

**В.А. Каляшов, В.Я. Шапиро, И.В. Григорьев, О.А. Куницкая,
О.И. Григорьева**

**ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ОТТАИВАЮЩИХ ПОЧВОГРУНТОВ
ПОД НАГРУЗКОЙ ОТ ЛЕСНОЙ МАШИНЫ
И ТРЕЛЕВОЧНОЙ СИСТЕМЫ НА СКЛОНАХ**

Введение. Специалистам лесозаготовительного производства и лесного дела хорошо известна фраза, что не существует двух одинаковых участков леса. Более того, одна и та же лесосека сильно отличается по технологическим свойствам, прежде всего, несущей способности почвогрунтов, в разные времена года [Герасимова, 2021; Медведев, Мохирев, 2022; Мохирев и др., 2022].

В Российской Федерации в настоящее время, в большинстве случаев, лесосеки разрабатываются комплексами машин по скандинавской или канадской технологии. Данные комплексы отличаются большой производительностью. При этом максимально допустимые площади лесосек, согласно действующим Правилам заготовки древесины и особенностям заготовки древесины в лесничествах, указанным в статье 23 Лесного кодекса Российской Федерации, утвержденным Приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации № 993, от 01.12.2020 г. составляют 50 га, а в ряде случаев и значительно меньше [Медведев, Мохирев, 2020; Мохирев, 2021; Рукомойников и др., 2021; Мохирев и др., 2020].

Малые площади лесосек и большие производительности машинных лесозаготовительных комплексов дают достаточно малый срок проведения основных лесосечных работ, что, в свою очередь, позволяет принимать более оптимальные организационно-технологические решения, направленные на повышение эффективности освоения каждой конкретной лесосеки [Рукомойников и др., 2020].

Данные организационно-технологические решения закрепляются в технологической карте на разработку лесосеки, которая является обязательным документом, составляемым во время проведения технологической подготовки.

В подавляющем большинстве случаев у технолога нет возможности выбрать оптимальную систему машин для освоения каждой конкретной

лесосеки; работают с теми машинами, что есть на конкретном предприятии, и их модельный ряд весьма ограничен. Единственная возможность оптимизировать работу имеющихся машинных комплексов на конкретной лесосеке – это составить оптимальную схему ее транспортного освоения, т. е. схему размещения трелевочных волоков и технологических коридоров, с учетом технических особенностей машин (вес, давление движителя, вылет манипулятора, грузоподъемность и т. д.) и технологических особенностей лесосеки: категории почвенно-грунтовых и рельефных условий, наличия и глубины снежного покрова, наличия и особенностей размещения неэксплуатационных площадей и т. д. [Комаров и др., 2019].

Под технологическими свойствами почвогрунтов понимают такие их свойства, которые отражают закономерности реализации определенных технологических процессов.

В частности, это может быть технологическое свойство устойчивости почвогрунта на откосах или склонах; оценкой является безразмерный параметр, равный отношению коэффициентов внутреннего трения или величин сцепления при фактическом состоянии почвогрунта к их значениям в предельном состоянии.

К технологическим свойствам пород и грунтов относится свойство их взрываемости как способности сопротивляться разрушающему действию взрыва; оценивается эта характеристика удельным расходом взрывчатых веществ (кг/м^3).

Прочностные свойства почвогрунта тоже относятся к технологическим свойствам.

Цель настоящей статьи – оценить технологические свойства оттаивающих почвогрунтов под нагрузкой от лесных машин и трелевочных систем на склонах.

Методы исследования. Используются справочные данные о физико-механических свойствах мерзлых и оттаивающих почвогрунтов. Расчёты выполнены на основе механики разрушений. Используются методы аппроксимации численных данных.

Постановка задачи и основные результаты исследования. Из различных характеристик прочности грунтов выделим такое свойство как несущая способность P_s (кПа), которая нашла основное применение при оценке прочности фундаментов сооружений на заданную глубину (см. СП 22.13330.2011), т. е. при значительных масштабных пространственных и временных параметрах взаимодействия статической нагрузки и среды.

Величина P_s использована и при изучении процессов статической нагрузки на почвогрунт различных лесных машин [Агейкин, 1972; Хитров, 2014], однако незначительные размеры опорной поверхности контакта (для колесной шины не более 0,6–0,7 м²) и кратковременный характер взаимодействия ограничивают практическое применение параметра P_s .

