видимости, из-за водной эрозии.

На сырых пониженных участках, по всей видимости лесозаготовителями, были созданы сплошные настилы (лежнёвки) из неликвидных сортиментов. К моменту окончания рубки, в большей части случаев, они оказались разрушенными, вдавленными в почвогрунт, а на их месте образовались очаги заболачивания с неутешительным прогнозом на восстановление в естественное состояние (фото 11). Причём, несмотря на прошедшие годы, следов заметной биологической деструкции на брёвнах настилов практически нет. Также почти не подверглись биологической деструкции порубочные остатки, которыми в некоторых местах были выстланы обследуемые трелёвочные волоки (фото 12). Благодаря тому, что один из обследуемых трелёвочных волоков был проложен по квартальной просеке, рядом с квартальным столбом, т. е. на пересечении двух квартальных просек, можно было визуально сравнить состояние почвогрунта естественного сложения и после воздействия движителя форвардера (фото 13).



Фото 10. Иллюстрация глубины колеи на вырубке давностью 8 лет [фото авторов]

Photo 10. Depth of the track at the cutting area formed 8 years ago



Фото 11. Заболотившийся пониженный участок с разрушенным бревенчатым настилом [фото авторов]

Photo 11. A swampy lowered area with a destroyed log deck



Фото 12. Неразложившиеся порубочные остатки на трелёвочном волоке [фото авторов]

Photo 12. Undecayed felling residues on a skidding line

Результаты данного натурного обследования вырубок прошлых лет позволили сделать следующие выводы:

- Во-первых, образующиеся в северных лесах под воздействием движителей лесных машин глубокие колеи практически не имеют положительной динамики к восстановлению до естественного, не нарушенного состояния. В сырых пониженных местах в колеях могут образовываться очаги заболачивания. У подошвы склонов колея начинает увеличиваться, по всей видимости, из-за воздействия стекающей по ней воды, т. е. процесса водной эрозии [156]. Всё это в рассматриваемых природных условиях очень существенно снижает возобновительный потенциал лесной экосистемы, значительно больше, чем лесные пожары, даже катастрофические [157—161].
- Во-вторых, древесные остатки (части лежнёвок, части кроны, откомлёвки), оставляемые лесозаготовителями на вырубках, в рассматриваемых условиях практически не подвергаются биологической деструкции, а следовательно, в течение очень длительного срока представляют пожарную опасность.



Фото 13. Состояние почвогрунта на квартальных просеках: слева — естественного сложения; справа — после воздействия движителя форвардера [фото авторов]

Photo 13. The condition of the soil on the quarterly glades: on the left — a natural addition; on the right — after the action of the forwarder's mover

Исходя из этого, можно сформулировать следующие рекомендации:

- для сохранения лесных экосистем северных лесов лесохозяйственные мероприятия, включая рубки лесных насаждений, которые необходимо выполнять в тёплое время года, необходимо проводить с помощью гусеничных тракторов, имеющих малое давление на почвогрунт [162—167];
- также весьма перспективным вариантом повышения экологической эффективности эксплуатации лесных машин в рассматриваемых природно-производственных условиях может быть использование на трелёвочных волоках, хотя бы на магистральных и в местах сырых понижений, современных сборно-разборных пластиковых покрытий [168], [169];
- крайне желательно древесные остатки, особенно крупные, удалять с вырубок, в дальнейшем сжигая их в пожаробезопасный период, или, лучше всего, эффективно утилизируя, например, для производства биотоплива.

4. Обсуждение и заключение

На основании представленного анализа можно сделать следующие основные выводы:

1. Понятие «Крайний Север» имеет юридические, географические и экологические аспекты, объединённые суровыми климатическими условиями. С точки зрения лесных экосистем данное понятие справедливо отождествлять с понятием «леса на многолетней мерзлоте». Частично Крайний Север совпадает по территории с Северным экономическим регионом Российской Федерации.

2. Из-за неблагоприятных климатических условий экосистемы Крайнего Севера, в т. ч. и лесные, характеризуются крайне замедленным биологическим кругооборотом и относятся к одним из наиболее чувствительных (ранимых) к негативному антропогенному воздействию.

3. Наибольшее негативное антропогенное воздействие лесным экосистемам Крайнего Севера лесные машины наносят в тёплое время года за счёт деформации (уплотнения и колееобразования) почвогрунтов движителями.

4. Большую часть лесохозяйственных и часть лесосечных работ невозможно выполнять в зимнее время года.

5. Для снижения негативного воздействия лесных машин на почвогрунты лесных экосистем Крайнего Севера наиболее предпочтительно использовать гусеничные машины с резиноармированными гусеницами.

6. Ввиду заторможенного биологического кругооборота в лесах Крайнего Севера неэффективно использование порубочных остатков для укрепления трасс трелёвочных волоков и технологических коридоров.

7. С точки зрения экологичности движителя лесной машины на почвогрунты лесов Крайнего Севера необходимо ограничивать допустимую глубину образуемой колеи до 5 см.

8. В этой связи, для минимизации негативного воздействия движителей лесных машин на лесные почвогрунты Крайнего Севера, необходимо использовать научно обоснованные рекомендации для принятия соответствующих организационно-технических решений по повышению экологической эффективности лесных машин в рассматриваемых природно-производственных условиях.

Работа выполнена в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» Арктического государственного агротехнологического университета. Исследование выполнено на средства гранта Российского научного фонда № 23-16-00092, <https://rscf.ru/project/23-16-00092/>.

Список литературы

1. Шарин Х. П., Коврова Д. Ф. Секреты северных строителей: как выстоять перед природными вызовами Крайнего Севера // Трансформация российской науки в эпоху информационного общества: Сб. науч. тр. по материалам III Междунар. научно-практич. конф. М., 2024. С. 104—109.
2. Ипатов А. В. Психология профессиональной деятельности в условиях Арктики и регионов Крайнего Севера: Учебник. М.: Изд-во ООО «Русайнс», 2024. 242 с.
3. Мирошниченко С. С. Безопасность условий труда на предприятиях в условиях Крайнего Севера // Арктика: современные подходы к производственной и экологической безопасности в нефтегазовом секторе: Материалы Междунар. научно-практич. конф. Тюмень, 2024. С. 118—120.
4. Бястинова Л. М. Состояние и экономические критерии использования земель в сельском хозяйстве на Крайнем Севере // Современные проблемы управления проектами в инвестиционно-строительной сфере и природопользовании: Материалы XIV Междунар. научно-практич. конф., посвящённой 117-летию РЭУ им. Г. В. Плеханова. М., 2024. С. 239—245.
5. Дровников В. С., Кузнецов Л. М. Биотические ресурсы Крайнего Севера // Научные исследования современных проблем развития России: тенденции развития в условиях неопределённости: Сб. науч. тр. по итогам Междунар. научно-практич. конф. молодых учёных Санкт-Петербург. гос. эконом. ун-та: В 2 ч. СПб., 2024. С. 267—270.
6. Китаева Ю. С. Правовой аспект управления Северным завозом // Проблемные ситуации на море и защита интересов сторон: Материалы VII Санкт-Петербург. морского форума. СПб., 2024. С. 59—63.
7. Лёвошко С. С., Даутов А. А. Арктический урбанизм в современной России. Способы интенсификации развития Арктических регионов // XIV Региональный творческий форум с международным участием «Архитектурные сезоны в СПбГАСУ»: Сб. материалов II Национал. (всерос.) научно-практич. конф. СПб., 2024. С. 76—77.
8. Масленников С. Н., Шеремет И. Д. Перспективы развития автомобильных дорог в районах Крайнего Севера // Актуальные вопросы автомобильного транспорта (АВАТ-2023): Сб. ст. Всерос. научно-практич. конф. Барнаул, 2024. С. 98—102.
9. Алешинский Р. Е. Преимущества когенерационных установок на местных видах топлива для малой распределённой энергетики Крайнего Севера // Энергетик. 2024. № 3. С. 40—44.
10. Мельникова Л. А. Особенности развития Крайнего Севера Российской Федерации // Экономические науки. 2024. № 232. С. 255—257.
11. Мельникова Л. А. Оценка экономической эффективности территорий Крайнего Севера Российской Федерации // Экономические науки. 2024. № 232. С. 258—262.
12. Перспективы выращивания сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* du tour) в условиях Крайнего Севера / Н. П. Братилова, Ю. Е. Щерба, А. В. Мантулина [и др.] // Хвойные бореальной зоны. 2024. Т. 42, № 2. С. 38—44.
13. Григорьев И. В., Григорьева О. И. Основные направления обеспечения экологической безопасности лесозаготовительного производства // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3, № 2-1 (13-1). С. 202—205.
14. Григорьева О. И., Григорьев М. Ф., Григорьев И. В. Анализ естественного лесовозобновления в Алексеевском участковом лесничестве Республики Саха (Якутия) // Forest

Engineering: Материалы научно-практич. конф. с междунар. участием. Якутск, 2018. С. 72—75.

15. Поиск новых технических решений для повышения экологической совместимости лесных машин с лесной средой / И. В. Григорьев, И. И. Тихонов, О. И. Григорьева [и др.] // Интенсификация формирования и охраны интеллектуальной собственности: Материалы республикан. научно-практич. конф., посвящённой 75-летию ПетрГУ. Петрозаводск, 2015. С. 9—11.
16. Ушаков Д. О. Основные угрозы, связанные с освоением углеводородных ресурсов Крайнего Севера // Наука сегодня: технические и естественные науки: Сб. материалов XXXVI междунар. очно-заочной научно-практич. конф.: В 3 т. М., 2023. С. 137—140.
17. Джейкенов Э. М., Комаров В. В., Кузнецова В. Н. Восстановление бездействующих скважин на месторождениях Крайнего Севера // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации: Сб. материалов VIII Междунар. научно-практич. конф. Омск, 2023. С. 18—23.
18. Захаров Н. А. Сложности деятельности сырьевой промышленности в условиях Крайнего Севера // Современные исследования: теория, практика, результаты: Сб. материалов Междунар. научно-практич. конф. М., 2023. С. 195—198.
19. Захаров Н. А. Экологическая проблема сырьевой промышленности на Крайнем Севере // Современные исследования: теория, практика, результаты: Сб. материалов Междунар. научно-практич. конф. М., 2023. С. 199—201.
20. Хапсироков А. С., Логвинова Ю. В., Горлов Ю. В. Анализ экологического воздействия этапов горных работ золотодобывающей отрасли на элементы биосферы Крайнего Севера // Актуальные проблемы недропользования — 2022: Материалы Научно-практич. семинара фак-та геологии, горн. и нефтегаз. дела, посвящённого 115-летию Южно-Рос. гос. политехн. ун-та (НПИ) им. М. И. Платова. Новочеркасск, 2023. С. 263—269.
21. Технология и машины лесовосстановительных работ: Учебное пособие / Р. Р. Сафин, И. В. Григорьев, О. И. Григорьева [и др.]. М.: Редакция журнала «Деревообрабатывающая промышленность», 2015. 230 с.
22. Григорьева О. И., Гринько О. И., Николаева Ф. В. Лесопожарные транспортно-технологические комплексы на базе колёсных форвардеров // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Междунар. научно-техн. конф. / Отв. ред. Н. С. Захаров. Тюмень, 2021. С. 55—58.
23. Основы лесного хозяйства: Учебное пособие / Р. Р. Сафин, И. В. Григорьев, О. И. Григорьева [и др.]. М.: Редакция журнала «Деревообрабатывающая промышленность», 2015. 170 с.
24. Перспективы импортозамещения систем машин для искусственного лесовосстановления / О. И. Григорьева, В. А. Макуев, Е. В. Барышникова [и др.] // Системы. Методы. Технологии. 2022. № 3 (55). С. 78—84.
25. Эффективность лесопользования в криолитозоне / С. Е. Рудов, И. В. Григорьев, О. И. Григорьева [и др.] // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе: Материалы междунар. научно-практич. конф. Воронеж, 2020. С. 460—463.
26. Оценка экологической безопасности работы лесных машин / А. И. Никифорова, О. И. Григорьева, Д. С. Киселев [и др.] // Природные ресурсы и экология Дальневосточного региона: Материалы Междунар. научно-практич. форума. Хабаровск, 2013. С. 134—138.

