

Научная статья

УДК 625.042.5

DOI: 10.37482/0536-1036-2024-4-134-146

### Особенности эксплуатации лесовозных дорог в весенне-зимний период

*К.В. Ладейщиков*<sup>✉</sup>, аспирант; *ResearcherID*: [IZE-1449-2023](https://orcid.org/0009-0007-9643-0003),

*ORCID*: <https://orcid.org/0009-0007-9643-0003>

*С.А. Чудинов*, канд. техн. наук, доц.; *ResearcherID*: [AEN-3285-2022](https://orcid.org/0000-0003-4492-8188),

*ORCID*: <https://orcid.org/0000-0003-4492-8188>

Уральский государственный лесотехнический университет, ул. Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия, 620100; k1272@mail.ru<sup>✉</sup>, chudinovsa@m.usfeu.ru

Поступила в редакцию 22.09.23 / Одобрена после рецензирования 18.12.23 / Принята к печати 20.12.23

**Аннотация.** Сезонные дороги не являются объектами капитального строительства. В отличие от всесезонных, они могут быть летнего и зимнего действия. При транспортном освоении лесов необходимы как всесезонные дороги с твердым покрытием, так и временные с грунтовым. Доля временных дорог составляет более 90 % от всех лесовозных дорог. Одна из основных проблем временных лесовозных дорог – неравномерная эксплуатация по сезонам, особенно летом. Сезонные дороги не имеют капитального покрытия, чаще это естественный грунт, подверженный, кроме механических воздействий, атмосферным, что наиболее проявляется в летне-осенний период. Поэтому вывоз около 80 % заготовленной древесины производится по зимним дорогам. Плотность временных дорог зависит от общей технологии ведения заготовки в определенной местности, включающей расстояние трелевки древесины и угол взаимного расположения лесных дорог. Работы по устройству дорог зимнего действия выполняются летом и зимой. Летом проводятся инженерные изыскания, определяется оптимальное направление будущей трассы, прорубается просека, готовится земляное основание, при необходимости устраиваются водопропускные сооружения. С наступлением холодов уплотняют и выравнивают грунт для ускорения его промерзания. При достаточном промерзании основания формируют снежно-ледяное покрытие. В статье рассмотрено влияние придорожных лесных насаждений на температуру воздуха около поверхности дороги, температуру почвы, блокирование солнечной радиации – факторы, которые имеют непосредственное отношение к общему сроку эксплуатации зимней дороги. Особое внимание уделено замедлению снижения прочности покрытия зимней дороги в тени от сохранных деревьев путем выбора оптимального направления трассы. Установлено и подтверждено замедление снижения прочности покрытия лесной грунтовой дороги на участках, где деревьями блокируется солнечная радиация, т. е. в тени. Разница падения прочности до минимальной составляет 33 дня. На основании результатов исследования сделан вывод о необходимости всесторонней проработки логистической стратегии организации перевозок круглых лесоматериалов по зимним дорогам.

**Ключевые слова:** зимние лесовозные дороги, эксплуатация дороги, направление трассы, оттаивание, модуль упругости, инсоляция, солнечная радиация

*Для цитирования:* Ладейщиков К.В., Чудинов С.А. Особенности эксплуатации лесовозных дорог в весенне-зимний период // Изв. вузов. Лесн. журн. 2024. № 4. С. 134–146. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-4-134-146>

Original article

## The Peculiarities of the Operation of Logging Roads in the Spring-Winter Period

*Konstantin V. Ladeyshchikov*<sup>✉</sup>, Postgraduate Student; ResearcherID: [IZE-1449-2023](https://orcid.org/0009-0007-9643-0003),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9643-0003>

*Sergey A. Chudinov*, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ResearcherID: [AEN-3285-2022](https://orcid.org/0000-0003-4492-8188),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4492-8188>

Ural State Forest Engineering University, Sibirskiy Trakt, 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation; [k1272@mail.ru](mailto:k1272@mail.ru)<sup>✉</sup>, [chudinovsa@m.usfeu.ru](mailto:chudinovsa@m.usfeu.ru)