Наряду с этим необходимо учитывать вероятностный характер при определении показателя несущей способности оттаивающего почвогрунта в силу неполной информации о факторах, влияющих на ее уровень [Рудов и др., 2019].

Применительно к процессу взаимодействия лесной машины или трелевочной системы на ее базе, с краевой частью массива почвогрунта наиболее информативным показателем представляется прочность на одноосное сжатие R_c (МПа или кПа), поскольку величина R_c с одной стороны отражает способность почвогрунта сопротивляться вертикальным сжимающим нагрузкам, а с другой определение этого параметра происходит при неограниченном боковом расширении вплоть до момента предельного сопротивления сдвигу (см. ГОСТ 12248.2-2020). Для условий взаимодействия нагрузки и почвогрунта на склонах учет механизма сдвига представляется существенным фактором.

Испытание на одноосное сжатие в образцах различного масштаба позволяет максимально приблизить параметр R_c к объективной оценке технологической прочности почвогрунта при вертикальной статической нагрузке шины лесной машины или трелевочной системы.

Уместно заметить, что параметр R_c является информативной характеристикой прочности при одноосном сжатии и развитии деформаций сдвига не только при разрушении почвогрунтов, но и при контактном разрушении других сплошных сред [Шапиро и др., 2011].

Из анализа огибающей кругов Мора [Булычев, 1989] для определения величины R_c получено соотношение:

$$R_c = \frac{2C \cos \varphi}{1 - \sin \varphi}, \quad (1)$$

где C – величина сцепления грунта (кПа) – и φ – угол внутреннего трения (°) – информативные характеристики паспорта прочности почвогрунта.

Следует отметить, что использование величины R_c как функции двух параметров C и φ для оценки прочности оттаивающего почвогрунта на склонах вблизи с водонепроницаемой границей вечной мерзлоты приобретает особое значение на основе данных о влиянии состояния влажности (W , %) почвогрунта на показатели его прочности [Калабина, Царапов, 2017].

Установлено, что на верхних участках склона имеет место минимальная влажность W почвогрунта, которая после дренажа и оттока влаги стремится к нижнему пределу пластичности или величине на границе раскатывания (W_p). В тоже время максимальная влажность почвогрунта формируется на нижних участках склона, и величина W стремится к верхнему пределу пластичности или величине на границе текучести (W_T).

Введем показатель относительной влажности грунта в виде:

$$K_W = w/w_T. \quad (2)$$

Обработка опытных данных для оттаивающего суглинка с показателем $W_T = 40\%$ в диапазоне изменения K_W от 0,5 до 0,9 позволила получить (рис. 1) графические зависимости C (линия 1) и ϕ (линия 2) от K_W (ось абсцисс).

Как видно из данных рис. 1, при достижении показателя влажности W области значений $0,75 W_T$ характеристики прочности снижаются кратно, что, в силу соотношения (1), отразится на величине R_c .

Этот вывод иллюстрируется рис. 2, где представлена зависимость R_c , кПа от безразмерного параметра K_W .

Спрямление гиперболической кривой $R_c(K_W)$ с помощью логарифмирования позволило выявить диапазон значений $K_W = 0,70-0,75$ сопряжения ниспадающей и асимптотической ветвей гиперболы. Из этого следует, что существует предел насыщения почвогрунта влагой, после которого его прочность снижается несущественно.

Пусть склон протяженностью $L_c = 50$ м с углом наклона α к линии горизонта содержит участок оттаявшего почвогрунта высотой H_T и участок оттаивающего почвогрунта высотой H_{OT} . В основании склона присутствует слой воды высотой H_B , граничащий со слоем мерзлого почвогрунта. Взаимодействие лесной машины или трелевочной системы на ее базе с почвогрунтом происходит на удалении L от основания склона (величина $K_L = L/L_c$, % характеризует относительное удаление лесной машины или трелевочной системы на ее базе). Тогда безразмерный параметр K_W связан с параметрами склона соотношением [Каляшов и др., 2021]:

$$K_W = 0,9 - 0,4 \frac{L \sin \alpha}{H_{OT}}. \quad (3)$$

Установим зависимость критерия прочности грунта R_c от параметров склона. На рис. 3 при значениях $\alpha = 15^\circ$ и $H_{OT} = 10$ м отражено влияние относительного удаления лесной машины или трелевочной системой на ее базе K_L , %, на величину R_c , кПа.