27. Григорьев И. В., Григорьева О. И. Повышение экологической эффективности лесохозяйственного производства // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 3-4 (8-4). С. 51—55.
28. Тюрин Н. А., Григорьев И. В., Григорьева О. И. Проблемы подготовки специалистов лесозаготовительного производства для устойчивого лесопользования // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2, № 2-3 (7-3). С. 363—367.
29. Радченко Т. А., Валдайских В. В., Некрасова О. А. Биологическая продуктивность сообществ некоторых природных экосистем лесотундры Ямала // Современные исследования природных и социально-экономических систем. Инновационные процессы и проблемы развития естественнонаучного образования: Материалы Междунар. научно-практич. конф. / Урал. гос. пед. ун-т. Екатеринбург, 2014. С. 81—89.
30. Миляев И. А. Восстановление растительного покрова на горях лесотундры Западной Сибири по данным дистанционного зондирования // Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды: Материалы Всерос. науч. конф. молодых учёных, посвящённой памяти Н. Ф. Реймерса и Ф. Р. Штильмарка / Под ред. С. А. Бузмакова. Пермь, 2023. С. 404—408.
31. Калиничева С. В. Исследование смещения границы леса на север: состояние, перспективы исследования и противоречия // Актуальные проблемы и перспективы развития геоэкологии: Материалы VII Всерос. науч. молодёж. геоэкологич. форума с междунар. участием, посвящённого 150-летию и 100-летию со дня рождения учёных-мерзловедов Михаила Ивановича Сумгина и Кирилла Фабиановича Войтковского. Якутск, 2023. С. 95—98.
32. Лигаева Н. А., Пономарева Т. В. Почвенный покров криолитозоны Красноярского края: состояние и перспективы исследований // Почвы и окружающая среда. Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящённая 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН. Новосибирск, 2023. С. 128—132.
33. Дендроклиматические исследования лиственницы Каяндера на территории бассейна реки Омолуй / А. И. Колмогоров, Ш. Крузе, А. Н. Николаев [и др.] // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2023. Т. 28, № 4. С. 584—594.
34. Быков Н. И., Шигимага А. А. Ландшафтные особенности радиального роста древесных растений Ямало-Ненецкого автономного округа // Связь климатических изменений с изменениями биологического и ландшафтного разнообразия Арктики и Субарктики: Тез. докл. Междунар. симпозиума / Отв. ред. А. Ю. Левых; ред. перевода Н. В. Ганжерли. Ишим, 2022. С. 13.
35. Медведская М. С. Рекультивация как основа сохранения естественных фитоценозов на Крайнем Севере // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения. Сб. материалов LV Студ. научно-практич. конф. Тюмень, 2021. С. 247—252.
36. Лапина Е. Д., Филиппов И. В., Ганасевич Г. Н. Мелкоосоковые сообщества топей и мохажин болот севера Западной Сибири // Растительность России. 2022. № 45. С. 3—38.
37. Синюткина А. А., Гашикова Л. П., Харанжевская Ю. А. Пирогенное изменение болотной растительности и торфа в Западной Сибири // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2024. Т. 79, № 1. С. 78—88.
38. Гаджиев Н. Б. Живая масса оленей лесотундровой зоны // Современные тенденции аграрной науки: Сб. Всерос. научно-практич. конф. Тюмень, 2023. С. 58—61.
39. Сорокина Н. Н. Основные положения и методы исследований при рационализации организации оленьих пастбищ // Современные проблемы землеустройства, кадастров,

природообустройства и повышения безопасности труда в АПК: Материалы VI Межрегион. научно-практич. конф. Красноярск, 2024. С. 62—65.

40. *Лащинский Н. Н., Лащинская Н. В.* Берёзовые криволесья северной лесотундры Западной Сибири // Растительный мир Азиатской России: Вестник Центрального сибирского ботанического сада СО РАН. 2015. № 1 (17). С. 39—44.
41. *Печкина Ю. А.* Современная растительность лесотундры в приуральском районе (в окрестностях железнодорожной станции Обская) // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2016. № 4 (93). С. 59—67.
42. *Подлесная А., Кашиникова Е. Н.* Исследование фитосанитарного состояния лесотундры на мониторинговых площадках // Ямальский вестник. 2016. № 3 (8). С. 136—141.
43. Edge effect in pine stands in the Northern taiga / P. A. Feklistov, A. N. Sobolev, N. A. Babich [et al.] // Russian Forestry Journal. 2023. No. 2 (392). P. 26—37.
44. Долговременная динамика состава, строения и состояния древостоев северотаёжных сосняков на европейском северо-востоке России / И. Н. Кутявин, А. В. Манов, А. Ф. Осипов [и др.] // Сибирский лесной журнал. 2023. № 2. С. 17—25.
45. *Барзут О. С., Цатив Л. Ю.* Динамика температуры воздуха и радиальный рост сосны обыкновенной в условиях северной тайги // Растительный покров Европейского Севера и Арктики: XIV Перфильевские научные чтения, посвящённые 140-летию со дня рождения Ивана Александровича Перфильева: Сб. материалов Межрегион. науч. конф. / Сост. Т. А. Паринова. Архангельск, 2022. С. 230—234.
46. *Карпечко Ю. В., Бондарик Н. Л.* Гидрологическая роль лесохозяйственных и лесопромышленных работ в таёжной зоне Европейского Севера России. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2010. 225 с.
47. *Махатков И. Д., Ермолов Ю. В.* Пространственное варьирование температуры корнеобитаемого слоя почв северной тайги Западной Сибири // Почвы и окружающая среда. 2018. Т. 1, № 1. С. 16—24.
48. *Горнов А. В.* Классификация лесов с использованием определителя типов леса европейской России (на примере Карелии и Карельского перешейка) // Вопросы лесной науки. 2018. Т. 1, № 1. С. 1—53.
49. *Сизов О. С., Лоботросова С. А., Соромотин А. В.* Лишайниковые сосняки северной тайги Западной Сибири как индикатор ледниковых условий рельефообразования // Проблемы региональной экологии. 2017. № 2. С. 60—68.
50. *Пинаевская Е. А.* Рост разных форм сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на болотных почвах северной тайги // Вестник КрасГАУ. 2016. № 11 (122). С. 163—170.
51. *Горшков В. В., Ставрова Н. И., Волкова Е. А.* Возрастная структура ценопопуляций сосны в постпирогенных северотаёжных лесах Кольского полуострова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2016. № 1 (29). С. 5—19.
52. *Кучеров И. Б.* Травяно-зеленомошные мезофильные сосняки средней и северной тайги европейской России // Ботанический журнал. 2013. Т. 98, № 9. С. 1108—1129.
53. *Кучеров И. Б.* Лишайниково-зеленомошные и зеленомошные сосняки средней и северной тайги европейской России // Комаровские чтения. 2013. № 61. С. 159—217.
54. *Шегельман И. Р., Будник П. В., Баклагин В. Н.* Сравнительный анализ средних эксплуатационных характеристик древостоев регионов северного экономического района // Инженерный вестник Дона. 2018. № 1 (48). С. 95.
55. Исследование роли мерзлотных экосистем в глобальном изменении климата / Т. Х. Максимов, Б. И. Иванов, Н. Г. Соломонов [и др.] // Влияние климатических и экологических изменений на мерзлотные экосистемы: Труды Второй междунар. конф. «Роль

- мерзлотных экосистем в глобальном изменении климата» / Ред.: Б. И. Иванов, Т. Х. Максимов. Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН, 2003. С. 9—33.
56. Максимов Т. Х., Кононов А. В. Роль лесных экосистем мерзлотной экосистемы в глобальном изменении климата // Материалы Международного семинара МСОП (IUCN) «Стратегия сохранения, восстановления и устойчивого использования бореальных лесов». Якутск, 1996. С. 75—80.
57. Гаврилова М. К. Теплобалансовые исследования в лесах Сибири // Влияние климатических и экологических изменений на мерзлотные экосистемы: Труды Второй междунар. конф. «Роль мерзлотных экосистем в глобальном изменении климата» / Ред.: Б. И. Иванов, Т. Х. Максимов. Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН, 2003. С. 41—55.
58. Гаврилова М. К. Современный климат и вечная мерзлота на континентах. Новосибирск: Наука, 1981. 113 с.
59. Гаврильев П. П., Ефремов П. В., Иванова Р. Н. Влияние криогенных процессов на ландшафты в среднем бассейне реки Лена // Влияние климатических и экологических изменений на мерзлотные экосистемы: Труды Второй междунар. конф. «Роль мерзлотных экосистем в глобальном изменении климата» / Ред.: Б. И. Иванов, Т. Х. Максимов. Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН, 2003. С. 64—70.
60. Варламов С. П. Изменчивость термического режима литогенной основы ландшафтов Центральной Якутии // Влияние климатических и экологических изменений на мерзлотные экосистемы: Тр. Второй международной конференции «Роль мерзлотных экосистем в глобальном изменении климата» / Ред.: Б. И. Иванов, Т. Х. Максимов. Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН, 2003. С. 71—77.
61. Гаврилова М. К. Температура почвогрунта в различных физико-географических условиях на примере местности Улахан-Тарын в Центральной Якутии // Мерзлота и почва. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1972. Вып. 1. С. 35—51.
62. Скрябин П. Н., Варламов С. П., Скачков Ю. Б. Межгодовая изменчивость теплового режима грунтов района Якутска. Новосибирск: Наука, 1979. 143 с.
63. Шапиро В. Я., Григорьев И. В., Рудов С. Е. Особенности взаимодействия лесных машин с мерзлотными почвогрунтами // Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы IV Всерос. научно-практич. конф. с междунар. участием. Петрозаводск, 2018. С. 187—188.
64. Угаров И. С., Гаврильев П. П., Ефремов П. В. Реагирование активного слоя вечной мерзлоты на изменение климата в среднем бассейне реки Лена // Влияние климатических и экологических изменений на мерзлотные экосистемы: Тр. Второй междунар. конф. «Роль мерзлотных экосистем в глобальном изменении климата» / Ред.: Б. И. Иванов, Т. Х. Максимов. Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН, 2003. С. 148—155.
65. Скрябин П. Н. Влияние техногенных нарушений на тепловое состояние ландшафтов // Влияние климатических и экологических изменений на мерзлотные экосистемы: Тр. Второй междунар. конф. «Роль мерзлотных экосистем в глобальном изменении климата» / Ред.: Б. И. Иванов, Т. Х. Максимов. Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН, 2003. С. 194—197.
66. Гаврилова М. К. Тепловой баланс соснового леса в Центральной Якутии // Ботанические материалы по Якутии. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1975. С. 145—158.
67. Павлов А. В., Прокопьев А. Н. Теплообмен почвы с атмосферой на лесном и безлесном участках в окрестностях г. Якутска // Региональные и теплофизические исследования мерзлых горных пород в Сибири. Якутск: ИМЗ СО АН СССР, 1976. С. 100—126.

68. Павлов А. В., Прокопьев А. Н. Теплообмен почвы с атмосферой в условиях лиственного леса в Центральной Якутии // Теплообмен в мерзлотных ландшафтах. Якутск: ИМЗ СО АН СССР, 1978. С. 3—29.
69. Поздняков Л. К. Гидроклиматический режим лиственных лесов Центральной Якутии. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 145 с.
70. Экологическая ёмкость арктических экосистем как основа разработки критериев сохранения, использования и охраны наземных экосистем Арктики / Н. С. Карпов, В. И. Захарова, Н. К. Потапова [и др.] // Влияние климатических и экологических изменений на мерзлотные экосистемы: Тр. Второй междунар. конф. «Роль мерзлотных экосистем в глобальном изменении климата» / Ред.: Б. И. Иванов, Т. Х. Максимов. Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН, 2003. С. 234—242.
71. Григорьев И. В., Григорьева О. И., Чураков А. А. Эффективные технологии и системы машин для малообъёмных заготовок древесины // Энергия: экономика, техника, экология. 2018. № 2. С. 61—66.
72. Должиков И. С., Григорьев И. В. Перспективы использования тракторов малого класса тяги для импортозамещения в области лесного машиностроения РФ // Актуальные проблемы лесного хозяйства и деревопереработки: Материалы Всерос. научно-практич. конф. / Под ред. Ю. М. Казакова [и др.]. Казань, 2023. С. 48—51.
73. Григорьева О. И., Давтян А. Б., Гринько О. И. Перспективы импортозамещения в производстве лесохозяйственных и лесопожарных машин в России // Лесоэксплуатация и комплексное использование древесины: Сб. ст. Всерос. научно-практич. конф. Красноярск, 2020. С. 66—69.
74. Григорьев И. В., Григорьева О. И. Лесозаготовительные машины на экскаваторной базе // Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы IV Всерос. научно-практич. конф. с междунар. участием. Петрозаводск, 2018. С. 45—46.
75. Концепция универсальной машины для выполнения лесохозяйственных работ и тушения лесных пожаров / О. И. Григорьева, А. Б. Давтян, О. И. Гринько [и др.] // Машиностроение: новые концепции и технологии. Всерос. научно-практич. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных. Красноярск, 2020. С. 45—49.
76. Григорьев И. В., Григорьева О. И., Вернер Н. Н. Системы машин для создания и эксплуатации лесных плантаций // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2017. Т. 5, № 5 (31). С. 438—443.
77. Григорьев И. В., Григорьева О. И. Постановка задачи экономической оценки улучшения условий труда и безопасности работы операторов лесных машин // Безопасность и охрана труда в лесозаготовительном и деревообрабатывающем производствах. 2022. № 4. С. 43—48.
78. Григорьев И. В., Григорьева О. И. Общие методические вопросы эргономической оценки системы «оператор — производственная среда — машина» // Безопасность и охрана труда в лесозаготовительном и деревообрабатывающем производствах. 2022. № 5. С. 17—22.
79. Григорьев И. В., Григорьева О. И. Практика подготовки операторов лесных машин в России // Инновации в химико-лесном комплексе: тенденции и перспективы развития: Материалы Всерос. научно-практич. конф. с междунар. участием / Отв. ред.: Ю. А. Безруких, Е. В. Мельникова. Красноярск, 2017. С. 182—185.
80. Григорьев И. В., Давтян А. Б., Григорьева О. И. Выбор системы машин для создания и эксплуатации лесных плантаций // Управление земельными ресурсами, землеустройство, кадастр, геодезия и картография. Проблемы и перспективы развития. Сб. матери-