Received on September 22, 2023 / Approved after reviewing on December 18, 2023 / Accepted on December 20, 2023

**Abstract.** Seasonal roads are not capital construction objects. Unlike all-season ones, they can be of summer and winter action. During the transport development of forests, both all-season paved roads and temporary unpaved roads are required. The share of temporary roads is more than 90 % of all logging roads. One of the main problems of temporary logging roads is uneven seasonal operation, especially in summer. Seasonal roads do not have a permanent surface; more often it is natural soil, subject, except for mechanical impacts, to atmospheric ones, which is most evident in the summer-autumn period. Therefore, about 80 % of the harvested wood is exported via winter roads. The density of temporary roads depends on the general harvesting technology in a particular area, including the wood skidding distance and the angle of relative position of forest roads. Winter road construction works are carried out in summer and winter. In summer, engineering surveys are carried out, the optimal direction of the future route is determined, a clearing is cut, a roadbed is prepared, and if necessary, culverts are installed. With the onset of cold weather, the existing soil is compacted and leveled to accelerate its freezing. If the roadbed is sufficiently frozen, a snow-ice cover is formed. The article considers the influence of roadside forest plantations on the air temperature near the road surface, soil temperature, blocking solar radiation – the factors that are directly related to the overall service life of a winter road. Special attention is paid to slowing down the decrease in the winter road pavement strength in the shade of preserved trees by choosing the optimal route direction. The slowdown in the decrease in the pavement strength of the forest dirt road has been established and confirmed in areas where solar radiation is blocked by trees, i.e. in the shade. The difference in strength reduction to the minimum is 33 days. Based on the research results, it has been concluded that a comprehensive development of the logistics strategy for the organization of roundwood transportation via winter roads is necessary.

**Keywords:** winter logging roads, road operation, route direction, thawing, elastic modulus, insolation, solar radiation

**For citation:** Ladeyshchikov K.V., Chudinov S.A. The Peculiarities of the Operation of Logging Roads in the Spring-Winter Period. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2024, no. 4, pp. 134–146. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-4-134-146>

*Введение*

Значительные расстояния, небольшие объемы лесозаготовок, скорость освоения лесных участков современной техникой и их многочисленность обуславливают то, что во многих случаях более эффективно вывозить основной объем древесины по временным дорогам зимой, продлевая срок их эксплуатации. Зимние дороги проще развить, прокладывая или перенаправлять в новом месте, чем постоянные или используемые в другие сезоны, для строительства зимних дорог не требуется устройство многослойных конструкций земляного полотна и капитальных дорожных одежд [1, 21].

Срок эксплуатации временных лесовозных дорог определяется заранее и составляет не более 5 лет [4]. К временным дорогам относятся лесовозные ветки и лесовозные усы, их общая доля от всех лесовозных дорог – 90 %. На оставшуюся часть приходится лесовозные магистрали с капитальным типом покрытия, дороги общего пользования и некоторые лесовозные ветки – дороги, большей протяженности [17], чем обычные лесовозные ветки, и с низкой интенсивностью движения транспорта [4, 17, 19], что позволяет использовать их круглогодично.

Временные дороги не имеют постоянного твердого покрытия и в повышенной степени подвержены атмосферным и механическим воздействиям, особенно в летний период [23]. Вследствие этого древесину в основном вывозят зимой, по оборудованным полосам из замороженного грунтового основания, покрытого снегом и льдом [6]. Доля зимних дорог от всех временных составляет более 80 % [8]. Существующая плотность временных дорог недостаточна, ее требуемое значение зависит от общей технологии заготовки древесины в определенной местности [11, 18].

Актуальной задачей настоящего времени, которое характеризуется общим потеплением климата, является строительство зимних лесовозных дорог с увеличенным сроком эксплуатации: каждый дополнительный день использования дороги в весенний период дает прирост чистой прибыли [9].