Экспоненциальный (кратный) рост прочности почвогрунта по мере удаления лесной машины или трелевочной системы на ее базе к срединной части склона свидетельствует о том, что технологические схемы размеще-

ния трелевочных волоков и технологических коридоров на склоне должны быть дифференцированы с учетом этого фактора.

Обработка данных рис. 3 в логарифмических координатах позволила установить, что при преодолении показателем K_L значения 20% наблюдается резкое возрастание R_c , т. е. наиболее трудные условия работы имеют место в 20-процентной ближней зоне, где величина $R_c < 30$ кПа.

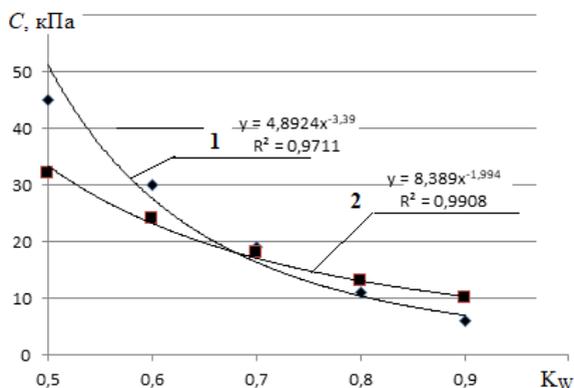


Рис. 1. Зависимость величины сцепления и угла внутреннего трения от относительной влажности почвогрунта

Fig. 1. Dependence of the amount of adhesion and the angle of internal friction on the relative humidity of the soil

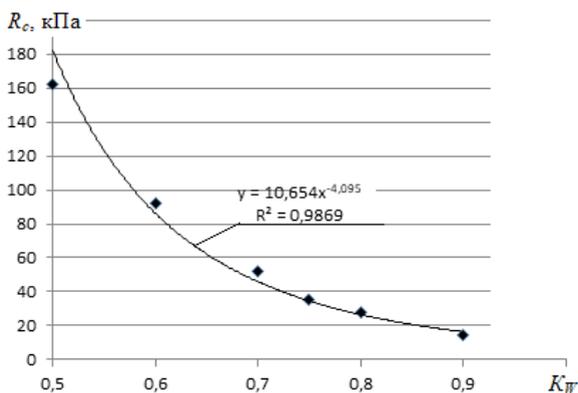


Рис. 2. Зависимость прочности на одноосное сжатие от относительной влажности почвогрунта

Fig. 2. Dependence of uniaxial compression strength on the relative humidity of the soil

В табл. 1 представлены некоторые колесные лесные машины (трелевочные системы на их базе) с указанием давления их шин на почвогрунт. Сравнение данных табл. 1 с данными рис. 3 показывает их соответствие друг другу в основном диапазоне изменений значений давлений и прочности на одноосное сжатие от 20 до 90 кПа. Этот вывод свидетельствует о высокой вероятности существования предельного состояния процесса взаимодействия лесной машины, или трелевочной системы на ее базе с массивом почвогрунта на склоне, что требует детального подхода к определению параметров машинной валки деревьев и трелевки.

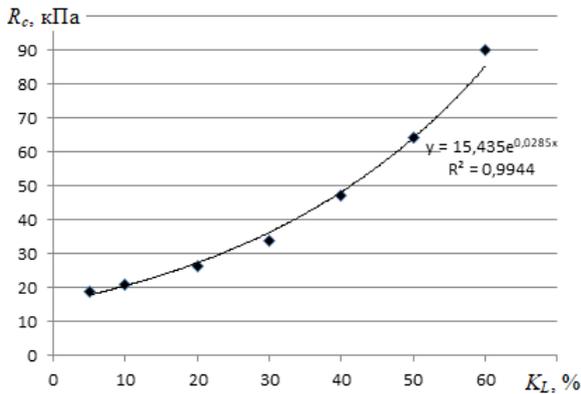


Рис. 3. Влияние удаления лесной машины или трелевочной системы на ее базе от основания склона на величину предела на одноосное сжатие почвогрунта

Fig. 3. The effect of the removal of a forest machine or a skidding system based on it from the base of the slope on the value of the limit on uniaxial compression of the soil

На рис. 4 представлен график зависимости R_c , кПа, от угла α , ° при фиксированных значениях $H_{OT} = 10$ м и $K_L = 20\%$.