- алов Всерос. научно-практич. конф. с междунар. участием, посвящённой 255-летию Землеустройства Якутии и Году науки и технологий. Якутск, 2021. С. 271—278.
81. Современные системы машин и технологии заготовки древесины и лесовосстановления в условиях горных лесосек / В. А. Каляшов, Туан А. До, Е. Г. Хитров [и др.] // *Resources and Technology*. 2022. Т. 19, № 2. С. 1—47.
82. Совершенствование конструкции валочно-пакетирующей машины / И. В. Григорьев, И. И. Тихонов, А. И. Никифорова [и др.] // *Справочник. Инженерный журнал*. 2014. № 2 (203). С. 57—60.
83. Современные системы машин для освоения лесосек на склонах / С. Е. Рудов, О. А. Куницкая, И. В. Григорьев [и др.] // *Ремонт. Восстановление. Модернизация*. 2021. № 1. С. 35—42.
84. *Григорьев И. В., Никифорова А. И., Григорьева О. И.* Сравнение одномашинных комплексов для сортиментной заготовки древесины // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. 2015. Т. 3, № 9-2 (20-2). С. 125—128.
85. Машинная заготовка древесины по скандинавской технологии / О. А. Куницкая, Н. А. Чернуцкий, М. В. Дербин [и др.]. СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2019. 192 с.
86. *Григорьева О. И.* Новая машина для проведения рубок ухода за лесом // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. 2015. Т. 3, № 2-2 (13-2). С. 116—119.
87. *Григорьева О. И.* Повышение эффективности проведения рубок ухода за лесом // *Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Второй Всерос. научно-практич. конф. с междунар. участием, посвящённой 65-летию высшего лесного образования в Республике Карелия*. Петрозаводск, 2016. С. 70—73.
88. *Григорьева О. И.* Перспективные направления повышения эффективности проведения рубок ухода за лесом // *Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Третьей Всерос. научно-практич. конф. с междунар. участием*. Петрозаводск, 2017. С. 56—58.
89. *Григорьева О. И., Нгуен Ф. З.* Перспективная техника для проведения рубок ухода за лесом // *Леса России: политика, промышленность, наука, образование: Материалы научно-техн. конф.* СПб.: СПбГЛТУ, 2016. С. 112—114.
90. *Шегельман И. Р.* Лесные трансформации (XV—XXI вв.). Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2008. 240 с.
91. *Анисимов Г. М., Григорьев И. В., Жукова А. И.* Экологическая эффективность трелёвочных тракторов. СПб.: ГЛТА, 2006. 352 с.
92. *Хитров Е. Г., Григорьев И. В., Хахина А. М.* Повышение эффективности трелёвки обоснованием показателей работы лесных машин при оперативном контроле свойств почвогрунта. СПб., 2015. 146 с.
93. Технология и машины лесосечных работ / В. И. Пятякин, И. В. Григорьев, А. К. Редькин [и др.]. СПб., 2012. 362 с.
94. *Григорьева О. И., Давтян А. Б.* Эффективная технология расчистки древесно-кустарниковой растительности // *Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Седьмой Всерос. национал. научно-практич. конф. с междунар. участием*. Петрозаводск, 2021. С. 34—35.
95. О важности исследований экологической эффективности процесса трелёвки / А. В. Калистратов, О. И. Григорьева, Г. В. Григорьев [и др.] // *Наука, образование, инновации в приграничном регионе: Материалы республикан. научно-практич. конф.* Петрозаводск, 2015. С. 7—9.

96. *Каляшов В. А., Григорьев И. В., Григорьева О. И.* Сравнительный анализ видов трелёвки на горных склонах // Вестник АГАТУ. 2022. № 2 (6). С. 41—59.
97. Системы машин и технологические процессы лесосечных работ для использования колёсных тракторов на полугусеничном ходу / А. С. Дмитриев, И. С. Должиков, И. В. Григорьев [и др.] // Вестник АГАТУ. 2023. № 3 (11). С. 73—88.
98. *Богданов А. С., Григорьева О. И.* Особенности инструктажей, стажировки, обучения и проверки знания требований охраны труда машинистов лесных машин // Актуальные проблемы лесного хозяйства и деревопереработки: Материалы Всерос. научно-практич. конф. / Под ред. Ю. М. Казакова [и др.]. Казань, 2023. С. 34—38.
99. Эффективное и безопасное использование мобильных рубительных машин / П. В. Трушевский, О. А. Куницкая, О. И. Григорьева [и др.] // Безопасность и охрана труда в лесозаготовительном и деревообрабатывающем производствах. 2023. № 4. С. 30—43.
100. *Куручкин П. А., Григорьев И. В., Григорьева О. И.* Разработка новых методических подходов к проектированию специальной техники и оборудования с учётом рисков в области безопасности труда и влияния человеческого фактора (на примере инвестиционных проектов по освоению лесов) // Безопасность и охрана труда в лесозаготовительном и деревообрабатывающем производствах. 2023. № 5. С. 20—28.
101. *Куручкин П. А., Григорьев И. В., Григорьева О. И.* Новые подходы к проектированию лесопромышленного оборудования с учётом рисков в области безопасности и охраны труда // Перспективные ресурсосберегающие технологии развития лесопромышленного комплекса: Материалы Междунар. научно-практич. конф. молодых учёных и студентов. Воронеж, 2023. С. 72—77.
102. Анализ технических и технологических решений очистки лесосек от порубочных остатков / П. В. Трушевский, О. А. Куницкая, И. С. Должиков [и др.] // Resources and Technology. 2023. Т. 20, № 4. С. 89—138.
103. Теоретическое исследование процесса разрушения массива грунта сферическими ножами при использовании комбинированных конструкций грунтометов для тушения лесных пожаров / В. Я. Шапиро, О. И. Григорьева, И. В. Григорьев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2018. № 1 (361). С. 61—69.
104. Возможности использования садово-парковой техники для борьбы с низовыми лесными пожарами / А. Ю. Мануковский, М. В. Зорин, О. И. Григорьева [и др.] // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: Сб. науч. ст. по итогам Шестой междунар. науч. конф. Казань, 2020. С. 144—146.
105. Инновационный способ остановки верховых лесных пожаров / О. И. Гринько, В. Я. Шапиро, О. И. Григорьева [и др.] // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2020. № 56. С. 15—18.
106. *Тетеревлева Е. В., Гринько О. И., Григорьева О. И.* Транспортно-технологические машины для тушения лесных пожаров на базе колёсных вездеходов // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Междунар. научно-техн. конф. / Отв. ред. Н. С. Захаров. Тюмень, 2020. С. 374—377.
107. *Григорьев И. В., Куницкая О. А.* Перспективные направления опытно-конструкторских работ в лесном машиностроении // Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Третьей Всерос. научно-практич. конф. с междунар. участием. Петрозаводск, 2017. С. 53—56.
108. *Григорьев И. В.* Современные проблемы импортозамещения в лесном машиностроении Российской Федерации // Инновации в химико-лесном комплексе: тенденции и перспективы развития: Материалы Всерос. научно-практич. конф. / Отв. ред.: Ю. А. Безруких, Е. В. Мельникова. Красноярск, 2022. С. 165—169.

109. *Чемшикова Ю. М., Давтян А. Б., Григорьева О. И.* Транспортно-технологические системы для лесоразведения на базе гусеничных вездеходов // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Междунар. научно-техн. конф. / Отв. ред. Н. С. Захаров. Тюмень, 2020. С. 400—403.
110. *Григорьев И. В., Чураков А. А., Григорьева О. И.* Перспективная конструкция вездехода для лесного хозяйства // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы междунар. научно-техн. конф. / Отв. ред. Н. С. Захаров. Тюмень, 2017. С. 136—139.
111. Исследование экологичности и вопросы сертификации движителей лесных машин / Е. Г. Хитров, Е. В. Котенев, А. В. Андронов [и др.] // Системы. Методы. Технологии. 2020. № 2 (46). С. 100—105.
112. *Дмитриев А. С., Григорьев И. В.* Преимущества использования колёсно-гусеничной ходовой части в качестве движителя для лесных машин // Актуальные проблемы лесного хозяйства и деревопереработки: Материалы Всерос. научно-практич. конф. / Под ред. Ю. М. Казакова [и др.]. Казань, 2023. С. 27—30.
113. Перспективы использования колёсных тракторов малого и среднего класса для тяги для выполнения лесохозяйственных работ / И. С. Должиков, О. А. Куницкая, А. А. Кривошеев [и др.] // Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Девятой Всерос. национал. научно-практич. конф. с междунар. участием. Петрозаводск, 2023. С. 75—76.
114. *Дмитриев А. С., Кривошеев А. А.* Оптимальные параметры колёсных тракторов для оснащения полугусеничным ходом // Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Девятой Всерос. национал. научно-практич. конф. с междунар. участием. Петрозаводск, 2023. С. 70—71.
115. Системы машин и технологические процессы лесосечных работ для использования колёсных тракторов на полугусеничном ходу / А. С. Дмитриев, И. С. Должиков, И. В. Григорьев [и др.] // Вестник АГАТУ. 2023. № 3 (11). С. 73—88.
116. *Добрецов Р. Ю.* Проблемы и перспективы использования в лесном комплексе машин с полугусеничным движителем / Р. Ю. Добрецов, А. С. Дмитриев, И. В. Григорьев // Вестник АГАТУ. 2022. № 4 (8). С. 95—105.
117. *Скобцов И. Г., Куницкая О. А., Серяков С. А.* Структурная оптимизация конструкций устройств защиты оператора лесной машины // Безопасность и охрана труда в лесозаготовительном и деревообрабатывающем производствах. 2022. № 6. С. 14—26.
118. *Скобцов И. Г., Куницкая О. А.* Разработка методов оценки вероятности безотказной работы устройств защиты оператора с применением катастрофы сборки // Безопасность и охрана труда в лесозаготовительном и деревообрабатывающем производствах. 2022. № 5. С. 23—37.
119. *Скобцов И. Г., Куницкая О. А.* Обзор конструктивных решений защитных устройств кабин лесных машин // Безопасность и охрана труда в лесозаготовительном и деревообрабатывающем производствах. 2022. № 1. С. 60—69.
120. *Скобцов И. Г., Куницкая О. А.* Требования стандартов по безопасности при работе на лесных машинах // Безопасность и охрана труда в лесозаготовительном и деревообрабатывающем производствах. 2022. № 1. С. 51—56.
121. *Богданов А. С., Куницкая О. А.* Динамика статистик производственного травматизма в лесном хозяйстве // Безопасность и охрана труда в лесозаготовительном и деревообрабатывающем производствах. 2023. № 1. С. 32—36.
122. Проблемы безопасного использования мини-тракторов и сельскохозяйственных тракторов на малообъёмных лесозаготовках / И. С. Должиков, А. С. Дмитриев, И. В. Гри-