Цель данной работы – планирование условий замедления снижения прочности покрытия зимней дороги в тени от сохранных деревьев путем выбора оптимального направления трассы, а также эксплуатационными мероприятиями в весенне-зимний период.

*Объекты и методы исследования*

Важные факторы, которые продлевают срок эксплуатации зимней дороги, – это температура и влажность в районе придорожной полосы, а также температура поверхности покрытия дороги при прочих равных условиях, таких как состав транспорта и интенсивность его движения. Температура поверхности дороги, в свою очередь, зависит от типа покрытия [16] и продолжительности воздействия прямых солнечных лучей в весеннее время.

Естественной преградой в лесу, замедляющей прогрев поверхности земли и, соответственно, зимней дороги, увеличивая срок ее эксплуатации, являются растущие деревья, особенно хвойных пород, которые в ясную солнечную погоду образуют на поверхности дороги тени. Важно прокладывать трассу зим-

ней лесовозной дороги с учетом ее максимального перекрытия тенью от высоких преград – деревьев [13].

При этом необходимо помнить, что лес сам по себе влияет на климат места, хотя однозначных выводов об этих влияниях учеными не сделано. Отсутствует информация о воздействии леса на эксплуатацию дороги при различных направлениях трассы.

Лес или лесные придорожные насаждения в первую очередь влияют на температуру почвы. Почва в лесу имеет более высокую температуру, чем на открытых участках: разница колеблется от 5 до 10 °С [5]. Это зависит от ряда факторов, например снежного покрова, ветра и т. д. Соответственно, грунт на участке в лесу промерзает на меньшую глубину в отличие от открытых участков.

В целях изучения влияния придорожных лесных насаждений на продолжительность эксплуатации зимних дорог было проведено исследование прочности грунтового покрытия в весенний период, когда дорога освободилась от снежного и снежно-ледяного покровов (на примере периода март–апрель 2023 г.), в зависимости от внешних факторов и условия

$$E_{\text{осн}} \geq E_{\text{упр min}},$$

где  $E_{\text{осн}}$  – модуль упругости основания, МПа;  $E_{\text{упр min}}$  – минимально требуемый модуль упругости,  $E_{\text{упр min}} = 50$  МПа (при невыраженном грузообороте) [2].

Для продолжительной эксплуатации лесовозной дороги определяющими факторами являются расположение трассы и расстояние до леса.

Исследован участок лесной грунтовой дороги вблизи г. Екатеринбург (рис. 1). Грунт на данной дороге представлен тяжелым суглинком.

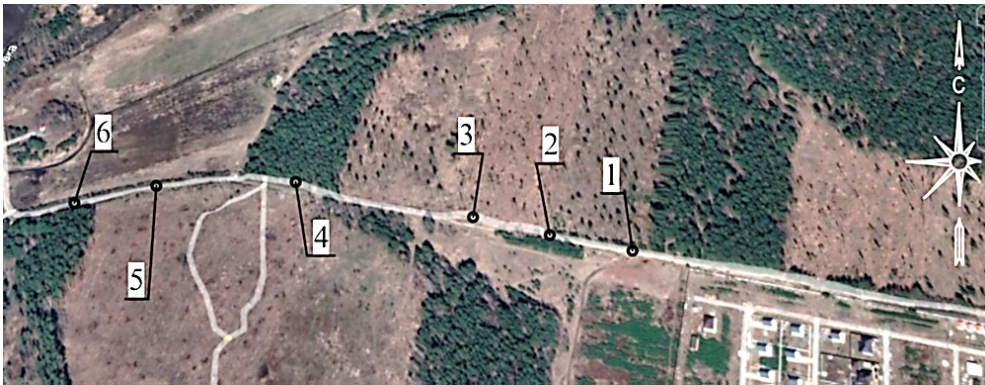


Рис. 1. Экспериментальная лесная дорога: 1 – открытый участок; 2 – блокированный деревьями высотой до 8 м участок; 3 – открытый с обеих сторон дороги участок; 4 – ограниченный лесным массивом с северной стороны, но открытый с южной участок; 5 – открытый участок; 6 – блокированный деревьями высотой до 25 м участок

