

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 630.375

DOI: 10.18324/2077-5415-2023-4-94-101

Особенности лесных почвогрунтов криолитозоны как объекта воздействия движителей лесных машин

В.А. Каляшов^{1a}, И.В. Григорьев^{2b}, В.А. Иванов^{3c}, А.М. Юдилевич^{3d}, О.Н. Бурмистрова^{4e}, М.К. Охлопкова^{5f}, О.И. Григорьева^{6g}

¹ Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ул. 2-я Красноармейская, 4, Санкт-Петербург, Россия

² Арктический государственный агротехнологический университет, Сергеляхское шоссе, 3, Якутск, Республика Саха (Якутия)

³ Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

⁴ Ухтинский государственный технический университет, ул. Первомайская, 13, Ухта, Республика Коми

⁵ Северо-восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Белинского, 58, Якутск, Республика Саха (Якутия)

⁶ Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., 5, Санкт-Петербург, Россия

^a vit832@yandex.ru, ^b silver73@inbox.ru, ^c ivanovva55@mail.ru, ^d kafedra388@mail.ru, ^e oburmistrova19@gmail.com,

^f omk1268@mail.ru, ^g grigoreva_o@list.ru

^a <https://orcid.org/0000-0002-8145-7058>, ^b <https://orcid.org/0000-0002-5574-1725>, ^c <https://orcid.org/0000-0003-0707-972X>,

^d <https://orcid.org/0009-0008-6975-5002>, ^e <https://orcid.org/0000-0003-2616-7557>, ^f <https://orcid.org/0000-0002-6813-7009>,

^g <https://orcid.org/0000-0001-5937-0813>

Статья поступила 30.10.2023, принята 10.11.2023

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. В настоящее время подавляющий объем заготовок древесины в России производится при помощи современных машинных комплексов, включающих тяжелые, энергонасыщенные колесные и гусеничные лесные машины различной компоновки и назначения (харвестеры, форвардеры, валочно-пакетирующие, скиддеры, и т. д.). В замерзшем массиве почвогрунтов криолитозоны в достаточно большом объеме присутствует лед, оказывающий существенное влияние на повышение несущей способности почвогрунта под действием начальной вертикальной нагрузки от движителей лесных машин. При оттаивании массива почвогрунта криолитозоны часто происходит перенасыщение его водой, в связи с чем ослабевают природные связи между твердыми частицами, и физико-механические свойства почвогрунта утрачивают исходные значения. В статье рассмотрены особенности строения лесных почвогрунтов криолитозоны с учетом вертикальной зональности их размещения, а также процессы, возникающие при воздействии на них движителей лесных машин.

Ключевые слова: лесные почвогрунты криолитозоны; лесозаготовка; лесные машины; трелевка; уплотнение почвогрунта; деформация почвогрунта.

Features of forest soils of the cryolithozone as an object of influence of forest machinery movers

V.A. Kalyshov^{1a}, I.V. Grigoriev^{2b}, A.M. Yudilevich^{3c}, O.N. Burmistrova^{4d}, M.K. Okhlopkova^{5e}, O.I. Grigorieva^{6f}

¹ St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; 2nd Krasnoarmeyskaya St., 4, St. Petersburg, Russia

² Arctic State Agrotechnological University; 3 km, Sergelyakhskoye Shosse, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia)

³ Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

⁴ Ukhta State Technical University; 13, Pervomayskaya St., Ukhta, Republic of Komi

⁵ North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov; 58, Belinsky St., Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia)

⁶ St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov; 5, Institutsky Per., St. Petersburg, Russia

^a vit832@yandex.ru, ^b silver73@inbox.ru, ^c ivanovva55@mail.ru, ^d kafedra388@mail.ru, ^e oburmistrova19@gmail.com,

^f omk1268@mail.ru, ^g grigoreva_o@list.ru

^a <https://orcid.org/0000-0002-8145-7058>, ^b <https://orcid.org/0000-0002-5574-1725>, ^c <https://orcid.org/0000-0003-0707-972X>,
^d <https://orcid.org/0009-0008-6975-5002>, ^e <https://orcid.org/0000-0003-2616-7557>, ^f <https://orcid.org/0000-0002-6813-7009>,
^g <https://orcid.org/0000-0001-5937-0813>

Received 30.10.2023, accepted 10.11.2023

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. Currently, the overwhelming volume of wood harvesting in Russia is produced with the help of modern machine complexes, including heavy, energy-saturated wheeled and tracked forestry machines of various layouts and purposes (harvesters, forwarders, felling-packers, skidders, etc.). In the frozen array of cryolithozone soils, ice is present in a sufficiently large volume, which has a significant influence on the increase in the bearing capacity of the soil under the influence of the initial vertical load from the propellers of forest machines. During thawing of the cryolithozone soil mass, it often gets oversaturated with water, and therefore, the natural bonds between solid particles weaken and the physico-mechanical properties of the soil lose their initial values. The article considers the structural features of the forest soils of the cryolithozone, taking into account the vertical zonality of their distribution, as well as the processes that occur when they are affected by the propellers of forest machines. The work was carried out within the framework of the scientific school "Innovative developments in the field of logging industry and forestry" of the Arctic State Agrotechnological 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/>.

Keywords: forest soils cryolithozones; logging; forest machines; skidding; soil compaction; soil deformation.