- горьев [и др.] // Безопасность и охрана труда в лесозаготовительном и деревообрабатывающем производствах. 2024. № 1. С. 10—17.
123. Интеллектуальный анализ параметров и классификация лесных и сельскохозяйственных колёсных тракторов / И. С. Должиков, П. А. Курочкин, Е. Г. Хитров [и др.] // Системы. Методы. Технологии. 2024. № 2 (62). С. 87—94.
124. Повышение эффективности работы колёсных лесных машин на оттаивающих почвогрунтах / С. Е. Рудов, И. В. Григорьев, М. Ф. Григорьев [и др.] // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: Материалы XVII Междунар. научно-техн. конф. / Отв. ред. Ю. М. Авдеев. Вологда, 2019. С. 223—225.
125. Рудов С. Е., Куницкая О. А. Теоретические исследования экологической совместимости колёсных лесных машин и мерзлотных почвогрунтов лесов криолитозоны // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Междунар. научно-техн. конф. / Отв. ред. Н. С. Захаров. Тюмень, 2020. С. 323—326.
126. Бурмистрова О. Н., Тетеревлева Е. В., Куницкая О. А. Моделирование взаимодействия колёсного движителя сверхнизкого давления со слабонесущей опорной поверхностью // Системы. Методы. Технологии. 2019. № 4 (44). С. 95—101.
127. Тетеревлева Е. В. Колёсные вездеходы на шинах сверхнизкого давления в лесном хозяйстве и лесозаготовительном производстве // Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Пятой Всерос. национал. научно-практич. конф. с междунар. участием. Петрозаводск, 2019. С. 109—111.
128. Вездеходный адаптер на базе мотоблока для различных лесных работ / А. А. Чураков, И. В. Григорьев, И. С. Должиков [и др.] // Системы. Методы. Технологии. 2023. № 2 (58). С. 113—120.
129. Бурмистрова О. Н., Тетеревлева Е. В. Лёгкие вездеходы для лесного хозяйства и лесозаготовок // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Междунар. научно-техн. конф. / Отв. ред. Н. С. Захаров. Тюмень, 2019. С. 34—37.
130. 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 [et al.] // Asian Journal of Water, Environment and Pollution. 2019. Vol. 16, no. 4. P. 61—75.
131. Бурмистрова О. Н., Тетеревлева Е. В., Чемишкова Ю. М. Повышение эффективности лесохозяйственных работ за счёт использования вездеходной техники // Сквозные технологии промышленных производств и экономическая безопасность: Материалы 4-й традиц. республикан. научно-практич. конф. Петрозаводск: ООО «Verso», 2019. С. 31—36.
132. Экспериментальные исследования экологической безопасности лесных машин с колёсным, гусеничным и полугусеничным движителем при работе на склонах / А. Ю. Гурьев, И. В. Григорьев, А. С. Дмитриев [и др.] // Безопасность и охрана труда в лесозаготовительном и деревообрабатывающем производствах. 2024. № 1. С. 59—68.
133. Анализ взаимодействия колёсных лесных машин с почвогрунтами лесосек / А. М. Хахина, В. А. Макуев, Е. А. Тихонов [и др.] // Деревообрабатывающая промышленность. 2023. № 1. С. 10—28.
134. Расчёт коэффициента сцепления колёсного движителя лесной машины с почвогрунтом / Е. Г. Хитров, И. С. Должиков, А. С. Дмитриев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2023. № 5 (395). С. 126—134.
135. Средоадаптирующие технологии разработки лесосек в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации / И. В. Григорьев, А. И. Жукова, О. И. Григорьева [и др.]. СПб.: Изд-во ЛТА, 2008. 176 с.

136. Григорьев И. В., Рудов С. Е. Особенности эксплуатации колёсных лесных машин в сложных почвенно-грунтовых и рельефных условиях // Forest Engineering: Материалы научно-практич. конф. с междунар. участием. Якутск, 2018. С. 67—71.
137. Прогнозная модель воздействия трелёвочной системы на лесной почвогрунт в сложных сезонно-климатических условиях / С. Е. Рудов, В. Я. Шапиро, И. В. Григорьев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2020. № 5 (377). С. 131—144.
138. Исследование процесса разрушения мёрзлых и оттаивающих почвогрунтов при воздействии трелёвочной системы / С. Е. Рудов, В. Я. Шапиро, И. В. Григорьев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2020. № 2 (374). С. 101—117.
139. Перспективность дальнейших исследований по совершенствованию гусеничных лесных машин / Ю. А. Карасев, В. А. Марков, А. С. Дмитриев [и др.] // Resources and Technology. 2023. Т. 20, № 1. С. 42—86.
140. Меденцев А. Ю., Кузнецов И. С. Обзор конструкции и технологии изготовления резино-армированной гусеницы // Агротехника и энергообеспечение. 2020. № 4 (29). С. 49—55.
141. Чемишкова Ю. М. Гусеничные вездеходы для лесного хозяйства // Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Пятой Всерос. национал. научно-практич. конф. с междунар. участием. Петрозаводск, 2019. С. 116—118.
142. Григорьев И. В. Снижение отрицательного воздействия на почву колёсных трелёвочных тракторов обоснованием режимов их движения и технологического оборудования. СПб.: Изд-во ЛТА, 2006. 236 с.
143. Дмитриева М. Н., Григорьев И. В., Рудов С. Е. Анализ исследований взаимодействия колёсного движителя лесных машин со слабонесущим почвогрунтом // Resources and Technology. 2019. Т. 16, № 1. С. 10—39.
144. Исследование эффективности сборно-разборных дорожных конструкций для снижения негативного воздействия движителей лесных машин на почвогрунты / А. М. Юдилевич, Д. В. Новгородов, В. А. Иванов [и др.] // Системы. Методы. Технологии. 2024. № 2 (62). С. 119—128.
145. Особенности лесных почвогрунтов криолитозоны как объекта воздействия движителей лесных машин / В. А. Каляшов, И. В. Григорьев, В. А. Иванов [и др.] // Системы. Методы. Технологии. 2023. № 4 (60). С. 94—101.
146. Экологическая безопасность лесных машин на полугусеничном ходу / А. С. Дмитриев, И. С. Должиков, О. А. Куницкая [и др.] // Безопасность и охрана труда в лесозаготовительном и деревообрабатывающем производствах. 2023. № 5. С. 44—51.
147. Перспективные направления исследований восстановления древесно-кустарниковой растительности на повреждённых почвогрунтах / Ф. В. Николаева, О. И. Гринько, А. М. Юдилевич [и др.] // Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Девятой Всерос. национал. научно-практич. конф. с междунар. участием. Петрозаводск, 2023. С. 122—123.
148. Impact assessment of different propulsion systems in forestry machinery on soil properties / E. Hertz, A. Guriev, V. Druzyanova [et al.] // Mathematical Modelling of Engineering Problems. 2024. Vol. 11, no. 1. P. 133—140.
149. The theoretical modeling of the dynamic compaction process of forest soil / I. Grigorev, A. Burgonutdinov, V. Makuev [et al.] // Mathematical Biosciences and Engineering. 2022. Vol. 19, no. 3. P. 2935—2949.
150. Predicting the passability of wheeled tractors / A. M. Khakhina, I. V. Grigorev, N. P. Dolmatov [et al.] // Mathematical Modelling of Engineering Problems. 2022. Vol. 9, no. 5. P. 1233—1242.

151. Преимущества и недостатки повышения рабочих скоростей лесных машин / В. Д. Валажонков, А. И. Никифорова, А. В. Андронов [и др.] // Проблемно-ориентированные исследования процессов инновационного развития региона: Материалы Всерос. научно-практич. конф. Петрозаводск, 2013. С. 23—24.
152. Никифорова А. И., Тележный А. Е., Нгуен Ф. З. Анализ перспектив повышения эксплуатационных скоростей лесных машин // Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Второй Всерос. научно-практич. конф. с междунар. участием, посвящённой 65-летию высшего лесного образования в Республике Карелия. Петрозаводск, 2016. С. 202—205.
153. Григорьев И. В., Зорин М. В., Рудов М. Е. Современные способы укрепления временных лесовозных дорог и трелёвочных волоков // Управление земельными ресурсами, землеустройство, кадастр, геодезия и картография. Проблемы и перспективы развития: Сб. материалов Всерос. научно-практич. конф. с междунар. участием, посвящённой 255-летию Землеустройства Якутии и Году науки и технологий. Якутск, 2021. С. 278—285.
154. Мануковский А. Ю., Зорин М. В. Способы повышения проходимости машин на трелёвочных волоках и временных лесовозных дорогах // Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Седьмой Всерос. национал. научно-практич. конф. с междунар. участием. Петрозаводск, 2021. С. 123—125.
155. Должиков И. С., Зорин М. В., Рудов С. Е. Минимизация воздействия техники на почвогрунты на особо защитных участках // Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Девятой Всерос. национал. научно-практич. конф. с междунар. участием. Петрозаводск, 2023. С. 73—74.
156. Геотехническое обоснование работоспособности трелёвочных волоков и технологических коридоров на склонах оттаивающих почвогрунтов при работе лесных машин с колёсным и полугусеничным движителем / В. А. Каляшов, В. Я. Шапиро, И. В. Григорьев [и др.] // Resources and Technology. 2023. Т. 20, № 3. С. 15—31.
157. Рудов С. Е., Григорьева О. И., Григорьев И. В. Эффективное восстановление лесов на вечной мерзлоте // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: Материалы 86-й научно-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием). Минск, 2022. С. 38—41.
158. Каляшов В. А., Григорьева О. И., Григорьев И. В. Перспективные варианты восстановления лесов на склонах // Вестник АГАТУ. 2022. № 1 (5). С. 86—96.
159. Прогнозная модель послепожарного лесовосстановления в Иркутской области / О. И. Григорьева, О. И. Гринько, И. В. Григорьев [и др.] // Лесотехнический журнал. 2023. Т. 13, № 1 (49). С. 85—98.
160. Григорьева О. И., Гринько О. И., Гурьев А. Ю. Перспективная технология лесовосстановления после крупных и катастрофических лесных пожаров // Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Восьмой Всерос. национал. научно-практич. конф. с междунар. участием. Петрозаводск, 2022. С. 52—54.
161. Григорьева О. И. Особенности естественного лесовосстановления в условиях криолитозоны // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2018. Т. 6, № 4 (40). С. 25—29.
162. Григорьев И. В., Григорьева О. И. Мини-тракторы и райдеры в садово-парковом хозяйстве // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Междунар. научно-техн. конф. / Отв. ред. Н. С. Захаров. Тюмень, 2020. С. 122—125.
163. Каляшов В. А., Михайлова Л. М., Григорьев И. В. Использование мини-тракторов на лесозаготовках в условиях гор и сопок // Повышение эффективности лесного комплекса:

Материалы Девятой Всерос. национал. научно-практич. конф. с междунар. участием. Петрозаводск, 2023. С. 89—90.

164. Модернизация системы контроля давления в шинах лесных и сельскохозяйственных машин / И. В. Григорьев, О. А. Куницкая, Ю. В. Ланских [и др.] // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2021. № 2. С. 21—30.
165. Теория и методы воздействия техники и технологии на лесную среду в процессе лесовыращивания и заготовки древесного сырья / М. В. Драпалюк, Е. Г. Хитров, О. А. Куницкая [и др.]. Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. лесотехн. ун-та им. Г. Ф. Морозова, 2022. 210 с.
166. Дополнительные технические опции для повышения безопасности, надёжности и энергоэффективности сельскохозяйственных машин / И. В. Григорьев, Д. Н. Афоничев, О. А. Куницкая [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2020. Т. 13, № 4 (67). С. 44—54.
167. Михайлова Л. М., Куницкая О. А., Мотовилов А. И. Перспективы систем машин на базе средств малой механизации для малообъёмных лесозаготовок и лесохозяйственных работ // Стратегия и перспективы развития агротехнологий и лесного комплекса Якутии до 2050 года: Сб. науч. ст. по материалам Всерос. научно-практич. конф. с междунар. участием, посвящённой 100-летию образования Якутской АССР и 85-летию Первого президента РС (Я) М. Е. Николаева (Николаевские чтения). Якутск, 2022. С. 735—742.
168. Результаты экспериментальных исследований воздействия движителя лесной машины на укреплённое композитное основание / М. В. Зорин, И. С. Должиков, А. М. Юдилевич [и др.] // Resources and Technology. 2024. Т. 24, № 1. С. 1—25.
169. Зорин М. В., Куницкая О. А. Типы современных пластиковых плит для строительства временных лесных дорог и технологических коридоров // Деревянное домостроение Севера: традиции и инновации: Сб. ст. по материалам Всерос. научно-практич. конф. Петрозаводск, 2023. С. 28—30.