Спрямление полученной экспоненциальной зависимости показало отсутствие зон по признаку различного характера связи данных параметров, т. е. увеличение угла наклона поверхности склона оказывает равнозначное влияние на рост его прочности.

Зафиксируем K_L на уровне 20% (граница зоны резкого роста прочности почвогрунта). При $\alpha = \text{const} = 15^\circ$ исследуем (рис. 5) влияние мощности слоя оттаивающего почвогрунта H_{OT} , м, на величину R_c , кПа.

Таблица 1

**Колесные лесные машины (трелевочные системы на их базе)
и величина давления их шин σ_0 на почвогрунт**

**Wheeled forestry machines (skidding systems based on them)
and the pressure value of their tires σ_0 on the soil**

Колесная лесная машина (трелевочная система на ее базе)	Вес Q , т	σ_0 , кПа	
		штамп 1/ число колесных пар	штамп 2/ число колесных пар
I.4-колесная	15	68 / 1	84 / 1
II. 6-колесная	16	72 / 1	40+40; 27 / 3
III.8-колесная	19	35 / 2	56 / 2
IV.10-колесная	20	35 / 2	37 / 3

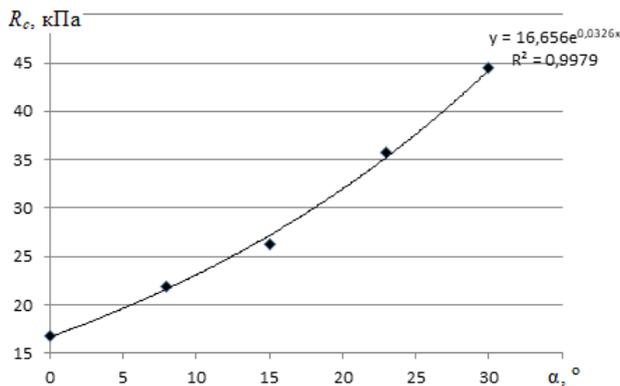


Рис. 4. Влияние угла α на прочность массива оттаивающего почвогрунта

Fig. 4. Influence of angle α on the strength of the thawing soil mass

Установлена граница зоны $H_{OT} = 10$ м, преодоление которой в сторону увеличения мощности слоя оттаивающего почвогрунта приводит к существенному снижению показателя R_c .

Таким образом, выполненный анализ показал, что лесосеки на склонах необходимо классифицировать по двум существенным факторам – по мощности слоя оттаивающего грунта H_{OT} и местоположению лесных машин или трелевочных систем на их базе на склоне L .

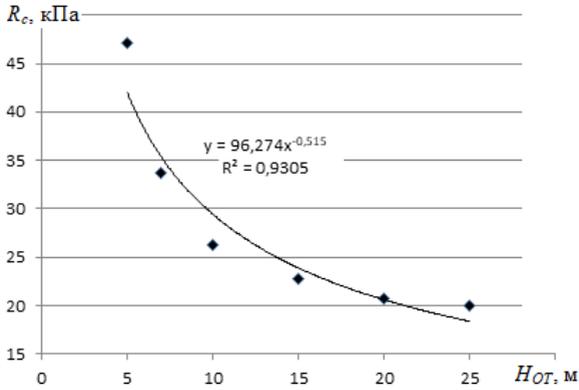


Рис. 5. Снижение прочности на одноосное сжатие по мере роста мощности слоя оттаивающего почвогрунта

Fig. 5. Decrease in uniaxial compression strength as the thickness of the thawing soil layer increases

Совместное влияние выявленных факторов при постоянном угле $\alpha=15^\circ$ на прочность почвогрунта иллюстрируется данными рис. 6.