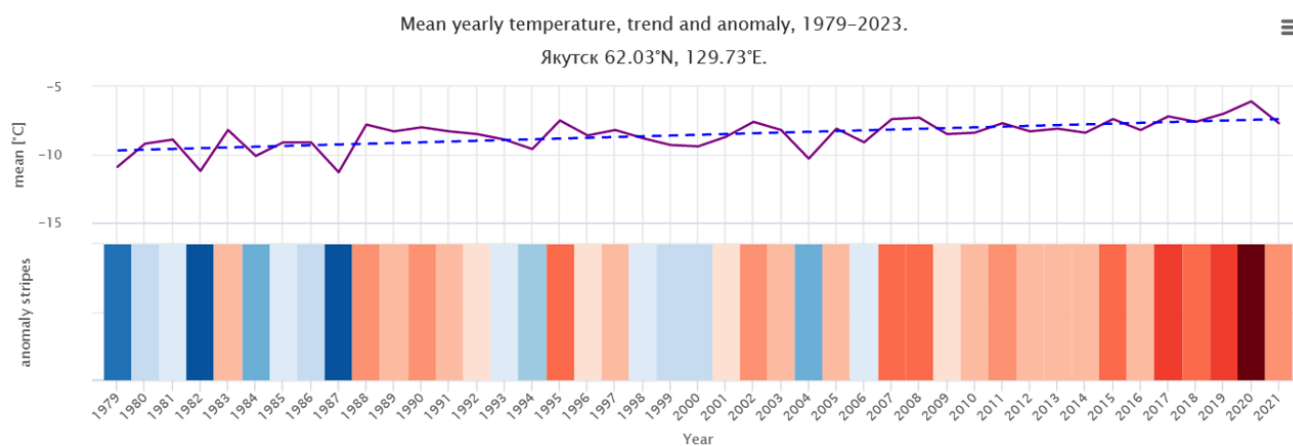


Рис. 1. Изменение средней температуры в Якутске

Введение. Согласно известному определению, лесные почвогрунты являются многослойной системой, включающей несколько органических и один или несколько минеральных слоев, с которыми движители лесных машин взаимодействуют одновременно. Почвенный (органический) слой почвогрунтов в лесу, особенно в лесах криолитозоны, имеет содержание гумуса до 10 %, небольшую толщину, включая неразложившийся опад, представляющий собой верхний слой почвогрунта [1].

Почвы криолитозоны имеют значительные особенности, по сравнению с немерзлотными почвами, по водному и тепловому режимам, по протекающим в них химическим, физическим, и биологическим процессам. В этой связи выделение мерзлотного почвоведения в отдельное направление исследований, в области изучения почв, которое было предложено во второй половине 80-х гг. XX в., явилось совершенно разумным решением [2; 3].

С учетом того, что леса криолитозоны занимают более 50 % территории лесного фонда Российской Федерации, выделение мерзлотного лесоведения в отдельное направление исследований, в области наук о лесе, которое также было предложено во второй половине 80-х гг. XX в., явилось совершенно логичным [4].

Безусловно, лес и его почва являются компонентами одной глобальной экосистемы, которая в условиях вечной мерзлоты, наблюдающегося потепления климата (рис. 1) становится все более чувствительной к негативным внешним воздействиям [5].

Причем эти воздействия могут быть как совершенно естественными для лесов криолитозоны — лесные пожары, болезни и вредители, которые при естественной динамике развития лесных экосистем купируются лесными пожарами, обеспечивающими обновление леса на вечной мерзлоте, так и искусственными — рубки леса [6; 7].

Поскольку лесные пожары оказывают пусть временное, но негативное влияние на общую экологическую обстановку, приносят материальный ущерб и приводят к угрозам негативного воздействия на местное население, лесные пожары в криолитозоне приходится, по возможности, тушить, как и в других природно-производственных условиях [8].

Более или менее эффективное тушение лесных пожаров, особенно в условиях резервных лесов, не затронутых хозяйственной деятельностью человека (прежде всего рубками), приводит к накоплению перестойных, ослабленных насаждений, становящихся очагами вспышек болезней и вредителей [9].

Известно, что переходящий в стадию отмирания и распада перестойный лес уже не выполняет свои функции, как экологического каркаса территории, ни в плане депонирования углерода, ни в плане источника кислорода, ни в плане эффективного противодействия эрозионным процессам [10].

В плане замены естественных процессов обновления лесов криолитозоны и уделения из них отмирающей органики — лесных пожаров, на искусственные — рубки леса, приносящие доход, создающие рабочие места в области лесозаготовок, деревопереработки, и лесного хозяйства, крайне важным аспектом, помимо определения оптимальных режимов

лесопользования, становятся вопросы воздействия движителей лесных машин на почвогрунты лесов криолитозоны [11].

Собственно очевидно, что ведение лесного хозяйства является одним из видов землепользования. Поэтому понимание механизма взаимодействия мерзлотных почв и грунтов с лесными машинами и лесной растительностью во многом является залогом повышения эффективности лесного хозяйства и лесопользования.

Материалы и методы исследования. Использованы литературные источники и справочные данные о строении и физико-механических свойствах мерзлых и оттаивающих почвогрунтов криолитозоны.

Результаты исследования. В Сибири и на Дальнем Востоке Российской Федерации, в субъектах которых вечная мерзлота распространена достаточно широко, часто встречаются не только равнинные леса, но и леса на пересеченной местности, и достаточно часто сильно пересеченной. Ярким примером таких природно-производственных условий может служить Южная Якутия, в которой преобладают горные территории, а различные типы горных почв составляют основной фон почвенного покрова, который располагается в пространстве согласно зонам вертикальной зональности. Закономерности теплообмена и массообмена в периодически оттаивающих мерзлотных почвогрунтах на склонах пока еще недостаточно изучены, особенно с учетом вертикальной зональности. А периодические оттаивания и замерзания слоев мерзлотного почвогрунта, создающие зоны сезонной и многолетней мерзлоты, еще более усложняют физическую картину [12–14].

Помимо вертикальной зональности большую роль в процессах почвообразования и лесовосстановления (лесовыращивания) оказывают также крутизна и экспозиция склонов. К примеру, в рассматриваемых природно-производственных условиях, на пологих склонах северной экспозиции под чистыми лиственничниками, или лиственничниками с примесью березы чаще встречаются дерновые почвы (с развитой скелетностью и легким гранулометрическим составом) и темногомусовые мерзлотные почвы. На крутых склонах, южной экспозиции, часто встречаются маломощные среднесуглинистые почвы [15; 16].

С точки зрения лесорастительных свойств, у склонов южной экспозиции почвы имеют высокую теплообеспеченность, но низкие запасы влаги, что приводит к невысоким общим их лесорастительным свойствам, но лучшей несущей способности. Напротив, у склонов северной экспозиции можно наблюдать высокое содержание влаги и гумуса, что дает значительно лучшие лесорастительные свойства, но меньшую несущую способность.

Иначе говоря, мерзлотные почвы на склонах отличаются очень большой вариативностью физико-механических свойств (гранулометрический состав) и плодородия, в зависимости от крутизны и экспозиции склона, его места в общем рельефе. Кроме этого, слой мерзлоты на склоне достаточно часто может приводить к образованию плоскости скольжения, приводящей к сползанию надмерзлотного слоя почвогрунта вниз по склону (соллюфикации) [17; 18].

При этом уплотняющее воздействие движителей лесных машин в совокупности с увеличением притока тепла после удаления части лесного полога на склоне может усиливать негативный эффект соллюфикации и приводить к оползням (рис. 2).