References

1. Sharin H. P., Kovrova D. F. Secrets of the northern builders: how to withstand the natural challenges of the Far North. *Transformation of Russian science in the era of information society: Collection of scientific papers based on the materials of the III International Scientific and Practical Conference*. Moscow, 2024, pp. 104—109. (In Russ.)
2. Ipatov A. V. *Psychology of professional activity in the Arctic and the regions of the Far North. Textbook*. Moscow, Publishing House, Rusains LLC, 2024. 242 p. (In Russ.)
3. Miroshnichenko S. S. Safety of working conditions at enterprises in the conditions of the Far North. *Arctic: modern approaches to industrial and environmental safety in the oil and gas sector: Materials of the International Scientific and Practical Conference*. Tyumen, 2024, pp. 118—120. (In Russ.)
4. Byastinova L. M. The state and economic criteria of land use in agriculture in the Far North. *Modern problems of project management in the investment and construction sector and environmental management: Materials of the XIV International Scientific and Practical Conference dedicated to the 117th anniversary of Plekhanov Russian University of Economics*. Moscow, 2024, pp. 239—245. (In Russ.)
5. Drovnikov V. S., Kuznetsov L. M. Biotic resources of the Far North. *Scientific research of modern problems of development of Russia: development trends in conditions of uncertainty: Collection of scientific papers based on the results of the International Scientific and Practical*

Conference of young scientists of Saint Petersburg State University of Economics: In 2 parts. Saint Petersburg, 2024, pp. 267—270. (In Russ.)

6. Kitaeva Yu. S. The legal aspect of the management of the Northern import. *Problematic situations at sea and protection of the interests of the parties: Materials of the VII Saint Petersburg Maritime Forum.* Saint Petersburg, 2024, pp. 59—63. (In Russ.)
7. Levoshko S. S., Dautov A. A. Arctic urbanism in modern Russia. Ways to intensify the development of the Arctic regions. *XIV Regional Creative Forum with international participation «Architectural Seasons in Saint Petersburg State University»: Collection of materials of the II National (All-Russian) scientific and practical conference.* Saint Petersburg, 2024, pp. 76—77. (In Russ.)
8. Maslennikov S. N., Sheremet I. D. Prospects for the development of highways in the regions of the Far North. *Topical issues of automobile transport (AVAT-2023): Collection of articles of the All-Russian scientific and practical conference.* Barnaul, 2024, pp. 98—102. (In Russ.)
9. Aleshinsky R. E. Advantages of cogeneration plants using local fuels for small distributed energy in the Far North. *Energetik*, 2024, no. 3, pp. 40—44. (In Russ.)
10. Melnikova L. A. Features of the development of the far North of the Russian Federation. *Economic sciences*, 2024, no. 232, pp. 255—257. (In Russ.)
11. Melnikova L. A. Assessment of the economic efficiency of the territories of the Far North of the Russian Federation. *Economic sciences*, 2024, no. 232, pp. 258—262. (In Russ.)
12. Bratilova N. P., Shcherba Yu. E., Mantulina A. V., Konovalova D. A. Prospects for growing Siberian cedar pine (*pinus sibirica* du tour) in the conditions of the Far North. *Coniferous boreal zones*, 2024, vol. 42, no. 2, pp. 38—44. (In Russ.)
13. Grigorev I. V., Grigoreva O. I. The main directions of ensuring environmental safety of logging production. *Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*, 2015, vol. 3, no. 2-1 (13-1), pp. 202—205. (In Russ.)
14. Grigoreva O. I., Grigorev M. F., Grigorev I. V. Analysis of natural reforestation in the Alekseevsky district forestry of the Republic of Sakha (Yakutia). *Forest Engineering: Materials of the scientific and practical conference with international participation.* Yakutsk, 2018, pp. 72—75. (In Russ.)
15. Grigorev I. V., Tikhonov I. I., Grigoreva O. I., Rudov M. E. Search for new technical solutions to improve the environmental compatibility of forest machines with the forest environment. *Intensification of the formation and protection of intellectual property: Materials of the republican scientific and practical conference dedicated to the 75th anniversary of PetrSU.* Petrozavodsk, 2015, pp. 9—11. (In Russ.)
16. Ushakov D. O. The main threats associated with the development of hydrocarbon resources of the Far North. *Science today: technical and natural sciences: Collection of materials of the XXXVI international full-time scientific and practical conference: In 3 volumes.* Moscow, 2023, pp. 137—140. (In Russ.)
17. Jakenov E. M., Komarov V. V., Kuznetsova V. N. Restoration of inactive wells in the fields of the Far North. *Architectural and construction and road transport complexes: problems, prospects, innovations: Collection of materials of the VIII International Scientific and Practical Conference.* Omsk, 2023, pp. 18—23. (In Russ.)
18. Zakharov N. A. The complexity of the activity of the raw materials industry in the conditions of the Far North. *Modern research: theory, practice, results: Collection of materials of the International scientific and practical conference.* Moscow, 2023, pp. 195—198. (In Russ.)
19. Zakharov N. A. The ecological problem of the raw materials industry in the Far North. *Modern research: theory, practice, results: Collection of materials of the International scientific and practical conference.* Moscow, 2023, pp. 199—201. (In Russ.)

20. Hapsirokov A. S., Logvinova Yu. V., Gorlov Yu. V. Analysis of the environmental impact of the stages of mining in the gold mining industry on the elements of the biosphere of the Far North. *Actual problems of subsoil use — 2022: Materials of the Scientific and Practical seminar of the Faculty of Geology, Mining and Oil and Gas Business dedicated to the 115th anniversary of the South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M. I. Platov.* Novocherkassk, 2023, pp. 263—269. (In Russ.)
21. Safin R. R., Grigorev I. V., Grigoreva O. I., Razumov E. Y. *Technology and machines of reforestation: Textbook.* Moscow, Editorial board of the journal «The woodworking industry», 2015. 230 p. (In Russ.)
22. Grigoreva O. I., Grinko O. I., Nikolaeva F. V. Forest fire transport and technological complexes based on wheeled forwarders. *Transport and transport-technological systems: Materials of the International Scientific and Technical Conference.* Editor N. S. Zakharov. Tyumen, 2021, pp. 55—58. (In Russ.)
23. Safin R. R., Grigorev I. V., Grigoreva O. I., Razumov E. Y. *Fundamentals of forestry: Textbook.* Moscow, Editorial board of the journal «The woodworking industry», 2015. 170 p. (In Russ.)
24. Grigoreva O. I., Makuyev V. A., Baryshnikova E. V., Burmistrova O. N., Shvetsova V. V., Grigorev I. V., Ivanov V. A. Prospects for import substitution of machine systems for artificial reforestation. *Sistem. Method. Technologies*, 2022, no. 3 (55), pp. 78—84. (In Russ.)
25. Rudov S. E., Grigorev I. V., Grigoreva O. I., Grigorev M. F., Grigoreva A. I. Efficiency of forest management in the cryolithozone. *Energy efficiency and energy conservation in modern production and society: Materials of the international scientific and practical conference.* Voronezh, 2020, pp. 460—463. (In Russ.)
26. Nikiforova A. I., Grigoreva O. I., Kiselyov D. S., Khakhina A. M., Rudov M. E. Assessment of environmental safety of forest machinery operations. *Natural resources and ecology of the Far Eastern region: Materials of the International Scientific and Practical Forum.* Khabarovsk, 2013, pp. 134—138. (In Russ.)
27. Grigorev I. V., Grigoreva O. I. Improving the environmental efficiency of forestry production. *Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*, 2014, vol. 2, no. 3-4 (8-4), pp. 51—55. (In Russ.)
28. Tyurin N. A., Grigorev I. V., Grigoreva O. I. Problems of training specialists in logging production for sustainable forest management. *Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*, 2014, vol. 2, no. 2-3 (7-3), pp. 363—367. (In Russ.)
29. Radchenko T. A., Valdayskikh V. V., Nekrasova O. A. Biological productivity of some natural ecosystems of the Yamal forest tundra. *Modern studies of social and socio-economic systems. Innovative processes and problems of the development of natural science education: Materials of the International Scientific and Practical Conference.* Ural State Pedagogical University. Ekaterinburg, 2014, pp. 81—89. (In Russ.)
30. Milyaev I. A. Restoration of vegetation cover on the burning forest tundra of Western Siberia according to remote sensing data. *Environmental safety in conditions of anthropogenic transformation of the natural environment: Materials of the All-Russian scientific conference of young scientists dedicated to the memory of N. F. Reimers and F. R. Shtilmark.* Edited by S. A. Buzmakov. Perm, 2023, pp. 404—408. (In Russ.)
31. Kalinicheva S. V. Investigation of the displacement of the forest boundary to the north: state, prospects of research and contradictions. *Current problems and prospects of geocryology development: Materials of the VII All-Russian Scientific Youth Geocryological Forum with international participation, dedicated to the 150th and 100th anniversary of the birth of permafrost scientists Mikhail Ivanovich Sumgin and Kirill Fabianovich Voitkovsky.* Yakutsk, 2023, pp. 95—98. (In Russ.)

32. Ligaeva N. A., Ponomareva T. V. Soil cover of the cryolithozone of the Krasnoyarsk Territory: state and prospects of research. *Soils and environment. All-Russian scientific conference with international participation dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS*. Novosibirsk, 2023, pp. 128—132. (In Russ.)
33. Kolmogorov A. I., Kruse S., Nikolaev A. N., Kirdyanov A. V., Pestryakova L. A. Dendroclimatic studies of Kayander larch in the territory of the Omoloi River basin. *Natural Resources Arctic and Subarctic resources*, 2023, vol. 28, no. 4, pp. 584—594. (In Russ.)
34. Bykov N. I., Shigimaga A. A. Landscape features of radial growth of woody plants of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug. *Connection of climatic changes with changes in biological and landscape diversity of the Arctic and Subarctic: Abstracts of the international symposium*. Editor-in-chief A. Y. Levov, ed. of the translation by N. V. Ganzherli. Ishim, 2022, p. 13. (In Russ.)
35. Medvedskaya M. S. Recultivation as a basis for the conservation of natural phytocenoses in the Far North. *Topical issues of science and economics: new challenges and solutions: Collection of materials of the LV Student scientific and practical conference*. Tyumen, 2021, pp. 247—252. (In Russ.)
36. Lapshina E. D., Filippov I. V., Ganasevich G. N. Small-scale communities of swamps and marshes in the north of Western Siberia. *Vegetation of Russia*, 2022, no. 45, pp. 3—38. (In Russ.)
37. Sinyutkina A. A., Gashkova L. P., Kharanzhevskaya Yu. A. Pyrogenic change of marsh vegetation and peat in Western Siberia. *Bulletin of the Moscow University. Episode 5: Geography*, 2024, vol. 79, no. 1, pp. 78—88. (In Russ.)
38. Gadzhiev N. B. Live weight of deer of the forest-tundra zone. *Modern trends in agrarian science: Collection of the All-Russian scientific and practical conference*. Tyumen, 2023, pp. 58—61. (In Russ.)
39. Sorokina N. N. Basic provisions and research methods for rationalizing the organization of reindeer pastures. *Modern problems of land management, cadastres, environmental management and improvement of labor safety in agriculture: Materials of the VI Interregional Scientific and practical Conference*. Krasnoyarsk, 2024, pp. 62—65. (In Russ.)
40. Lashchinsky N. N., Lashchinskaya N. V. Birch forests of the northern forest tundra of Western Siberia. *Flora of Asian Russia: Bulletin of the Central Siberian Botanical Garden SB RAS*, 2015, no. 1 (17), pp. 39—44. (In Russ.)
41. Pechkina Yu. A. Modern vegetation of the forest tundra in the Priuralsky district (in the vicinity of the railway station «Obskaya»). *Scientific bulletin of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug*, 2016, no. 4 (93), pp. 59—67. (In Russ.)
42. Podlesnaya A., Kashnikova E. N. Investigation of the phytosanitary condition of the forest tundra at monitoring sites. *Yamal Bulletin*, 2016, no. 3 (8), pp. 136—141. (In Russ.)
43. Feklistov P. A., Sobolev A. N., Babich N. A., Sungurova N. R., Melekhov V. I., Bolotov I. N. Edge effect in pine stands in the Northern taiga. *Russian Forestry Journal*, 2023, no. 2 (392), pp. 26—37.
44. Kutyavin I. N., Manov A. V., Osipov A. F., Bobkova K. S. Long-term dynamics of the composition, structure and condition of stands of North taiga pine forests in the European Northeast of Russia. *Siberian Forest Journal*, 2023, no. 2, pp. 17—25. (In Russ.)
45. Barzut O. S., Tsapiv L. Yu. Dynamics of air temperature and radial growth of scots pine in the conditions of the northern taiga. *Vegetation cover of the European North and the Arctic: XIV Perfiliev scientific readings dedicated to the 140th anniversary of the birth of Ivan Alexandrovich Perfiliev: Collection of materials of the Interregional scientific conference*. Comp. T. A. Parinova. Arkhangelsk, 2022, pp. 230—234. (In Russ.)