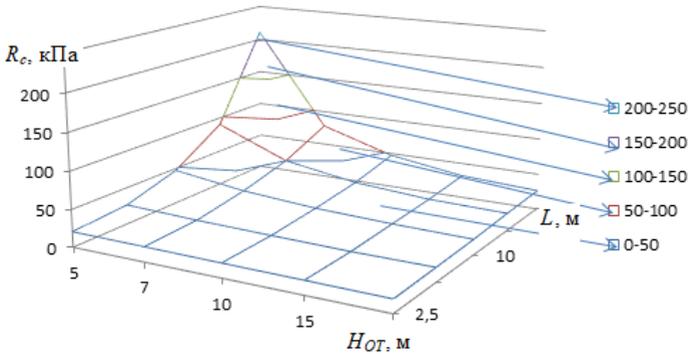


Рис. 6. Совместное влияние параметров H_{OT} и L на величину R_c
 Fig. 6. The joint effect of the parameters H_{OT} and L on the value of R_c

Из рис. 6 можно сделать вывод, что в 84% случаях величина R_c не выходит за пределы 50 кПа, что накладывает определенные ограничения на планирование грузоподъемности веса лесных машин и трелевочных систем на их базе.

При иных углах наклона поверхности склона данные рис. 6 корректируются в соответствии с полученной экспоненциальной зависимостью (рис. 4) в сторону снижения области низких значений величины R_c при углах $\alpha < 15^\circ$ вследствие усиления эффекта отрицательного влияния мощности слоя оттаивающего почвогрунта на его прочность и наоборот – в сторону расширения области высоких значений R_c при углах $\alpha > 15^\circ$ вследствие реализации противоположной тенденции.

Заключение. Эффективный учет выявленных закономерностей возможен на базе сбора и обработки данных геологических, в первую очередь, гидрогеологических исследований физико-механических свойств и состояний почвогрунтов, слагающих краевую часть поверхности склона.

При выполнении таких условий результаты данного исследования позволяют произвести обоснованную оценку одного из совокупности технологических свойств различных участков массивов оттаивающих почвогрунтов – их прочности на одноосное сжатие – под нагрузкой от действия лесной машины или трелевочной системы на ее базе на склонах вблизи с границей зоны вечной мерзлоты.

Сведения о финансировании исследования. Работа выполнена в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» Арктического государственного агротехнологического университета. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-26-00009, <https://rscf.ru/project/22-26-00009/>.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Агейкин Я.С. Вездеходные колесные и комбинированные движители. М.: Машиностроение, 1972. 184 с.

Булычев Н.С. Механика подземных сооружений в примерах и задачах. М.: Недра. 1989. 270 с.

Герасимова М.М., Мохирев А.П., Медведев С.О., Красильников М.М. Разработка программного обеспечения для оптимизации технологического процесса лесозаготовительного предприятия // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения; сб. матер по итогам Всерос. науч.-практич. конференции / под общ. ред. Ю.Ю. Логинова. Красноярск, 2021. С. 133–135.

Калабина М.В., Царанов М.Н. Прочностные свойства оттаивающих грунтов // Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки: матер. Всерос. конференции с междунар. участием. 2017. С. 542–546.

Каляшов В.А., Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Куницкая О.А., Григорьева О.И., Стародубцева Т.Н. Исследование процесса образования колеи и ее устойчивость при работе лесных машин и трелевочных систем на склонах массива оттаивающего грунта // Лесотехнический журнал. 2021. Т.11. № 2 (42). С. 121–132.

Комаров К.А., Фомина В.Ю., Герасимова М.М., Мохирев А.П. Оптимизация маршрутов доставки древесины на основе нечеткой динамической транспортной сети // Инновации в химико-лесном комплексе: тенденции и перспективы развития: матер. Всерос. науч.-практич. конференции с междунар. участием / отв. ред. Ю.А. Безруких, Е.В. Мельникова. 2019. С. 205–210.

Медведев С.О., Мохирев А.П. Отдельные аспекты развития транспортной инфраструктуры в лесной отрасли // Актуальные вопросы строительства: взгляд в будущее: сб. науч. статей по матер. Всерос. науч.-практич. конференции, посвящ. 40-летию создания Инженерно-строительного института. Красноярск, 2022. С. 46–49.