Причем Южная Якутия характерна более благоприятными лесорастительными условиями, что сделало ее традиционным центром лесозаготовительного производства в Республике [19]. Но объем использования расчетной лесосеки в Якутии остается одним из самых низких в стране, даже в районах с хорошими эксплуатационными запасами крупномерной деловой древесины. При этом даже на небольших вырубках прошлых лет можно зачастую видеть яркие признаки деградации вечно мерзлоты, приводящей, например, к заболачиванию в равнинных лесах (рис. 3) [20]. Т. е., абсолютная нагрузка на лесную экосистему, отнесенная к площади лесного

фонда, представляется весьма незначительной, но при этом, ввиду достаточно экстремальных климатических характеристик, удельная экологическая нагрузка на вырубленный лесной участок и примвыкающие к нему может оказываться чрезмерной, и приводить к деградации — замедлению или полному прекращению лесовосстановительных процессов [21].



Рис. 2. Оползень на склоне в лесу криолитозоны

Отметим, что в целом при вырубке (или выгорании) лесного покрова существенно меняется микроклимат. До 1,5–2-х раз возрастает тепловой поток, что, в свою очередь, увеличивает интенсивность и глубину протаивания сезонно талого слоя, а также к увеличению почвенного испарения. За счет возникающего градиента давления и температуры в междуслойный водообмен начинает поступать влага от оттаивающего слоя многолетней мерзлоты [22].

Несмотря на то, что почвенное испарение растет, и перепады температур на вырубке, или гари, значительно более существенные, отсутствие испарения за счет транспирационного дыхания древесной растительности, а также повышенные температуры летом приводят к переувлажнению и заболачиванию почвогрунтов, лишенных лесного покрова, даже несмотря на их более глубокое промерзание зимой. В некоторой степени купировать возникающие процессы помогает моховой покров — играющий роль теплоизолятора [23]. Но если при проведении рубок леса уничтожить и его, то инсоляция участка значительно усилится, и мощный приток тепла заметно увеличит толщину слоя сезонной мерзлоты.

Следует обратить внимание на то, что вечная мерзлота имеет достаточно высокую динамику изменений (несмотря на название «вечная») ввиду достаточно неустойчивого термодинамического равновесия в системе «атмосфера – поверхность почвогрунта – литосфера», и даже не очень существенное для других природных условий отклонение температурного режима приводит к очень существенным, и длительным, изменениям гидрологического режима [22].

Динамика сукцессии в лесах на склонах не сильно отличается от аналогичных процессов лесов криолитозоны на равнине. Но, динамика развития механизмов воздействия движителей лесных машин на мерзлотные почвогрунты на склонах существенно отличается от аналогичного процесса в лесах криолитозоны на равнине. А сами леса криолитозоны на склонах являются одними из наиболее экологически чувствительных к внешним негативным воздействиям, и неграмотное их освоение может приводить к очень быстрому развитию эрозионных процессов, как водных (ввиду малой водопропускности макро- и микроагрегатов), так и ветровых [24].



Рис. 3. Результат процесса заболачивания лесного участка на вечной мерзлоте

Конечно, вынос поверхностного мелкозема приводит к активизации процесса почвообразования — выветриванию и образованию новых слоев почвообразующих пород, но это также приводит к нарушению темпов почвообразования и характера сопряжения горизонтов почвогрунтов. А главное — резкому снижению их плодородия. Ведь биологический круговорот в лесах криолитозоны характеризуется как сильно заторможенный. И доказательство этому — активное накопление лесных горючих материалов при общей невысокой продуктивности лесов [25].

Степень сопротивления упругого полупространства мерзлотного почвогрунта внедрению в него движителя лесной машины (несущая способность) очень сильно связана с наличием в почвогрунте влаги [26; 27]. А влагоперенос в оттаивающих мерзлотных почвогрунтах является достаточно сложным, и поразному протекает в слоях грунта, и покрывающей его почвы. В этой связи представляет интерес зависимость давления влаги, содержащейся в почвенном слое от ее влажности ($P(W)$). Вода в почвенном слое подвергается как воздействию сил на поверхности раздела «твердая фаза почвенных агрегатов – вода», и сил, которые возникают при искривлении поверхности раздела воды и воздуха. Степень воздействия этих сил различна, при разных уровнях влажности [28]. При этом, как известно, уплотняющее воздействие движителей лесных машин на почвогрунты приводит к снижению их аэрации. В результате зависимость $P(W)$ индивидуальна не только для каждой конкретной почвы, но и очевидно меняется по мере увеличения числа проходов лесных машин по волоку.

С точки зрения последующего влияния этого эффекта на лесорастительные свойства вырубков, по всей видимости, полезно учитывать, что генетические горизонты почв в лесных почвогрунтах обычно существенно различаются по гранулометрическому составу, и, соответственно, физическим свойствам. Изменение плотности и аэрации может приводить к тому, что изменение влажности почвенных горизонтов, при достижении определенных гидрологических констант, будет менять доступность воды для корневой системы растительности [29]. В основе данных констант заложено разделение почвенной влаги по вязкости и доступности для растений.

С учетом того, что теоретическое моделирование данного процесса (взаимодействия воды в почве с ее скелетом) пока не имеет решения, ввиду чрезвычайной сложности, в практике сельскохозяйственных исследований этот эффект изучается при помощи термодинамического метода, с помощью которого строятся кривые основной гидрофизической характеристики [30].

Весьма вероятно, что изменения аэрации почвенных слоев почвогрунта, перемешивание его слоев в процессе воздействия движителя лесной машины, соответственно, и изменения в доступности почвенной влаги корням растений, в том числе и приводят к известному эффекту, заключающемуся в том, что первые 1–2 прохода лесных машин по волоку или

технологическому коридору улучшают лесорастительные свойства почвогрунта, а затем начинают их ухудшать.

На динамику роста древесно-кустарниковой растительности влияют не только температура воздуха, количество почвенной влаги, но и гидротермические режимы корнеобитаемого слоя почвогрунтов, сказывающиеся на результатах вегетационного периода. Повышенные температуры корнеобитаемого слоя почвогрунтов в зимний период, при прочих равных условиях, позволяют им быстрее оттаивать весной, что способствует увеличению прироста в начале вегетационного периода. Но в дальнейшем повышенные температуры почвогрунтов в летние месяцы, например на склонах южных экспозиций, могут приводить к снижению влажности почвы меньше оптимальных значений, что будет замедлять прирост. В принципе, корреляция прироста и влажности почвогрунтов есть в течении всего теплого периода года, но для самой распространенной древесной породы Дальнего Востока России — лиственницы наиболее важным является запас почвенной влаги в конце вегетационного периода, поскольку именно ее запас будет использоваться в начале следующего вегетационного периода [31].