46. Karpechko Yu. V., Bondarik N. L. *The hydrological role of forestry and timber industry in the taiga zone of the European North of Russia*. Petrozavodsk, Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2010. 225 p. (In Russ.)
47. Makhatkov I. D., Ermolov Yu. V. Spatial variation of the temperature of the root-inhabited soil layer of the northern taiga of Western Siberia. *Soils and the environment*, 2018, vol. 1, no. 1, pp. 16—24. (In Russ.)
48. Gornov A. V. Classification of forests using the determinant of forest types in European Russia (on the example of Karelia and the Karelian isthmus). *Questions of forest science*, 2018, vol. 1, no. 1, pp. 1—53. (In Russ.)
49. Sizov O. S., Lobotrosova S. A., Soromotin A. V. Lichen pine forests of the northern taiga of Western Siberia as an indicator of glacial conditions of relief formation. *Problems of regional ecology*, 2017, no. 2, pp. 60—68. (In Russ.)
50. Pinaevskaya E. A. Growth of various forms of scots pine (*pinus sylvestris* L.) on swamp soils of the northern taiga. *Bulletin of KrasGAU*, 2016, no. 11 (122), pp. 163—170. (In Russ.)
51. Gorshkov V. V., Stavrova N. I., Volkova E. A. Restorative structure of pine coenopopulation in post-pyrogenic North taiga forests of the Kola Poluzerov. *Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Environmental management*, 2016, no. 1 (29), pp. 5—19. (In Russ.)
52. Kuchеров I. B. Grass-green mossy mesophilic pine forests of the middle and northern taiga of European Russia. *Botanical Journal*, 2013, vol. 98, no. 9, pp. 1108—1129. (In Russ.)
53. Kuchеров I. B. Lichen-green-mossy and green-mossy pine forests of the middle and northern taiga of European Russia. *Komarovsky readings*, 2013, no. 61, pp. 159—217. (In Russ.)
54. Shegelman I. R., Budnik P. V., Baklagin V. N. Comparative analysis of average operational characteristics of ancient regions of the northern economic region. *Engineering Bulletin of the Don*, 2018, no. 1 (48), p. 95. (In Russ.)
55. Maximov T. H., Ivanov B. I., Solomonov N. G., Takahashi K., Ota T., Dolman A. Y. Investigation of the role of permafrost ecosystems in global climate change. *The impact of climatic and environmental changes on permafrost ecosystems: Proceedings of the Second International Conference «The role of permafrost ecosystems in global climate change»*. Ed.: B. I. Ivanov, T. H. Maksimov. Yakutsk, JAF Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2003, pp. 9—33. (In Russ.)
56. Maximov T. H., Kononov A. V. The role of forest ecosystems in the permafrost ecosystem in global climate change. *Proceedings of the IUCN International Seminar «Strategy for conservation, restoration and Sustainable use of boreal forests»*. Yakutsk, 1996, pp. 75—80. (In Russ.)
57. Gavrilova M. K. Thermal balance of research in the forests of Siberia. *Influence of climatic and environmental changes on permafrost ecosystems: Proceedings of the Second International Conference «The role of permafrost ecosystems in global climate change»*. Editors: B. I. Ivanov, T. H. Maksimov. Yakutsk, YAF Publishing House SB RAS, 2003, pp. 41—55. (In Russ.)
58. Gavrilova M. K. *Modern climate and evening permafrost on continents*. Novosibirsk, Nauka, 1981. 113 p. (In Russ.)
59. Gavrilyev P. P., Efremov P. V., Ivanova R. N. Influence of cryogenic processes on landscapes in the middle Lena River basin. *Influence of climatic and ecological changes on permafrost ecosystems: Proceedings of the Second International Conference «The role of permafrost ecosystems in global climate change»*. Editors: B. I. Ivanov, T. H. Maksimov. Yakutsk, YAF Publishing House SB RAS, 2003, pp. 64—70. (In Russ.)
60. Varlamov S. P. Variability of the thermal regime of the lithogenic basis of the landscapes of Central Yakutia. *Influence of climatic and environmental changes on permafrost ecosystems: Proceedings of the Second International Conference «The role of permafrost ecosystems*

- in global climate change*». Editors: B. I. Ivanov, T. H. Maksimov. Yakutsk, YAF Publishing House SB RAS, 2003, pp. 71—77. (In Russ.)
61. Gavrilova M. K. Soil temperature in various physical and geographical conditions on the example of the Ulakhan-Taryn locality in Central Yakutia. *Permafrost and soil. Issue 1*. Yakutsk, JF SB of the USSR Academy of Sciences, 1972, pp. 35—51. (In Russ.)
62. Scriabin P. N., Varlamov S. P., Skachkov Yu. B. *Interannual variability of the thermal regime of soils in the Yakutsk region*. Novosibirsk, Nauka, 1979. 143 p. (In Russ.)
63. Shapiro V. Ya., Grigorev I. V., Rudov S. E. Features of interaction of forest machines with permafrost soils. *Improving the efficiency of the forest complex: Materials of the IV All-Russian scientific and practical conference with international participation*. Petrozavodsk, 2018, pp. 187—188. (In Russ.)
64. Ugarov I. S., Gavriilyev P. P., Efremov P. V. Response of the active permafrost layer to climate change in the middle Lena River basin. *Influence of climatic and environmental changes on permafrost ecosystems: Proceedings of the Second International Conference «The role of permafrost ecosystems in global climate change»*. Editors: B. I. Ivanov, T. H. Maksimov. Yakutsk, YAF Publishing House SB RAS, 2003, pp. 148—155. (In Russ.)
65. Scriabin P. N. Influence of technogenic disturbances on the thermal state of landscapes. *Influence of climatic and environmental changes on permafrost ecosystems: Proceedings of the Second International Conference «The role of permafrost ecosystems in global climate change»*. Editors: B. I. Ivanov, T. H. Maksimov. Yakutsk, YAF Publishing House SB RAS, 2003, pp. 194—197. (In Russ.)
66. Gavrilova M. K. Thermal balance of the pine forest in Central Yakutia. *Botanical materials on Yakutia*. Yakutsk, YAF SB AS USSR, 1975, pp. 145—158. (In Russ.)
67. Pavlov A. V., Prokopyev A. N. Heat exchange of soil with atmosphere in forest and treeless areas in the vicinity of Yakutsk. *Regional and thermophysical studies of frozen rocks in Siberia*. Yakutsk, IMZ SB of the USSR Academy of Sciences, 1976, pp. 100—126. (In Russ.)
68. Pavlov A. V., Prokopyev A. N. Heat exchange of soil with atmosphere in conditions of a larch forest in Central Yakutia. *Heat transfer in permafrost landscapes*. Yakutsk, IMZ SB of the USSR Academy of Sciences, 1978, pp. 3—29. (In Russ.)
69. Pozdnyakov L. K. *The hydroclimatic regime of larch forests of Central Yakutia*. Moscow, Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1963. 145 p. (In Russ.)
70. Karpov N. S., Zakharova V. I., Potapova N. K., Volper Ya. L., Isaev A. P., Nogovitsyna S. N., Evdokarova T. G. Ecological capacity of Arctic ecosystems as a basis for the development of criteria for the conservation, use and protection of terrestrial ecosystems of the Arctic. *Influence of climatic conditions and environmental changes on permafrost ecosystems: Proceedings of the Second International Conference «The role of permafrost ecosystems in global climate change»*. Editors: B. I. Ivanov, T. H. Maksimov. Yakutsk, YAF Publishing House SB RAS, 2003, pp. 234—242. (In Russ.)
71. Grigorev I. V., Grigoreva O. I., Churakov A. A. Effective technologies and machine systems for low-volume wood blanks. *Energy: economics, technology, ecology*, 2018, no. 2, pp. 61—66. (In Russ.)
72. Dolzhikov I. S., Grigorev I. V. Prospects of using tractors of small traction class for import substitution in the field of forestry engineering of the Russian Federation. *Actual problems of forestry and wood processing: Materials of the All-Russian scientific and practical conference*. Edited by Yu. M. Kazakov [et al.]. Kazan, 2023, pp. 48—51. (In Russ.)
73. Grigoreva O. I., Davtyan A. B., Grinko O. I. Prospects of import substitution in the production of forestry and forest fire fighting machines in Russia. *Forest exploitation and integrated*

use of wood: Collection of articles of the All-Russian scientific and practical conference. Krasnoyarsk, 2020, pp. 66—69. (In Russ.)

74. Grigorev I. V., Grigoreva O. I. Logging machines on an excavator base. *Improving the efficiency of the forest complex: Materials of the IV All-Russian scientific and practical conference with international participation.* Petrozavodsk, 2018, pp. 45—46. (In Russ.)
75. Grigoreva O. I., Davtyan A. B., Grinko O. I., Voynash S. A. The concept of a universal machine for performing forestry work and extinguishing forest fires. *Mechanical engineering: new concepts and technologies. All-Russian scientific and practical conference of students, post-graduates and young scientists.* Krasnoyarsk, 2020, pp. 45—49. (In Russ.)
76. Grigorev I. V., Grigoreva O. I., Werner N. N. Systems of machines for the creation and operation of forest plantations. *Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*, 2017, vol. 5, no. 5 (31), pp. 438—443. (In Russ.)
77. Grigorev I. V., Grigoreva O. I. Formulation of the task of economic assessment of improving working conditions and safety of operators of forest machines. *Safety and labor protection in logging and woodworking industries*, 2022, no. 4, pp. 43—48. (In Russ.)
78. Grigorev I. V., Grigoreva O. I. General methodological issues of ergonomic assessment of the system «operator — production environment — machine». *Safety and labor protection in logging and woodworking industries*, 2022, no. 5, pp. 17—22. (In Russ.)
79. Grigorev I. V., Grigoreva O. I. The practice of training operators of forest machines in Russia. *Innovations in the chemical and forestry complex: trends and development prospects: Materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation.* The responsible editors are Yu. A. Bezrukikh, E. V. Melnikova. Krasnoyarsk, 2017, pp. 182—185. (In Russ.)
80. Grigorev I. V., Davtyan A. B., Grigoreva O. I. The choice of a machine system for the creation and operation of forest plantations. *Land management, land management, cadastre, geodesy and cartography. Problems and prospects of development: Collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation dedicated to the 255th anniversary of Land Management in Yakutia and the Year of Science and Technology.* Yakutsk, 2021, pp. 271—278. (In Russ.)
81. Kalyashov V. A., Tuan A. Do, Khitrov E. G., Grigoreva O. I., Guryev A. Yu., Novgorodov D. V. Modern machine systems and technologies of wood harvesting and reforestation in conditions of mountain cutting areas. *Resources and Technology*, 2022, vol. 19, no. 2, pp. 1—47. (In Russ.)
82. Grigorev I. V., Tikhonov I. I., Nikiforova A. I., Grigoreva O. I. Improvement of the design of the felling-packing machine. *Handbook. Engineering magazine*, 2014, no. 2 (203), pp. 57—60. (In Russ.)
83. Rudov S. E., Kunitskaya O. A., Grigorev I. V., Grigoreva O. I., Kalyashov V. A., Nguyen T. N. Modern systems of machines for the development of cutting areas on slopes. *Repair. Recovery. Modernization*, 2021, no. 1, pp. 35—42. (In Russ.)
84. Grigorev I. V., Nikiforova A. I., Grigoreva O. I. Comparison of single-machine complexes for wood sorting. *Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*, 2015, vol. 3, no. 9-2 (20-2), pp. 125—128. (In Russ.)
85. Kunitskaya O. A., Chernutsky N. A., Derbin M. V., Rudov S. E., Grigorev I. V., Grigoreva O. I. *Machine harvesting of wood using Scandinavian technology.* Saint Petersburg, Publishing and Printing Association of Higher educational institutions, 2019. 192 p. (In Russ.)
86. Grigoreva O. I. A new machine for logging forest care. *Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*, 2015, vol. 3, no. 2-2 (13-2), pp. 116—119. (In Russ.)
87. Grigoreva O. I. Improving the efficiency of logging of forest care. *Improving the efficiency of the forest complex: Materials of the Second All-Russian Scientific and Practical conference*