Медведев С.О., Мохирев А.П., Сергеева Е.А. Зависимости объема вывозки древесины с лесной территории от природно-климатических условий // Успехи современного естествознания. 2020. № 6. С. 27–32.

Мохирев А.П. Обоснование мероприятий, повышающих доступность древесных ресурсов // Лесозэксплуатация и комплексное использование древесины: сб. статей Всерос. науч.-практич. конференции. Красноярск, 2021. С. 173–179.

Мохирев А.П., Герасимова М.М., Савков М.В., Симахин Д.О. Использование инструментов географической информационной системы в планировании лесозаготовительного производства // Цифровые технологии в лесном секторе: матер. Всерос. науч.-технич. конференции, 2020. С. 105–107.

Мохирев А.П., Горяева Е.В., Исламова М.Т. Прогнозирование периода эксплуатации сезонных автомобильных дорог зимнего действия // Актуальные вопросы строительства: взгляд в будущее: сб. науч. статей по матер. Всерос. науч.-практич. конференции, посвящ. 40-летию создания Инженерно-строительного института. Красноярск, 2022. С. 50–54.

Рудов С.Е., Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Куницкая О.А., Григорьева О.И. Оценка несущей способности мерзлого и оттаявшего грунта при неполной информации о состоянии его взаимодействия с трелевочной системой // Системы. Методы. Технологии. 2019. № 2 (42). С. 80–86.

Рукомойников К.П., Анисимов С.Е., Мохирев А.П., Медведев С.О. Сетевое планирование как инструмент освоения лесных участков // Наука без границ. 2021. № 1 (53). С. 25–29.

Рукомойников К.П., Мохирев А.П., Медведев С.О., Дербенева Е.Ю. Отдельные особенности имитационного моделирования технологического процесса вывозки древесины // Наука и бизнес: пути развития. 2020. № 10 (112).

Хитров Е.Г., Божбов В.Е., Ильюшенко Д.А. Расчет несущей способности лесных почвогрунтов под воздействием колесных движителей // Системы. Методы. Технологии. 2014. № 4 (24). С. 122–126.

Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Гулько А.Е. Анализ методов расчета параметров и обоснование математической модели разрушения коры при групповой окорке древесины // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2011. № 8 (121). С. 92–96.

References

Ageikin Ya.S. All-terrain wheeled and combined propellers. M.: Mashinostroyeniye, 1972. 184 p. (In Russ.)

Bulychev N.S. Mechanics of underground structures in examples and tasks. M.: Nedra. 1989. 270 p. (In Russ.)

Gerasimova M.M., Mokhirev A.P., Medvedev S.O., Krasilnikov M.M. Development of software for optimizing the technological process of a logging enterprise. *Forest and chemical complexes – problems and solutions: collection of materials on the results of the All-Russian scientific and practical conference. under the general editorship of Yu.Yu. Loginov.* Krasnoyarsk, 2021, pp. 133–135. (In Russ.)

Kalabina M.V., Tsarapov M.N. Strength properties of thawing soils. *Current state, problems and prospects for the development of branch science: materials of the All-Russian conference with international participation*, 2017, pp. 542–546. (In Russ.)

Kalyashov V.A., Shapiro V.Ya., Grigorev I.V., Kunitskaya O.A., Grigoreva O.I., Starodubtseva T.N. Investigation of the process of rut formation and its stability during the operation of forest machines and skidding systems on the slopes of a massif of thawing soil. *Forestry*, 2021, vol. 11, no. 2 (42), pp. 121–132. (In Russ.)

Khitrov E.G., Bozhbov V.E., Ilyushenko D.A. Calculation of the bearing capacity of forest soils under the influence of wheel propellers. *Systems. Methods. Technologies*, 2014, no. 4 (24), pp. 122–126. (In Russ.)

Komarov K.A., Fomina V.Yu., Gerasimova M.M., Mokhirev A.P. Optimization of timber delivery routes based on a fuzzy dynamic transport network. *Innovations in the chemical-forest complex: trends and development prospects: materials of the All-Russian scientific-practical conference with international participation.* Managing editors Yu.A. Bezrukikh, E.V. Melnikov, 2019, pp. 205–210. (In Russ.)