Поскольку постепенное оттаивание верхнего слоя сезонной мерзлоты продолжается постепенно весь теплый период года, то запасы влаги используются деревьями, по мере оттаивания, из все более глубоких слоев, до 1,2 м и ниже.

Анализ влияния гидротермического режима мерзлотных почвогрунтов на прирост, с учетом известного уплотняющего воздействия движителей лесных машин на почвогрунты, позволяет предположить, что уплотненный почвогрунт будет промерзать быстрее, вероятно, и глубже (при прочих равных условиях), а значит, в результате, уплотнение почвогрунта приведет к снижению прироста древесно-кустарниковой растительности, что коррелируется с известными данными исследований для условий Северо-Запада Российской Федерации [32].

Достаточность тепла является очень важным фактором и для почвообразовательных процессов, ведь при его недостатке в кислой среде разложение органики (лесного опада) происходит медленно, это способствует образованию грубого, гуматно-фульватного гумуса.

Вообще, в рассматриваемых условиях огромное влияние на почвообразование влияют режимы летнего оттаивания и зимнего промерзания верхних слоев сезонной мерзлоты (криогенез). Продолжительные ежегодные периоды нахождения почвогрунтов в состоянии мерзлоты, естественно, снижают продолжительность и интенсивность почвообразовательных процессов, включая эффект внутрислойного выветривания. С другой стороны, криогенез приводит к совершенно особым процессам влагопереноса, измельчения минеральных компонентов, соединения органоминеральных композиций, аккумуляции гумуса, образования своеобразного (криогенного) микрорельефа, который также необходимо учитывать при прогнозировании воздействия динамики лесных машин на поверхность трелевочного волока или технологического коридора.

В условиях склонов воздействие криогенеза меняется по принципу вертикальной почвенной зональности. Если рассматривать достаточно большие территории, то действие криогенеза усиливается вместе с усилением континентальности климата (с запада на восток).

По криогидротермическому режиму принято выделять две группы мерзлотных почвогрунтов [33]:

- Глубокомерзлотные мезоморфные, у которых толщина почвенного слоя меньше, чем толщина сезоннопромерзающего слоя (сезонной мерзлоты). У таких почвогрунтов в теплый период года мерзлота содержится в толще рыхлых и скальных пород, мерзлота малоледистая, а лед цементирует минеральный скелет почвогрунта, создает прослойки, линзы. Низкая водоудерживающая способность и высокая водопроницаемость приводит к тому, что почвенный слой насквозь промачивается осадками, в свою очередь, это приводит к нисхо-

дающей миграции почвенных веществ. Такой вариант достаточно характерен для склонов.

- Мерзлотные гидроморфные почвогрунты, у которых толщина почвенного слоя равна толщине сезоннопромерзающего слоя. Они характеризуются плохой влагопроницаемостью и высокой влагоемкостью. По аналогии с почвогрунтами III категории, у которых глинистый слой создает водоупор, у таких почвогрунтов водоупор создается льдом, что приводит к образованию переувлажненного надмерзлотного слоя (криогидроморфизм). Благодаря водоупору из подстилающего льда происходит надмерзлотное осаждение на нем органических и минеральных веществ. В таких условиях (из-за фазовых переходов влаги) можно наблюдать результаты своеобразных рельефообразующих процессов – пучение, выдавливание камней, термокарст, морозобойное растрескивание и др., в результате проявляется своеобразный микрорельеф — бугры, впадины, что, как уже было отмечено, влияет на результаты воздействия перемещающихся по ним движителей лесных машин.

При наступлении отрицательных температур, в процессе промерзания сезонного талого слоя мерзлоты образуется временно не промерзший слой, между верхним слоем сезонной мерзлоты, и нижним слоем многолетней мерзлоты. При этом часто возникает эффект тиксотропии (разжижения, уменьшения вязкости), особенно у мерзлотно-таежных глеевых почв, что, в свою очередь, приводит к началу процессов выдавливания почвогрунта из нижних горизонтов, и образованию курумов — существенно меняющих микрорельеф (рис. 4).

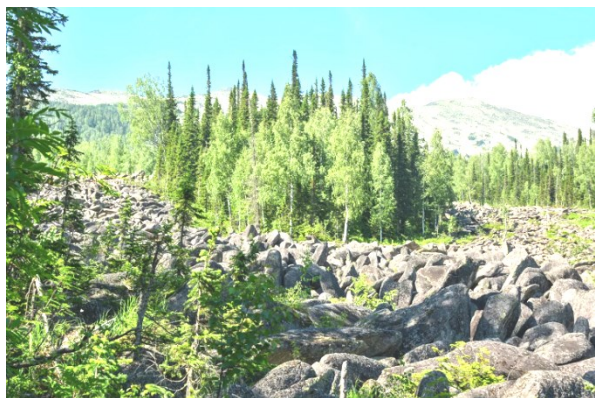


Рис. 4. Курумы

Курумы, в свою очередь, приводят к существенному увеличению динамической составляющей уплотняющего воздействия движителей лесных машин на лесные почвогрунты криолитозоны [32]. А поскольку общее давление движителей машины на почвогрунт, при прочих равных условиях, определяется как сочетание статического и динамического давления, то для снижения уплотняющего воздействия необходимо снижать рабочие скорости машин, что, в свою очередь, приведет к снижению производительности основных операций лесосечных работ, прежде всего, на трелевке.

Безусловно, большая часть проблем, связанная с негативным воздействием движителей лесных машин на лесные почвогрунты криолитозоны снимается при проведении лесосечных работ в зимний период. Но проблема состоит в том, что резко континентальный климат, свойственный для криолитозоны, приводит к очень длительным периодам с сильным морозом, когда температура окружающего воздуха $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и меньше. При этом, как известно, производители не рекомендуют эксплуатировать лесные машины при морозе уже $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ из-за возникновения эффекта морозного охрупчивания металла, что может привести к внезапной поломке гидроманипулятора и элементов рамы машины.