- with international participation dedicated to the 65th anniversary of higher forest education in the Republic of Karelia. Petrozavodsk, 2016, pp. 70—73. (In Russ.)
88. Grigoreva O. I. Promising directions for improving the efficiency of logging of forest care. *Improving the efficiency of the forest complex: Materials of the third All-Russian scientific and practical conference with international participation*. Petrozavodsk, 2017, pp. 56—58. (In Russ.)
89. Grigoreva O. I., Nguyen F. Z. Promising equipment for logging forest care. *Forests of Russia: politics, industry, science, education: Materials of the scientific and technical conference*. Saint Petersburg, SPbGLTU, 2016, pp. 112—114. (In Russ.)
90. Shegelman I. R. *Forest transformations (XV—XXI centuries)*. Petrozavodsk, Publishing House of PetrSU, 2008. 240 p. (In Russ.)
91. Anisimov G. M., Grigorev I. V., Zhukova A. I. *Ecological efficiency of skidding tractors*. Saint Petersburg, GLTA, 2006. 352 p. (In Russ.)
92. Khitrov E. G., Grigorev I. V., Khakhina A. M. *Improving the efficiency of skidding by substantiating the performance of forest machines in the operational control of soil properties. Scientific publication*. Saint Petersburg, 2015. 146 p. (In Russ.)
93. Patyakin V. I., Grigorev I. V., Redkin A. K., Ivanov V. I., Posharnikov F. V., Shegelman I. R., Shirnin Yu. A., Katsadze V. A., Valyazhonkov V. D., Bit Yu. A., Matrosov A. V., Kunit-skaya O. A. *Technology and machines of logging operations*. Saint Petersburg, 2012. 362 p. (In Russ.)
94. Grigoreva O. I., Davtyan A. B. Effective technology of clearing of woody and shrubby vegetation. *Improving the efficiency of the forest complex: Materials of the Seventh All-Russian National Scientific and Practical Conference with international participation*. Petrozavodsk, 2021, pp. 34—35. (In Russ.)
95. Kalistratov A. V., Grigoreva O. I., Grigorev G. V., Dmitrieva I. N. On the importance of research on the ecological efficiency of the skidding process. *Science, education, innovations in the border region: Materials of the republican scientific and practical conference*. Petrozavodsk, 2015, pp. 7—9. (In Russ.)
96. Kalyashov V. A., Grigorev I. V., Grigoreva O. I. Comparative analysis of types of skidding on mountain slopes. *Herald of AGATHU*, 2022, no. 2 (6), pp. 41—59. (In Russ.)
97. Dmitriev A. S., Dolzhikov I. S., Grigorev I. V., Grigoreva O. I. Machine systems and technological processes of logging operations for the use of wheeled tractors on a half-track. *Herald of AGATHU*, 2023, no. 3 (11), pp. 73—88. (In Russ.)
98. Bogdanov A. S., Grigoreva O. I. Features of briefings, internships, training and verification of knowledge of labor protection requirements for forest machinery machinists. *Current problems of forestry and wood processing: Materials of the All-Russian scientific and practical conference*. Edited by Yu. M. Kazakov [et al.]. Kazan, 2023, pp. 34—38. (In Russ.)
99. Trushevsky P. V., Kunitskaya O. A., Grigoreva O. I., Davtyan A. B. Effective and safe use of mobile chopping machines. *Safety and labor protection in logging and woodworking industries*, 2023, no. 4, pp. 30—43. (In Russ.)
100. Kurochkin P. A., Grigorev I. V., Grigoreva O. I. Development of new methodological approaches to the design of special machinery and equipment, taking into account risks in the field of occupational safety and the influence of the human factor (on the example of investment projects for forest development). *Safety and labor protection in logging and woodworking industries*, 2023, no. 5, pp. 20—28. (In Russ.)
101. Kurochkin P. A., Grigorev I. V., Grigoreva O. I. New approaches to the design of forestry equipment taking into account risks in the field of safety and labor protection. *Promising resource-saving technologies for the development of the timber industry: Materials of the*

International Scientific and Practical Conference of Young scientists and students. Voronezh, 2023, pp. 72—77. (In Russ.)

102. Trushevsky P. V., Kunitskaya O. A., Dolzhikov I. S., Makuyev V. A., Revyako S. I., Grigoreva O. I. Analysis of technical and technological solutions for clearing cutting areas from felling residues. *Resources and Technology*, 2023, vol. 20, no. 4, pp. 89—138. (In Russ.)
103. Shapiro V. Ya., Grigoreva O. I., Grigorev I. V., Grigorev M. F. Theoretical study of the process of destruction of an array of soil with spherical knives when using combined structures of grunometers to extinguish forest fires. *Izvestia of higher educational institutions. Forest magazine*, 2018, no. 1 (361), pp. 61—69. (In Russ.)
104. Manukovsky A. Yu., Zorin M. V., Grigoreva O. I., Grinko O. I., Kunitskaya O. A., Grigorev I. V. The possibilities of using gardening equipment to combat grass-roots forest fires. *Priority directions of innovative activity in industry. collection of scientific articles based on the results of the sixth international scientific conference*. Kazan, 2020, pp. 144—146. (In Russ.)
105. Grinko O. I., Shapiro V. Ya., Grigoreva O. I., Grigorev M. F., Stepanova D. I., Grigoreva A. I. An innovative way to stop riding forest fires. *Actual problems of the forest complex*, 2020, no. 56, pp. 15—18. (In Russ.)
106. Teterevleva E. V., Grinko O. I., Grigoreva O. I. Transport and technological machines for extinguishing forest fires based on wheeled all-terrain vehicles. *Transport and transport-technological systems: Materials of the International Scientific and Technical Conference*. Editor N. S. Zakharov. Tyumen, 2020, pp. 374—377. (In Russ.)
107. Grigorev I. V., Kunitskaya O. A. Promising areas of experimental design work in forestry engineering. *Improving the efficiency of the forest complex: Materials of the third All-Russian scientific and practical conference with international participation*. Petrozavodsk, 2017, pp. 53—56. (In Russ.)
108. Grigorev I. V. Modern problems of import substitution in forestry engineering of the Russian Federation. *Innovations in the chemical and forestry complex: trends and prospects of development: Materials of the All-Russian scientific and practical conference*. Editors: Yu. A. Bezrukikh, E. V. Melnikova. Krasnoyarsk, 2022, pp. 165—169. (In Russ.)
109. Chemshikova Yu. M., Davtyan A. B., Grigoreva O. I. Transport and technological systems for afforestation based on tracked all-terrain vehicles. *Transport and transport-technological systems: Materials of the International Scientific and Technical Conference*. Editor N. S. Zakharov. Tyumen, 2020, pp. 400—403. (In Russ.)
110. Grigorev I. V., Churakov A. A., Grigoreva O. I. Perspective design of an all-terrain vehicle for forestry. *Transport and transport-technological systems: Materials of the international scientific and technical conference*. Editor N. S. Zakharov. Tyumen, 2017, pp. 136—139. (In Russ.)
111. Khitrov E. G., Kotenev E. V., Andronov A. V., Zhang S. A., Nikiforova V. A. The study of environmental friendliness and issues of certification of forest machinery movers. *System. Methods. Technologies*, 2020, no. 2 (46), pp. 100—105. (In Russ.)
112. Dmitriev A. S., Grigorev I. V. Advantages of using a wheeled-tracked undercarriage as a propellant for forest machines. *Actual problems of forestry and wood processing: Materials of the All-Russian scientific and practical conference*. Edited by Yu. M. Kazakov [et al.]. Kazan, 2023, pp. 27—30. (In Russ.)
113. Dolzhikov I. S., Kunitskaya O. A., Krivosheev A. A., Dmitriev A. S. Prospects of using wheeled tractors of small and medium class for traction to perform forestry work. *Improving the efficiency of the forest complex: Materials of the Ninth All-Russian National Scientific and Practical Conference with international participation*. Petrozavodsk, 2023, pp. 75—76. (In Russ.)

114. Dmitriev A. S., Krivosheev A. A. Optimal parameters of wheeled tractors for equipping with a half-track. *Improving the efficiency of the forest complex: Materials of the Ninth All-Russian National Scientific and Practical Conference with international participation*. Petrozavodsk, 2023, pp. 70—71. (In Russ.)
115. Dmitriev A. S., Dolzhikov I. S., Grigorev I. V., Grigoreva O. I. Machine systems and technological processes of logging operations for the use of wheeled tractors on a half-track. *Herald of AGATHU*, 2023, no. 3 (11), pp. 73—88. (In Russ.)
116. Dobretsov R. Yu., Dmitriev A. S., Grigorev I. V. Problems and prospects of using machines with a semi-tracked propulsion in the forest complex. *Bulletin of AGATU*, 2022, no. 4 (8), pp. 95—105. (In Russ.)
117. Skobtsov I. G., Kunitskaya O. A., Seryakov S. A. Structural optimization of protection devices for the operator of a forest machine. *Safety and labor protection in logging and woodworking industries*, 2022, no. 6, pp. 14—26. (In Russ.)
118. Skobtsov I. G., Kunitskaya O. A. Development of methods for assessing the probability of failure-free operation of operator protection devices using assembly disaster. *Occupational safety and health in logging and woodworking industries*, 2022, no. 5, pp. 23—37. (In Russ.)
119. Skobtsov I. G., Kunitskaya O. A. Review of design solutions for protective devices of cabins of forest machines. *Occupational safety and health in logging and woodworking industries*, 2022, no. 1, pp. 60—69. (In Russ.)
120. Skobtsov I. G., Kunitskaya O. A. Requirements of safety standards when working on forest machines. *Occupational safety and health in logging and woodworking industries*, 2022, no. 1, pp. 51—56. (In Russ.)
121. Bogdanov A. S., Kunitskaya O. A. Dynamics of statistics of industrial injuries in forestry. *Occupational safety and health in logging and woodworking industries*, 2023, no. 1, pp. 32—36. (In Russ.)
122. Dolzhikov I. S., Dmitriev A. S., Grigorev I. V., Mikhailova L. M., Kurochkin P. A. Problems of safe use of mini-tractors and agricultural tractors in low-volume logging. *Safety and labor protection in logging and woodworking industries*, 2024, no. 1, pp. 10—17. (In Russ.)
123. Dolzhikov I. S., Kurochkin P. A., Khitrov E. G., Dyachenko V. M., Mikhailova L. M., Grigorev I. V., Revyako S. I. Intellectual analysis of parameters and classification of forest and agricultural wheeled tractors. *System. Methods. Technologies*, 2024, no. 2 (62), pp. 87—94. (In Russ.)
124. Rudov S. E., Grigorev I. V., Grigorev M. F., Stepanova D. I. Improving the efficiency of wheeled forestry machines on thawing soils. *Actual problems of the development of the forest complex: Materials of the XVII International Scientific and Technical Conference*. The responsible editor is Yu. M. Avdeev. Vologda, 2019, pp. 223—225. (In Russ.)
125. Rudov S. E., Kunitskaya O. A. Theoretical studies of ecological compatibility of wheeled forest vehicles and permafrost soils of cryolithozone forests. *Transport and transport-technological systems: Materials of the International Scientific and Technical Conference*. Editor N. S. Zakharov. Tyumen, 2020, pp. 323—326. (In Russ.)
126. Burmistrova O. N., Teterevleva E. V., Kunitskaya O. A. Modeling of the interaction of an ultra-low pressure wheel mover with a weakly bearing support surface. *System. Methods. Technologies*, 2019, no. 4 (44), pp. 95—101. (In Russ.)
127. Teterevleva E. V. Wheeled all-terrain vehicles on ultra-low pressure tires in forestry and logging production. *Improving the efficiency of the forest complex materials of the Fifth All-Russian National Scientific and Practical conference with international participation*. Petrozavodsk, 2019, pp. 109—111. (In Russ.)