Fig. 1. An experimental logging road: 1 – an open area; 2 – an area blocked with trees up to 8 m high; 3 – an area open on both sides of the road; 4 – an area limited by forest on the north side, but open on the south side; 5 – an open area; 6 – an area blocked with trees up to 25 m high

Прочность покрытия грунтовой дороги устанавливалась прибором ПДУ-МГ4 – измерителем модуля упругости грунтов и оснований дорог при динамическом нагружении (рис. 2). Прибор предназначен для косвенного измерения

модуля упругости грунта на основе зависимости амплитуды перемещения, приложенного к грунту, от ударной силы груза и преобразования этих деформаций тензометрическим датчиком в аналоговый электрический сигнал, который далее обрабатывается и выводится на дисплей.

Модуль упругости можно определить из выражения

$$E_{\text{упр}} = \frac{\pi d \sigma}{4L} (1 - \mu^2),$$

где  $d$  – диаметр нагружаемого штампа, м;  $\sigma$  – контактное напряжение, МПа;  $L$  – амплитуда перемещения, м;  $\mu$  – коэффициент Пуассона,  $\mu = 0,35$ .

$$\sigma = \frac{4P}{\pi d^2} (1 - \mu^2),$$

где  $P$  – сила удара, Н.



Рис. 2. Прибор ПДУ-МГ4  
Fig. 2. The device PDU-MG4

В весенний период существенно возрастает тепляющее воздействие солнечных лучей на поверхность дороги, в частности прямое воздействие с 11:00 до 15:00.

В число существенных факторов, влияющих на прочность покрытий дороги как на открытых участках, так и на участках, где солнечные лучи блокированы деревьями, входит солнечная радиация и продолжительность ее прямого воздействия в виде излучения света и тепла. Различают прямую солнечную радиацию – часть радиации, которая достигает земной поверхности в неизменном виде, и рассеянную – она претерпела рассеяние в атмосфере из-за ее встречного излучения. Под потоком любой из разновидностей солнечной радиации принято понимать количество лучистой энергии, приходящей в единицу времени на единицу площади, расположенной в направлении, перпендикулярном солнечным лучам [7]. Интенсивность прямой солнечной радиации, продолжительность солнечного сияния в допосуденное и послепосуденное время и температура окружающей среды влияют на скорость оттаивания поверхности дороги.

Под инсоляцией подразумевается прямая солнечная радиация. Инсоляция также бывает прямой и рассеянной. Она зависит от высоты стояния Солнца над горизонтом. У поверхности Земли при высоте стояния Солнца  $40^\circ$  солнечная радиация имеет следующий состав: инфракрасных лучей – 59 %, видимых – 40 %, ультрафиолетовых – 1 %.

Участки дороги можно охарактеризовать в т. ч. общей освещенностью, которая имеет существенные различия для случаев, когда есть прямая солнечная инсоляция и когда прямые солнечные лучи не достигают поверхности дороги (образуется тень).

Уровень освещенности (лк) измеряется в видимой области спектра с длиной волны 380–760 нм и определяется из выражения

$$E_{\text{осв}} = \frac{F}{S},$$

где  $F$  – световой поток, лм;  $S$  – площадь освещаемой поверхности, м<sup>2</sup>.

Здесь

$$F = \frac{\varepsilon}{t},$$

где  $\varepsilon$  – количество энергии, Дж;  $t$  – время, с, мин, ч.

В ходе исследования на участке дороги проводились измерения уровней освещенности с применением люксметра ТКА-ПКМ 31.

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

Рассматриваемый участок дороги протяженностью 1,5 км имеет направление с запада на восток, на 750 м из всей протяженности сконцентрированы различные места воздействия внешних факторов: открытые участки; участки дороги с блокированием солнечных лучей с 11:00 до 15:00; ограниченные с северной стороны лесными массивами, но открытые с юга участки и т. д. [15].