Традиционно, для снижения давления на почвогрунт от колесных движителей лесных машин снижают использовани-

ем специальных колесных гусениц (моногоусениц), но этого далеко не всегда бывает достаточно (рис. 5).



Рис. 5. Заглубление колесного движителя лесной машины, оснащенного моногоусеницей, в слабонесущий (переувлажненный) почвогрунт

В этой связи, одним из вариантов решения проблемы может быть использование лесных машин, не только оснащенных моногоусеницами, но и с большим количеством колес, например, десятиколесных форвардеров (рис. 6). Поскольку давление на почвогрунт 8-колесного форвардера на 50 % больше под нагрузкой, чем давление 10-колесного [26; 27].



Рис. 6. 10-колесный форвардер *Ponsse Buffalo 10W*, оснащенный моногоусеницами (опорная площадь $6,05\text{ м}^2$)

В качестве еще одного перспективного варианта снижения негативного воздействия движителей лесных машин лесные почвогрунты криолитозоны можно рассматривать выкладку ездовой поверхности сети трелевочных волоков из сборно-разборных покрытий. Безусловно, с учетом временного характера эксплуатации такой транспортной сети, речь не может идти о железобетонных плитах. Не подойдет и инвентарные деревянные щиты, поскольку, как показывает практика, их последующий демонтаж крайне затруднен. Но вполне возможно использовать уже хорошо зарекомендовавшие себя, например, у нефтегазовых компаний, и у ряда крупных лесопромышленных предприятий России, сборно-разборные дорожные пластиковые щиты (маты) [34; 35].

Дорожное покрытие из пластиковых матов может монтироваться, а затем и демонтироваться, при помощи форвардера, доставляющего маты на лесосеку, и подающего их при помощи гидроманипулятора, а также двух рабочих. Скорость монтажа и демонтажа достаточно высокая. Типы пластиковых матов, производимых в Российской Федерации, известны самые различные, включая специально предназначенные для перемещения по ним тяжелых машин на болотах.

Безусловно, такие маты стоят достаточно дорого, но они могут быть многократно перемонтированы, а их правильное использование гарантирует предохранение лесных почвогрунтов лесов криолитозоны от негативного воздействия

движителей лесных машин. Возможно, что себестоимость выполнения основных лесосечных работ, с использованием оснащения ездовой поверхности трелевочных волоков сборно-разборными пластиковыми матами, а также вывозки заготовленной древесины будет значительно выше традиционных способов проведения лесосечных работ.

Но если произвести расчет с учетом стоимости последующего восстановления лесной среды, обеспечения необходимого качества последующей сукцессии, то с учетом крайней ранимости почвогрунтов криолитозоны, о чем уже говорилось выше, и сильной заторможенности восстановительных биологических процессов, общая себестоимость продуктов лесопользования (как и других видов природопользования) при использовании дополнительных технических и технологических решений, снижающих негативное воздействие движителей лесных машин на почвогрунты лесов криолитозоны, с учетом особенностей их строения и протекающих в них физико-химических процессов, экономический эффект от данного подхода будет очевидно положительным.