Medvedev S.O., Mokhirev A.P. Some aspects of the development of transport infrastructure in the forest industry. *Actual issues of construction: a look into the future: collection of scientific articles based on the materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference dedicated to the 40th anniversary of the Civil Engineering Institute.* Krasnoyarsk, 2022, pp. 46–49. (In Russ.)

Medvedev S.O., Mokhirev A.P., Sergeeva E.A. Dependences of the volume of timber removal from the forest area on natural and climatic conditions. *Successes of modern natural science*, 2020, no. 6, pp. 27–32. (In Russ.)

Mokhirev A.P. Justification of measures that increase the availability of wood resources. *Forest exploitation and integrated use of wood*: collection of articles of the All-Russian Scientific and Practical Conference. Krasnoyarsk, 2021, pp. 173–179. (In Russ.)

Mokhirev A.P., Gerasimova M.M., Savkov M.V., Simakhin D.O. Using geographic information system tools in logging production planning. *Digital technologies in the forest sector*: materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference, 2020, pp. 105–107. (In Russ.)

Mokhirev A.P., Goryaeva E.V., Islamova M.T. Forecasting the period of operation of seasonal winter roads. *Actual issues of construction: a look into the future*: collection of scientific articles based on the materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference dedicated to the 40th anniversary of the Civil Engineering Institute. Krasnoyarsk, 2022, pp. 50–54. (In Russ.)

Rudov S.E., Shapiro V.Ya., Grigorev I.V., Kunitskaya O.A., Grigoreva O.I. Evaluation of the bearing capacity of frozen and thawed soil with incomplete information about the state of its interaction with the skidding system. *Systems. Methods. Technologies*, 2019, no. 2 (42), pp. 80–86. (In Russ.)

Rukomoinikov K.P., Anisimov S.E., Mokhirev A.P., Medvedev S.O. Network planning as a tool for the development of forest areas. *Science without borders*, 2021, no. 1 (53), pp. 25–29. (In Russ.)

Rukomoinikov K.P., Mokhirev A.P., Medvedev S.O., Derbeneva E.Yu. Separate features of simulation modeling of the technological process of timber removal. *Science and business: ways of development*, 2020, no. 10 (112). (In Russ.)

Shapiro V.Ya., Grigorev I.V., Gulko A.E. Analysis of methods for calculating parameters and substantiation of a mathematical model of bark destruction during group debarking of wood. *Scientific notes of Petrozavodsk State University*, 2011, no. 8 (121), pp. 92–96. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 28.09.2023

Каляшов В.А., Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Кунцкая О.А., Григорьева О.И. Оценка технологических свойств оттаивающих почвогрунтов под нагрузкой от лесной машины и трелевочной системы на склонах // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 249. С. 256–270. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.249.256-270

В Российской Федерации значительная часть территории лесного фонда расположена на вечной мерзлоте. К таким территориям относятся: Республика Саха (Якутия), Республика Коми, Магаданская область, Ямало-Ненецкий автономный округ, Чукотский автономный округ, Мурманская область, значительные территории Сибири и Дальнего Востока. Многие перечисленные регионы обладают большими запасами спелых и перестойных эксплуатационных лесов, причем значительная часть этих запасов расположена

в труднодоступных местах, не только по отношению к развитости дорожной сети, но и по рельефу местности. В настоящее время подавляющий объем заготовок древесины в России производится при помощи современных машинных комплексов, в основном, на базе колесных лесных машин. В статье представлена оценка технологических свойств оттаивающих почвогрунтов под нагрузкой от движителя лесной машины, позволяющая произвести обоснованную оценку одного из совокупности технологических свойств различных участков массивов оттаивающих почвогрунтов – их прочности на одноосное сжатие – под нагрузкой от действия лесной машины или трелевочной системы на ее базе на склонах вблизи с границей зоны вечной мерзлоты. Эффективный учет выявленных закономерностей возможен на базе сбора и обработки данных геологических, в первую очередь, гидрогеологических исследований физико-механических свойств и состояний почвогрунтов, слагающих краевую часть поверхности склона. Работа выполнена в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» Арктического государственного агротехнологического университета. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-26-00009, <https://rscf.ru/project/22-26-00009/>.

Ключевые слова: леса на склонах, лесозаготовка, лесные машины, трелевочные системы, уплотнение почвогрунта, деформация почвогрунта.