В зимний период тепляющее воздействие солнечных лучей на поверхность дороги незначительно в силу низкого склонения Солнца и падения лучей вскользь. Зимой модуль упругости снежной или снежно-ледяной поверхности дороги более 150 МПа. При потеплении воздуха покрытие начинает терять прочность, на открытых для солнечных лучей участках скорость уменьшения прочности повышена.

Но и для участков, которые открыты для солнечных лучей с южной стороны, скорости потери прочности покрытия разные. Решающим является наличие с северной стороны лесного массива. На рис. 3 приведен пример изменения модуля упругости поверхности на открытых участках № 3, 4. Близко к участку № 4 с северной стороны произрастает лес. Расстояние от края леса до ближайшего к нему края дороги составляет 1–2 м. Видно тепляющее воздействие на зимнюю дорогу лесного массива при равных температуре воздуха и продолжительности солнечной радиации. Задержка понижения прочности покрытия при сравнении двух участков составляет более 15 сут.

На рис. 4 для сравнения показано состояние поверхности дороги на участках № 3 и 4 в один день – 26.03.

Рекомендуемое расстояние от края леса до дороги при направлении с запада на восток – не менее 6 м, при условии, что это пространство зимой будет использоваться для отгрузки убираемого с дороги снега, который в весенний период будет долго лежать и уменьшать тепляющее воздействие леса. На таких участках на покрытии зимней дороги снижается частота колебаний при переходе его температуры через 0 °С в большую или меньшую сторону, когда происходит оттаивание и промерзание, – дорога меньше подвержена разрушениям от транспортного воздействия и в целом увеличивается срок ее эксплуатации.

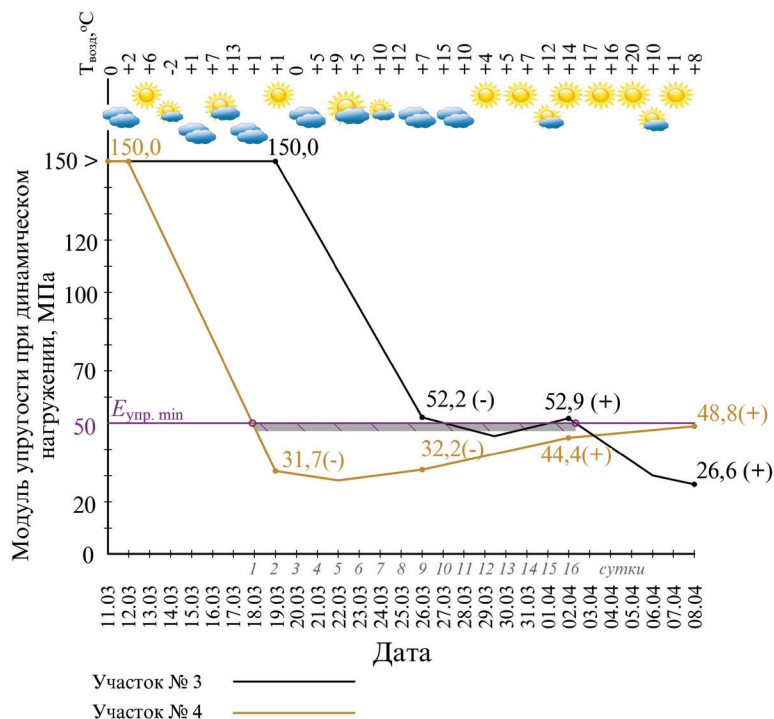


Рис. 3. Изменение модуля упругости поверхности зимней дороги на участках № 3 и 4 (- – сырая поверхность дороги; + – сухая (мерзлая))

Fig. 3. The change in the elastic modulus of the winter road surface in sections no. 3 and 4 (- – the road surface is wet; + – the road surface is dry (frozen))



Рис. 4. Состояние поверхности дороги на 26.03 на участках: *a* – № 3; *б* – № 4  
Fig. 4. The road surface condition as of March 26 in sections: *a* – no. 3; *б* – no. 4

Чтобы разработать мероприятия для продления срока эксплуатации дороги, необходимо знать общий срок эксплуатации конкретной дороги [24] с точными датами начала и окончания использования этого отрезка пути. В работе [12] обозначена сумма отрицательных температур от  $-100$  до  $-130$  °C, при достижении которой рекомендуется начинать

обустройство зимней дороги. Общий срок строительства зимника составляет до 30 календарных дней.