Литература

- Новиков М.С., Куницкая О.А., Рудов С.Е., Каляшов В.А. Методика и аппаратура экспериментальных исследований динамики температур слоев лесного почвогрунта криолитозоны // Устойчивое развитие сельского хозяйства и агросистем будущего в Арктике: сб. науч. ст. по материалам Всерос. студенческой науч.-практической конф. в рамках «Северного форума - 2022» (Якутск, 30 нояб. 2022 г.). Новокузнецк, 2022. С. 378-383.
- Савинов Д.Д., Слепцов В.И. Свойства и режимы мерзлотных палевоых почв. Якутск: Изд-во ЯФ СО АН СССР, 1987. 128 с.
- Савинов Д.Д. Фундаментальные и прикладные мерзлотного почвоведения // Современные проблемы мерзлотного почвоведения и прикладной экологии Севера: материалы Всерос. науч.-практической конф. (29-30 марта 2012 г.). Якутск: Издательский дом СВФУ, 2013. С. 9-17.
- Поздняков Л.К. Мерзлотное лесоведение. Новосибирск: Наука, 1986. 190 с.
- Савинов Г.Н. Прикладная экология Якутии: история, эволюция и перспективы // Современные проблемы мерзлотного почвоведения и прикладной экологии Севера: материалы Всерос. науч.-практической конф. (29-30 марта 2012 г.). Якутск: Издательский дом СВФУ, 2013. С. 18-30.
- Куницкая О.А. Тенденции развития лесопромышленного комплекса Республики Саха (Якутия) // Вестн. АГАТУ. 2022. № 2 (6). С. 70-79.
- Ryabukhin P.B., Kunitskaya O.A., Burgunutdinov A.M., Makuev V.A., Sivtseva T.V., Zadrauskaite N.O., Gerts E.F., Markov O.B. Improving the efficiency of forest companies by optimizing the key indicators of sustainable forest management: a case study of the Far East // Forest Science and Technology. 2022. V. 18. № 4. P. 190-200.
- Рунова Е.М., Савченкова В.А. Оценка целесообразности применения показателей эффективности мероприятий, направленных на ликвидацию лесных пожаров // Успехи современного естествознания. 2016. № 11-2. С. 311-317.
- Рунова Е.М., Чжан Л.А. Экологические последствия нерациональной вырубке лесов в Приангарье // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2011. № 28. С. 135-136.
- Никифоров О.А., Куницкая О.А. Пути совершенствования схем лесной сертификации в области оценки экологического воздействия // Вестн. АГАТУ. 2022. № 3 (7). С. 55-69.
- Рудов С.Е., Куницкая О.А. Теоретические исследования экологической совместимости колесных лесных машин и мерзлотных почвогрунтов лесов криолитозоны // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы Междунар. науч.-технической конф. (22 окт. 2020 г.). Тюмень, 2020. С. 323-326.
- Рудов С.Е., Куницкая О.А., Григорьев И.В. Исследование влияния температуры мерзлого почвогрунта на его свойства // Resources and Technology. 2020. V. 17. № 3. P. 50-96.
- Константинов П.Я., Аргунов Р.Н., Герасимов Е.Ю. Угаров И.С. О связи глубины сезонного протаивания с межгодовой изменчивостью средней годовой температуры грунтов // Криосфера Земли. 2006. Т. IV. № 3. С. 15-22.
- Лейбман М.О. Динамика слоев сезонного оттаивания пород и методика измерения его глубины в различных ландшафтах Центрального Ямала // Криосфера Земли. 2001. Т. V. № 3. С. 17-24.
- Николаев А.Н., Федров П.П. Влияние климатических факторов и термического режима мерзлотных почв Центральной Якутии на радиальный прирост лиственницы и сосны (на примере стационара «Спаская Падь») // Лесоведение. 2004. № 6. С. 1-11.
- Сидорова О.В., Нурзаев М.М. Климатический отклик деревьев лиственницы, произрастающих на верхней границе леса и надпойменной террасе в низовьях реки Индигирки // Основные закономерности глобальных и региональных изменений климата и природной среды в позднем кайнозое Сибири. Новосибирск, 2002. Вып. 1. С. 391-401.
- Каляшов В.А., Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Куницкая О.А., Григорьева О.И. Оценка работоспособности трелевочного волока на склоне массива оттаивающего почвогрунта при циклических статических нагрузках // Resources and Technology. 2021. V. 18. № 2. P. 79-95.
- Каляшов В.А., Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Куницкая О.А., Григорьева О.И., Стородубева Т.Н. Исследование процесса образования колеи и ее устойчивости при работе лесных машин и трелевочных систем на склонах массива оттаивающего почвогрунта // Лесотехнический журнал. 2021. Т. 11. № 2 (42). С. 121-132.
- Куницкая О.А., Никитина Е.И., Николаева Ф.В. Особенности лесозаготовки в Республике Саха Якутия // Управление земельными ресурсами, землеустройство, кадастр, геодезия и картография. Проблемы и перспективы развития: сб. материалов Всерос. науч.-практической конф. с междунар. участием (26 февр. 2021 г.). Якутск, 2021. С. 308-313.
- Пестерев А.П., Макаров В.С. Изменение термического режима лесных почв при вырубке древостоя // Современные проблемы мерзлотного почвоведения и прикладной экологии Севера: материалы Всерос. науч.-практической конф. (29-30 марта 2012 г.). Якутск: Издательский дом СВФУ, 2013. С. 214-220.
- Рудов М.Е., Куницкая О.А., Григорьев М.Ф., Степанова Д.И., Григорьева А.И. Экологические и лесоводственные аспекты работы лесных машин в лесах криолитозоны // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2020. № 57. С. 14-17.
- Савинов Д.Д. Гидротермический режим почв в зоне многолетней мерзлоты. Новосибирск: Наука, 1976. 254 с.
- Караваева Н.А. Тундровые почвы Северной Якутии. М.: Наука, 1969. 205 с.
- Абузов А.В., Куницкая О.А. Определение массы грузозахватного срезающего механизма для аэростатной системы трелевки // Лесотехнический журнал. 2020. Т. 10. № 1 (37). С. 96-104.
- Куницкая О.А. Повышение эффективности лесной промышленности Республики Саха (Якутия) путем развития лесохимических технологий // Повышение эффективности лесного комплекса: материалы Шестой Всерос. нац. науч.-практической конф. с междунар. участием (22 мая 2020 г.). Петрозаводск, 2020. С. 88-89.
- Бурмистрова О.Н., Просужих А.А., Хитров Е.Г., Куницкая О.А., Лунова Е.Н. Теоретические исследования производительности форвардеров при ограничениях воздействия на почвогрунты // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2021. № 3 (381). С. 101-116.
- Бурмистрова О.Н., Просужих А.А., Хитров Е.Г., Рудов С.Е., Куницкая О.А., Калита О.Н. Влияние переменных коэффициентов сопротивления движению и сцепления на производитель-

- ность форвардера // *Деревообрабатывающая пром-сть*. 2021. № 1. С. 3-16.
28. Дерябин Г.А. Зависимость максимально-молекулярной влагоемкости почво-грунтов от их пластичности // *Метеорология и гидрология*. 1976. № 5. С. 99-101.
 29. Судницына И.И. Движение почвенной влаги и водопотребление растений. М.: Изд-во МГУ, 1979. 253 с.
 30. Кулижский С.П. Оценка физического состояния почв на основе зависимости потенциала (давления) почвенной влаги от влажности // *Современные проблемы мерзлотного почвоведения и прикладной экологии Севера: материалы Всерос. науч.-практической конф.* (29-30 марта 2012 г.). Якутск: Издательский дом СВФУ, 2013. С. 48-63.
 31. Николаев А.Н. Влияние температуры почвы на радиальный прирост стволов лиственницы и сосны в Центральной Якутии // *Наука и образование*. 2004. № 2 (34). С. 15-19.
 32. Григорьев И.В., Жукова А.И., Григорьева О.И., Иванов А.В. Средоадаптивные технологии разработки лесосек в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации. СПб.: ЛТА, 2008. 174 с.
 33. Ершов Ю.И. Особенности географии и генезиса мерзлотных почв Субарктики Центральной Сибири // *Современные проблемы мерзлотного почвоведения и прикладной экологии Севера: материалы Всерос. науч.-практической конф.* (29-30 марта 2012 г.). Якутск: Издательский дом СВФУ, 2013. С. 113-117.
 34. 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. науч.-практической конф.* (14-15 февр. 2023 г.). Петрозаводск, 2023. С. 28-30.
 35. Зорин М.В., Куницкая О.А. Современные сборно-разборные покрытия для строительства временных лесных дорог и технологических коридоров // *Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: материалы 86-й науч.-технической конф. проф.-препод. состава, науч. сотрудников и аспирантов* (31 янв. - 12 февр. 2022 г.). Минск, 2022. С. 54-57.