128. Churakov A. A., Grigorev I. V., Dolzhikov I. S., Grigoreva O. I., Tikhonov E. A., Revyako S. I. All-terrain adapter based on a tillerblock for various forest work. *System. Methods. Technologies*, 2023, no. 2 (58), pp. 113—120. (In Russ.)
129. Burmistrova O. N., Teterevleva E. V. Light all-terrain vehicles for forestry and logging. *Transport and transport-technological systems: Materials of the International Scientific and Technical Conference*. Editor N. S. Zakharov. Tyumen, 2019, pp. 34—37. (In Russ.)
130. Rudov S. E., Voronova A. M., Chemshikova Yu. M., Teterevleva E. V., Kruchinin I. N., Dondokov Yu. Zh., Khaldeeva M. N., Burtseva I. A., Danilov V. V., Grigorev I. V. 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*, 2019, vol. 16, no. 4, pp. 61—75.
131. Burmistrova O. N., Teterevleva E. V., Chemshikova Yu. M. Improving the efficiency of forestry operations through the use of all-terrain vehicles. *End-to-end technologies of industrial production and economic security: Materials of the 4th traditional Republican Scientific and Practical Conference*. Petrozavodsk, Verso LLC, 2019, pp. 31—36. (In Russ.)
132. Guryev A. Yu., Grigorev I. V., Dmitriev A. S., Kalyashov V. A., Dolzhikov I. S., Dyachenko V. M. Experimental studies of environmental safety of forest machines with wheeled, tracked and semi-tracked propulsion when working on slopes. *Occupational safety and health in logging and woodworking industries*, 2024, no. 1, pp. 59—68. (In Russ.)
133. Khakhina A. M., Makuyev V. A., Tikhonov E. A., Chemshikova Yu. M., Dolmatov N. P., Grigorev I. V. Analysis of the interaction of wheeled forest machines with cutting soils. *Woodworking industry*, 2023, no. 1, pp. 10—28. (In Russ.)
134. Khitrov E. G., Dolzhikov I. S., Dmitriev A. S., Kalyashov V. A., Grigorev I. V., Grigoreva O. I. Calculation of the coefficient of adhesion of a wheeled mover of a forest machine with a soil. *News of higher educational institutions. Forest magazine*, 2023, no. 5 (395), pp. 126—134. (In Russ.)
135. Grigorev I. V., Zhukova A. I., Grigoreva O. I., Ivanov A. V. *Environmental technologies for the development of logging sites in the conditions of the North-Western region of the Russian Federation*. Saint Petersburg, LTA Publishing House, 2008. 176 p. (In Russ.)
136. Grigorev I. V., Rudov S. E. Features of operation of wheeled forest machines in difficult soil-soil and relief conditions. *Forest Engineering. materials of the scientific and practical conference with international participation*. Yakutsk, 2018, pp. 67—71. (In Russ.)
137. Rudov S. E., Shapiro V. Ya., Grigorev I. V., Kunitskaya O. A., Grigoreva O. I. Predictive model of the impact of the skidding system on forest soil in difficult seasonal and climatic conditions. *News of higher educational institutions. Forest magazine*, 2020, no. 5 (377), pp. 131—144. (In Russ.)
138. 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. *News of higher educational institutions. Forest magazine*, 2020, no. 2 (374), pp. 101—117. (In Russ.)
139. Karasev Yu. A., Markov V. A., Dmitriev A. S., Dolzhikov I. S., Yudilevich A. M. Prospects for further research on improving tracked forest machines. *Resources and Technology*, 2023, vol. 20, no. 1, pp. 42—86. (In Russ.)
140. Medentsev A. Yu., Kuznetsov I. S. Review of the design and manufacturing technology of a rubber-reinforced caterpillar. *Agrotechnics and energy supply*, 2020, no. 4 (29), pp. 49—55. (In Russ.)

141. Chemshikova Yu. M. Tracked all-terrain vehicles for forestry. *Materials of the Fifth All-Russian National scientific and practical conference with international participation «Improving the efficiency of the forest complex»*. Petrozavodsk, 2019, pp. 116—118. (In Russ.)
142. Grigorev I. V. *Reducing the negative impact on the soil of wheeled skidding tractors by substantiating their movement modes and technological equipment*. Saint Petersburg, LTA Publishing House, 2006. 236 p. (In Russ.)
143. Dmitrieva M. N., Grigorev I. V., Rudov S. E. Analysis of studies of the interaction of the wheeled propulsion of forest machines with a weakly bearing soil. *Resources and Technology*, 2019, vol. 16, no. 1, pp. 10—39. (In Russ.)
144. Yudilevich A. M., Novgorodov D. V., Ivanov V. A., Kunitskaya O. A., Revyako S. I., Druzyanova V. P. A study of the effectiveness of collapsible road structures to reduce the negative impact of forest machinery movers on soils. *System. Methods. Technologies*, 2024, no. 2 (62), pp. 119—128. (In Russ.)
145. Kalyashov V. A., Grigorev I. V., Ivanov V. A., Yudilevich A. M., Burmistrova O. N., Okhlopko M. K., Grigoreva O. I. Features of forest soils of the cryolithozone as an object of influence of propellers of forest machines. *System. Methods. Technologies*, 2023, no. 4 (60), pp. 94—101. (In Russ.)
146. Dmitriev A. S., Dolzhikov I. S., Kunitskaya O. A., Grigoreva O. I. Ecological safety of forest machines on a half-track. *Safety and labor protection in logging and woodworking industries*, 2023, no. 5, pp. 44—51. (In Russ.)
147. Nikolaeva F. V., Grinko O. I., Yudilevich A. M., Davtyan A. B. Promising areas of research for the restoration of woody and shrubby vegetation on damaged soils. *Improving the efficiency of the forest complex: Materials of the Ninth All-Russian National Scientific and Practical Conference with international participation*. Petrozavodsk, 2023, pp. 122—123. (In Russ.)
148. Hertz E., Guriev A., Druzyanova V., Revyako S., Markov O., Perfiliev P., Grigorev I. Impact assessment of different propulsion systems in forestry machinery on soil properties. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 2024, vol. 11, no. 1, pp. 133—140.
149. Grigorev I., Burgonutdinov A., Makuev V., Tikhonov E., Shvetsova V., Timokhova O., Revyako S., Dmitrieva N. The theoretical modeling of the dynamic compaction process of forest soil. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 2022, vol. 19, no. 3, pp. 2935—2949.
150. Khakhina A. M., Grigorev I. V., Dolmatov N. P., Makuev V. A., Kruchinin I. N., Starodubtseva T. N., Burgonutdinov A. M., Markov O. B. Predicting the passability of wheeled tractors. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 2022, vol. 9, no. 5, pp. 1233—1242.
151. Valyazhonkov V. D., Nikiforova A. I., Andronov A. V., Khakhina A. M., Kiselyov D. S. Advantages and disadvantages of increasing the working speeds of forest machines. *Problem-oriented studies of the processes of innovative development of the region: Materials of the All-Russian scientific and practical conference*. Petrozavodsk, 2013, pp. 23—24. (In Russ.)
152. Nikiforova A. I., Telezhnyj A. E., Nguyen F. Z. Analysis of prospects for increasing the operational speeds of forest machines. *Improving the efficiency of the forest complex: Materials of the Second All-Russian Scientific and Practical conference with international participation dedicated to the 65th anniversary of higher forest education in the Republic of Karelia*. Petrozavodsk, 2016, pp. 202—205. (In Russ.)
153. Grigorev I. V., Zorin M. V., Rudov M. E. Modern ways of strengthening temporary logging roads and skidding lines. *Land management, land management, cadastre, geodesy and cartography. Problems and prospects of development: Collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation dedicated to the 255th anniversary of Land Management in Yakutia and the Year of Science and Technology*. Yakutsk, 2021, pp. 278—285. (In Russ.)

154. Manukovsky A. Yu., Zorin M. V. Ways to increase the patency of machines on skidding portages and temporary logging roads. *Improving the efficiency of the forest complex: Materials of the Seventh All-Russian National Scientific and Practical Conference with international participation*. Petrozavodsk, 2021, pp. 123—125. (In Russ.)
155. Dolzhikov I. S., Zorin M. V., Rudov S. E. Minimization of the impact of technology on soils in especially protective areas. *Improving the efficiency of the forest complex: Materials of the Ninth All-Russian National Scientific and Practical Conference with international participation*. Petrozavodsk, 2023, pp. 73—74. (In Russ.)
156. Kalyashov V. A., Shapiro V. Ya., Grigorev I. V., Kunitskaya O. A., Dmitriev A. S., Grigoreva O. I. Geotechnical substantiation of the operability of skidding lines and technological corridors on the slopes of thawing soils during the operation of forest machines with wheeled and semi-tracked propulsion. *Resources and Technology*, 2023, vol. 20, no. 3, pp. 15—31. (In Russ.)
157. Rudov S. E., Grigoreva O. I., Grigorev I. V. Effective restoration of forests on permafrost. *Forest engineering, materials science and design: Materials of the 86th Scientific and technical Conference of faculty, researchers and postgraduates (with international participation)*. Minsk, 2022, pp. 38—41. (In Russ.)
158. Kalyashov V. A., Grigoreva O. I., Grigorev I. V. Promising options for forest restoration on slopes. *Bulletin of AGATU*, 2022, no. 1 (5), pp. 86—96. (In Russ.)
159. Grigoreva O. I., Grinko O. I., Grigorev I. V., Kalita E. G., Tikhonov E. A. Predictive model of post-fire reforestation in the Irkutsk region. *Forestry Journal*, 2023, vol. 13, no. 1 (49), pp. 85—98. (In Russ.)
160. Grigoreva O. I., Grinko O. I., Guryev A. Yu. Promising technology of reforestation after large and catastrophic forest fires. *Improving the efficiency of the forest complex: Materials of the Eighth All-Russian National Scientific and Practical Conference with international participation*. Petrozavodsk, 2022, pp. 52—54. (In Russ.)
161. Grigoreva O. I. Features of natural reforestation in the conditions of the cryolithozone. *Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*, 2018, vol. 6, no. 4 (40), pp. 25—29. (In Russ.)
162. Grigorev I. V., Grigoreva O. I. Mini-tractors and riders in the garden and park economy. *Transport and transport-technological systems: Materials of the International Scientific and Technical Conference*. Editor N. S. Zakharov. Tyumen, 2020, pp. 122—125. (In Russ.)
163. Kalyashov V. A., Mikhailova L. M., Grigorev I. V. The use of mini-tractors for logging in conditions of mountains and hills. *Improving the efficiency of the forest complex: Materials of the Ninth All-Russian National Scientific and Practical Conference with international participation*. Petrozavodsk, 2023, pp. 89—90. (In Russ.)
164. Grigorev I. V., Kunitskaya O. A., Lanskiikh Yu. V., Sandakov S. Yu., Prosuzhikh A. A., Rudov S. E. Modernization of the tire pressure monitoring system for forest and agricultural machinery. *Repair. Recovery. Modernization*, 2021, no. 2, pp. 21—30. (In Russ.)
165. Drapalyuk M. V., Khitrov E. G., Kunitskaya O. A., Grigorev I. V., Popikov P. I., Manukovsky A. Yu. *Theory and methods of the impact of technology and technology on the forest environment in the process of reforestation and harvesting of wood raw materials*. Voronezh, Publishing house of the Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozov, 2022. 210 p. (In Russ.)
166. Grigorev I. V., Afonichev D. N., Kunitskaya O. A., Prosuzhikh A. A., Rudov S. E. Additional technical options for improving the safety, reliability and energy efficiency of agricultural machines. *Bulletin of the Voronezh State Agrarian University*, 2020, vol. 13, no. 4 (67), pp. 44—54. (In Russ.)

167. Mikhailova L. M., Kunitskaya O. A., Motovilov A. I. Prospects of machine systems based on small-scale mechanization for low-volume logging and forestry work. *Strategy and prospects for the development of agrotechnologies and the forest complex of Yakutia until 2050: Collection of scientific articles based on the materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation dedicated to the 100th anniversary of the formation of the Yakut ASSR and the 85th anniversary of the First President of the RS (Ya) M. E. Nikolaev (Nikolaev Readings)*. Yakutsk, 2022, pp. 735—742. (In Russ.)
168. Zorin M. V., Dolzhikov I. S., Yudilevich A. M., Krivosheev A. A., Kunitskaya O. A., Mikhailova L. M. The results of experimental studies of the effect of the propulsion of a forest machine on a reinforced composite base. *Resources and Technology*, 2024, vol. 24, no. 1, pp. 1—25. (In Russ.)
169. Zorin M. V., Kunitskaya O. A. Types of modern plastic plates for the construction of temporary forest roads and technological corridors. *Wooden house building 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. (In Russ.)

© Дьяченко В. М., Должиков И. С., Куницкая О. А., Марков В. А.,
Макуев В. А., Охлопкова М. К., 2025