Еще более значительную задержку снижения модуля упругости поверхности зимней дороги видно при сравнении показателей открытых солнечным лучам участков и участков, где солнечные лучи блокированы деревьями. На рис. 5 показано, что на открытых участках поверхность дороги в период с 12.03 по 26.03 утрачивает требуемую для движения транспорта прочность, обуславливая необходимость прекращения эксплуатации дороги до просушки грунта на необходимую толщину. При этом, как показывает обследование, грунт на участке № 1 в сухом состоянии имеет низкую прочность, требуется его укрепление, например, местными каменными материалами [20, 22].

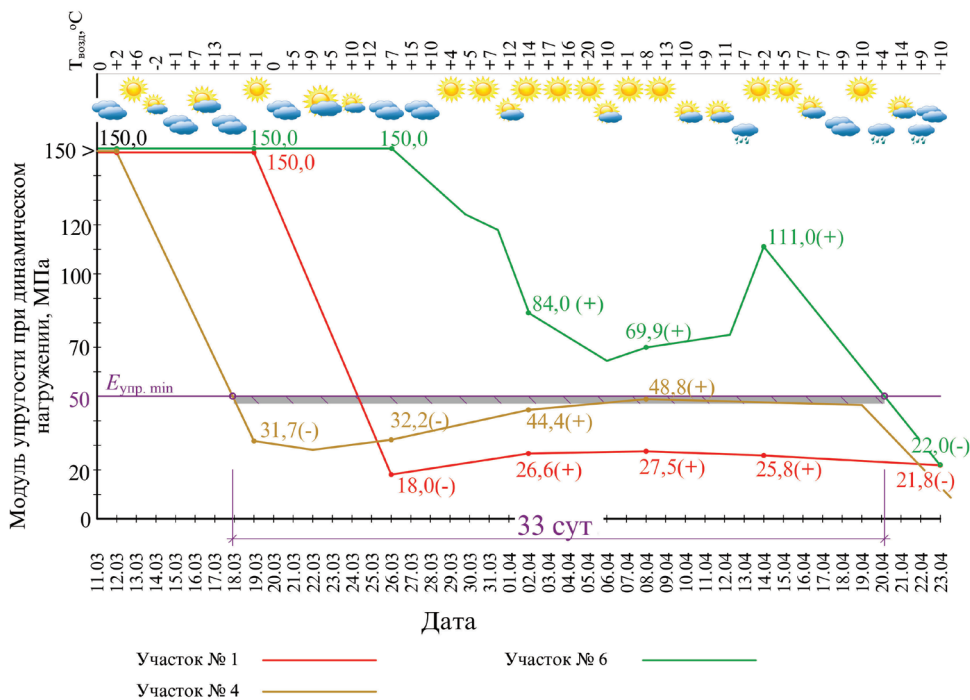


Рис. 5. Изменение модуля упругости поверхности зимней дороги на участках № 1, 4, 6 (-; + – см. рис. 3)

Fig. 5. The change in the elastic modulus of the winter road surface in sections no. 1, 4 and 6 (-; + – see fig. 3)

Участок № 6 расположен в тени сосен, достигающих высоты 25 м, и оттаивание поверхности дороги идет значительно медленнее по сравнению с другими участками. В общем тренде задержка составляет примерно 20 сут. При этом происходит набор прочности в периоды заморозков: 05–07.04; 12–14.04; в то время как для открытых участков в эти даты характерна естественная просушка поверхности.