References

1. Novikov M.S., Kunickaya O.A., Rudov S.E., Kalyashov V.A. Methods and equipment of experimental studies of temperature dynamics of layers of forest soil in the cryolithozone // *Ustojchivoje razvitiye sel'skogo hozyajstva i agrosistem budushchego v Arktike: sb. nauch. st. po materialam Vseros. studencheskoj nauch.-prakticheskoy konf. v ramkah «Severnogo foruma - 2022»* (Yakutsk, 30 noyab. 2022 g.). Novokuzneck, 2022. P. 378-383.
2. Savinov D.D., Slepcev V.I. Properties and regimes of permafrost fawn soils. YAKUTSK: Izd-vo YAF SO AN SSSR, 1987. 128 p.
3. Savvinov D.D. Fundamental and applied permafrost soil science // *Sovremennye problemy merzlotnogo pochvovedeniya i prikladnoj ekologii Severa: materialy Vseros. nauch.-prakticheskoy konf.* (29-30 marta 2012 g.). YAKUTSK: Izdatel'skij dom SVFU, 2013. P. 9-17.
4. Pozdnyakov L.K. Permafrost forestry. Novosibirsk: Nauka, 1986. 190 p.
5. Savvinov G.N. Applied ecology of Yakutia: History, evolution and prospects // *Sovremennye problemy merzlotnogo pochvovedeniya i prikladnoj ekologii Severa: materialy Vseros. nauch.-prakticheskoy konf.* (29-30 marta 2012 g.). YAKUTSK: Izdatel'skij dom SVFU, 2013. P. 18-30.
6. Kunickaya O.A. Trends in the development of the timber industry complex of the Republic of Sakha (Yakutia) // *Vestnik ASAU* (Scientific journal of Arctic State Agrotechnological University). 2022. № 2 (6). P. 70-79.
7. Ryabukhin P.B., Kunitskaya O.A., Burgonutdinov A.M., Makuev V.A., Sivtseva T.V., Zadrauskaite N.O., Gerts E.F., Markov O.B. Improving the efficiency of forest companies by optimizing the key indicators of sustainable forest management: a case study of the Far East // *Forest Science and Technology*. 2022. V. 18. № 4. P. 190-200.
8. Runova E.M., Savchenkova V.A. Assessment of the feasibility of using indicators of the effectiveness of measures aimed at eliminating forest fires // *Advances in current natural sciences*. 2016. № 11-2. P. 311-317.
9. Runova E.M., CHZhan L.A. Ecological consequences of irrational deforestation in the Angara region // *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*. 2011. № 28. P. 135-136.
10. Nikiforov O.A., Kunickaya O.A. Ways to improve forest certification schemes in the field of environmental impact assessment // *Vestnik ASAU* (Scientific journal of Arctic State Agrotechnological University). 2022. № 3 (7). P. 55-69.
11. Rudov S.E., Kunickaya O.A. Theoretical studies of ecological compatibility of wheeled forest vehicles and permafrost soils of cryolithozones // *Transportnye i transportno-tehnologicheskie sistemy: materialy Mezhdunar. nauch.-tehnicheskoy konf.* (22 okt. 2020 g.). Tyumen', 2020. P. 323-326.
12. Rudov S.E., Kunickaya O.A., Grigor'ev I.V. Investigation of the influence of frozen soil temperature on its properties // *Resources and Technology*. 2020. V. 17. № 3. P. 50-96.
13. Konstantinov P.YA., Argunov R.N., Gerasimov E.YU. Ugarov I.S. On the relationship of the depth of seasonal thawing with the interannual variability of the average annual soil temperature // *Earth's Cryosphere*. 2006. V. IV. № 3. P. 15-22.
14. Lejbman M.O. Dynamics of layers of seasonal thawing of rocks and methodology for measuring its depth in various landscapes of Central Yamal // *Earth's Cryosphere*. 2001. V. V. № 3. P. 17-24.
15. Nikolaev A.N., Fedrov P.P. The influence of climatic factors and the thermal regime of permafrost soils of Central Yakutia on the radial growth of larch and pine (by the example of the "Spasskaya Pad" station) // *Russian Journal of Forest Science*. 2004. № 6. P. 1-11.
16. Sidorova O.V., Nurzbaev M.M. Climatic response of larch trees growing on the upper border of the forest and the over-floodplain territory in the lower reaches of the Indigirka River // *Osnovnyye zakonomernosti global'nyh i regional'nyh izmenenij klimata i prirodnoj sredy v pozdnem kajnozone Sibiri*. Novosibirsk, 2002. Vyp. 1. P. 391-401.
17. Kalyashov V.A., SHapiro V.YA., Grigor'ev I.V., Kunickaya O.A., Grigor'eva O.I. Assessment of the performance of a skidding portage on the slope of a mass of thawing soil under cyclic static loads // *Resources and Technology*. 2021. V. 18. № 2. P. 79-95.
18. Kalyashov V.A., SHapiro V.YA., Grigor'ev I.V., Kunickaya O.A., Grigor'eva O.I., Storodubceva T.N. Investigation of the process of track formation and its stability during the operation of forest machines and traction systems on the slopes of the thawed soil massif // *Forestry Engineering Journal*. 2021. V. 11. № 2 (42). P. 121-132.
19. Kunickaya O.A., Nikitina E.I., Nikolaeva F.V. Features of logging in the Republic of Sakha Yakutia // *Upravlenie zemel'nymi resursami, zemleustrojstvo, kadastr, geodeziya i kartografiya. Problemy i perspektivy razvitiya: sb. materialov Vseros. nauch.-prakticheskoy konf. s mezhdunar. uchastiem* (26 fevr. 2021 g.). YAKUTSK, 2021. P. 308-313.
20. Pesterev A.P., Makarov V.S. Changing the thermal regime of forest soils during logging // *Sovremennye problemy merzlotnogo pochvovedeniya i prikladnoj ekologii Severa: materialy Vseros. nauch.-prakticheskoy konf.* (29-30 marta 2012 g.). YAKUTSK: Izdatel'skij dom SVFU, 2013. P. 214-220.
21. Rudov M.E., Kunickaya O.A., Grigor'ev M.F., Stepanova D.I., Grigor'eva A.I. Ecological and forestry aspects of the work of forest machines in the forests of the cryolithozone // *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*. 2020. № 57. P. 14-17.
22. Savvinov D.D. Hydrothermal regime of soils in the permafrost zone. Novosibirsk: Nauka, 1976. 254 p.
23. Karavaeva N.A. Tundra soils of Northern Yakutia. M.: Nauka, 1969. 205 p.
24. Abuzov A.V., Kunickaya O.A. Determination of the weight of the load-lifting shearing mechanism for the balloon skidding system // *Forestry Engineering Journal*. 2020. V. 10. № 1 (37). P. 96-104.
25. Kunickaya O.A. Improving the efficiency of the forestry industry of the Republic of Sakha (Yakutia) through the development of forest chemical technologies // *Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa: materialy SHestoj Vseros. nac. nauch.-prakticheskoy konf. s mezhdunar. uchastiem* (22 maya 2020 g.). Petrozavodsk, 2020. P. 88-89.
26. Burmistrova O.N., Prosuzhikh A.A., Hitrov E.G., Kunickaya O.A., Luneva E.N. Theoretical studies of forwarders' productivity under restrictions of impact on soils // *Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal* (Forestry journal). 2021. № 3 (381). P. 101-116.
27. Burmistrova O.N., Prosuzhikh A.A., Hitrov E.G., Rudov S.E., Kunickaya O.A., Kalita O.N. Influence of variable coefficients of resistance to movement and coupling on the performance of the fore-warder // *Derevoobrabatvaushaya promishlennost'* (Woodworking industry). 2021. № 1. P. 3-16.
28. Deryabin G.A. Dependence of the maximum molecular moisture capacity of soils on their plasticity // *Russian Meteorology and Hydrology*. 1976. № 5. P. 99-101.
29. Sudnicyna I.I. Movement of soil moisture and water consumption of plants. M.: Izd-vo MGU, 1979. 253 p.
30. Kulizhskij S.P. Assessment of the physical condition of soils based on the dependence of the potential (pressure) of soil moisture on humidity // *Sovremennye problemy merzlotnogo pochvovedeniya i prikladnoj ekologii*