Kalyashov V.A., Shapiro V.Ya., Grigorev I.V., Kunitskaya O.A., Grigoreva O.I. Assessment of technological properties of thawing soils under load from a forest machine and a skidding system on slopes. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2024, iss. 249, pp. 256–270 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2024.249.256-270

In the Russian Federation, a significant part of the territory of the forest fund is located on permafrost. Such territories include: the Republic of Sakha (Yakutia), the Komi Republic, the Magadan Region, the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug, the Chukotka Autonomous Okrug, the Murmansk Region, significant territories of Siberia and the Far East. Many of the listed regions have large reserves of ripe and over-mature operational forests, and a significant part of these reserves are located in hard-to-reach places, not only in relation to the development of the road network, but also in terms of the terrain of the local area. Currently, the overwhelming volume of wood harvesting in Russia is produced with the help of modern machine complexes, mainly on the basis of wheeled forest machines. The article presents an assessment of the technological properties of thawing soils under load from the propulsion of a forest machine, which allows a reasonable assessment of one of the aggregate technological properties of various sections of thawing soil arrays – their uniaxial compression strength – under load from the action of a forest machine or a skidding system based on it on slopes near the boundary of the permafrost zone- lots. Effective accounting of

the revealed patterns is possible on the basis of the collection and processing of geological data, primarily hydrogeological studies of the physical and mechanical properties and conditions of soils composing the marginal part of the slope surface. The work was performed within the framework of the scientific school «Innovative developments in the field of logging industry and forestry» of the Arctic State Agrotechnological and Logistic University. The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 22-26-00009, <https://rscf.ru/project/22-26-00009/>.

Key words: forests on slopes, logging, forestry machines, skidding systems, soil compaction, soil deformation.

КАЛЯШОВ Виталий Анатольевич – доцент кафедры начертательной геометрии и инженерной графики Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, кандидат технических наук.

190005, 2я Красноармейская ул., д. 4, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: vit832@yandex.ru

KALYASHOV Vitaly A. – PhD (Technical), Associate Professor of Descriptive Geometry and Engineering Graphics of the St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering.

190005, 2nd Krasnoarmeyskaya str. 4, St. Petersburg, Russia. E-mail: vit832@yandex.ru

ШАПИРО Владимир Яковлевич – профессор кафедры высшей математики Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университете имени С.М. Кирова, доктор технических наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: shapiro54vlad@mail.ru

SHAPIRO Vladimir Ya. – DSc (Technical), Professor of the Department of Higher Mathematics of the St.Petersburg State Forestry University.

194021, Institutskiy per. 5, St. Petersburg, Russia. E-mail: shapiro54vlad@mail.ru

ГРИГОРЬЕВ Игорь Владиславович – профессор кафедры «Технология и оборудование лесного комплекса» Арктического государственного агротехнологического университета, доктор технических наук.

677007, Сергеляхское ш., 3 км, д. 3, г. Якутск, Россия. E-mail: silver73@inbox.ru

GRIGORIEV Igor V. – DSc (Technical), Professor of the Department of Technology and Equipment of the Forest Complex of the Arctic State Agrotechnological University.

677007, Sergelyakhskoe sh. 3 km. 3, Yakutsk, Russia. E-mail: silver73@inbox.ru

КУНИЦКАЯ Ольга Анатольевна – профессор кафедры «Технология и оборудование лесного комплекса» Арктического государственного агротехнологического университета, доктор технических наук.

677007, Сергеляхское ш., 3 км, д. 3, г. Якутск, Россия. E-mail: ola.ola07@mail.ru

KUNITSKAYA Olga A. – DSc (Technical), Professor of the Department of Technology and Equipment of the Forest Complex of the Arctic State Agrotechnological University.

677007. Sergelyakhskoe sh. 3 km. 3. Yakutsk. Russia. E-mail: ola.ola07@mail.ru

ГРИГОРЬЕВА Ольга Ивановна – доцент кафедры лесоводства Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат сельскохозяйственных наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: grigoreva_o@list.ru

GRIGORIEVA Olga I. – PhD (Agriculture), Associate Professor of the Department of Forestry of the St.Petersburg State Forestry University.

194021. Institutsky per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: grigoreva_o@list.ru