- Severa: materialy Vseros. nauch.-prakticheskoy konf. (29-30 marta 2012 g.). YAkutsk: Izdatel'skiy dom SVFU, 2013. P. 48-63.
31. Nikolaev A.N. The influence of soil temperature on the radial growth of larch and pine trunks in Central Yakutia // Science and Education. 2004. № 2 (34). P. 15-19.
 32. Grigor'ev I.V., Zhukova A.I., Grigor'eva O.I., Ivanov A.V. Environmental technologies for cutting wood in the conditions of the North-Western region of the Russian Federation. Spb.: LTA, 2008. 174 p.
 33. Ershov YU.I. Features of geography and genesis of permafrost soils of the subarctic of Central Siberia // Sovremennyye problemy merzlotnogo pochvovedeniya i prikladnoj ekologii Severa: materialy Vseros. nauch.-prakticheskoy konf. (29-30 marta 2012 g.). YAkutsk: Izdatel'skiy dom SVFU, 2013. P. 113-117.
 34. Zorin M.V., Kunickaya O.A. Types of modern plastic plates for the construction of temporary forest roads and technological corridors // Derevyannoe domostroenie Severa: tradicii i innovacii: sb. st. po materialam Vseros. nauch.-prakticheskoy konf. (14-15 fevr. 2023 g.). Petrozavodsk, 2023. P. 28-30.
 35. Zorin M.V., Kunickaya O.A. Modern collapsible coatings for the construction of temporary forest roads and technological corridors // Lesnaya inzheneriya, materialovedenie i dizajn: materialy 86-j nauch.-tekhnicheskoy konf. prof.-prepod. sostava, nauch. sotrudnikov i aspirantov (31 yanv. - 12 fevr. 2022 g.). Minsk, 2022. P. 54-57.

УДК 630*812.7

DOI: 10.18324/2077-5415-2023-4-101-105

Физико-механические свойства затопленной древесины ели сибирской и перспективы ее использования

Е.М. Рунова^a, Н.П. Плотников^b, И.Н. Челышева^c, П.С. Медведева^d

Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

^a runova0710@mail.ru, ^b n-plotnikov@mail.ru, ^c irinachelysheva@yandex.ru, ^d ms.polina.medvedeva.2015@mail.ru^a <https://orcid.org/0000-0001-6178-4038>, ^b <https://orcid.org/0000-0001-9729-0806>,^c <https://orcid.org/0000-0003-1017-5149>

Статья поступила 30.10.2023, принята 13.11.2023

*Комплексное использование древесины является актуальной проблемой лесного комплекса, при этом практически не освещаются вопросы комплексного использования древесины, затопленной в водохранилищах при строительстве ГЭС. Изучены физико-механические свойства древесины ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb), затопленной в акватории Братского водохранилища и пролежавшей в воде более 10 лет. Исследование образцов древесины ели сибирской проводилось согласно общепринятым методикам. Установлено, что физические свойства древесины затопленной ели сибирской существенно отличаются от справочных данных, приведенных в ГССД. Ширина годичных слоев в 1,8 раза превышает табличные данные, процент поздней древесины несколько ниже стандартного значения на 10,8 %. Плотность затопленной ели и базовая плотность оказались существенно меньше справочных данных соответственно на 32,34 и 27,12 %. Коэффициенты усушки в тангенциальном и радиальном направлении и объемный коэффициент усушки оказались меньше справочных данных. Объемный коэффициент усушки составил 0,294, что меньше справочных данных на 18,33 %. Показатели прочности древесины при сжатии вдоль волокон составили всего 15,43 МПа, что на 69,02 % меньше приводимых справочных данных. Предел прочности при статическом изгибе составил 44,26 МПа, что меньше табличных данных на 45,69 %. Также относительно небольшая прочность у испытуемых образцов при скалывании вдоль и поперек волокон. Таким образом, установлено, что длительное пребывание ели в воде вызывает ухудшение прочностных свойств древесины и ограничивает возможности ее использования.*

Ключевые слова: затопленная древесина; ель сибирская; испытания; плотность древесины; механические свойства.

Physico-mechanical properties of submerged Siberian spruce wood and prospects for its use

Е.М. Runova^a, N.P. Plotnikov^b, I.N. Chelysheva^c, P.S. Medvedeva^d

Bratsk State University; 40, Makarenko, Bratsk, Russia

^a runova0710@mail.ru, ^b n-plotnikov@mail.ru, ^c irinachelysheva@yandex.ru, ^d ms.polina.medvedeva.2015@mail.ru^a <https://orcid.org/0000-0001-6178-4038>, ^b <https://orcid.org/0000-0001-9729-0806>,^c <https://orcid.org/0000-0003-1017-5149>

Received 30.10.2023, accepted 13.11.2023

*The integrated use of wood is an urgent problem of the forest complex, while the issues of the integrated use of wood submerged in reservoirs during the construction of hydroelectric power plants are practically not covered. The physical and mechanical properties of Siberian spruce (*Picea obovata* Ledeb), submerged in the Bratsk reservoir, which has been in water for more than 10 years, are studied. Studies of samples of Siberian spruce wood are carried out according to generally accepted methods. It is established that the physical properties of the wood of the submerged Siberian spruce differ significantly from the reference data given in the State Standard Reference Data Service. The width of the annual layers is 1.8 times higher than the tabular data; the percentage of late wood is slightly lower*