Обследованием установлено замедление снижения прочности покрытия лесной грунтовой дороги на заблокированных участках в сравнении с требуемым модулем упругости и модулем упругости поверхности на открытых участках (рис. 6). Разница составляет 33 дня.



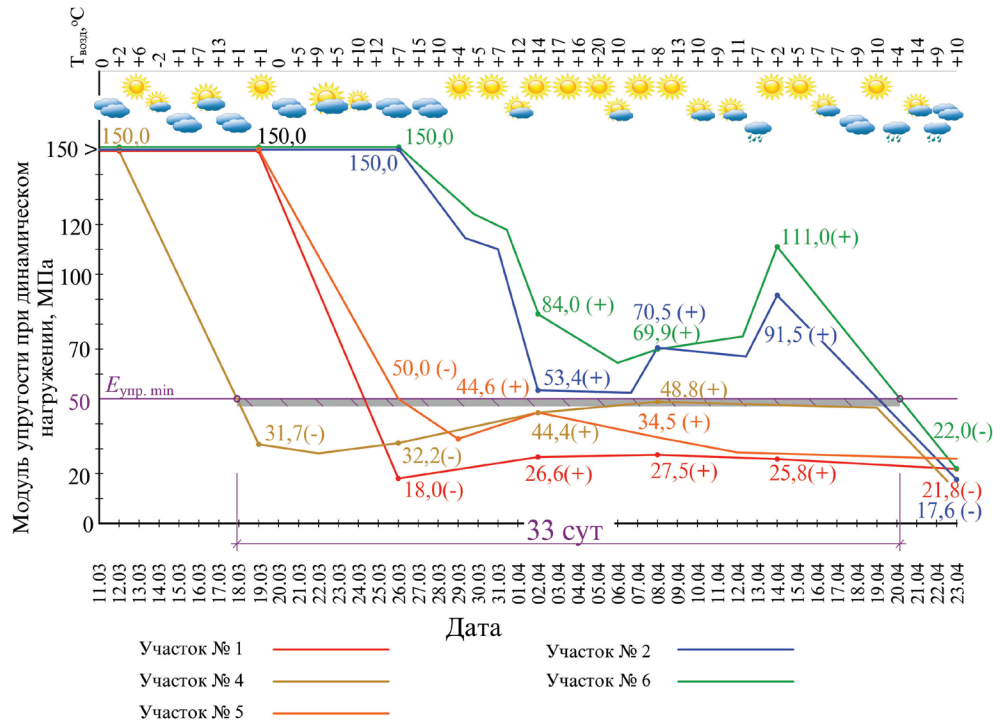


Рис. 6. Изменение модуля упругости поверхности зимней дороги на участках № 1, 2, 4–6 (-; + – см. рис. 3)

Fig. 6. The change in the elastic modulus of the winter road surface in sections no. 1, 2, 4, 5 and 6 (-; + – see fig. 3)

На рис. 3, 5, 6 видно, что грунтовая экспериментальная лесная дорога зимнего действия на некоторых сухих участках имеет прочность ниже минимальной требуемой по критерию упругого прогиба и необходимо укрепление этих участков. Также при натурных обследованиях установлено отсутствие нормативного обслуживания данной дороги: нет поперечных уклонов покрытия, обнаружены многочисленные выбоины и прочие дефекты (см. рис. 4).

Освещенность открытых участков № 1, 3–5 в полдень в период проведения исследования в безоблачные дни составляла в среднем 70 000 лк, блокированных участков № 2, 6 – 6 500 лк. По приведенной разнице в значениях показателя можно сделать вывод о наличии прямой инсоляции, а с учетом угла склонения Солнца, географических координат местности, продолжительности его воздействия – подсчитать количество солнечной энергии на единицу площади при безоблачной погоде.

Освещенность открытых участков в полдень в пасмурные дни была в среднем 20 000 лк, блокированных – 10 000 лк. Повышенная освещенность блокированных участков в пасмурные дни обусловлена увеличенным уровнем рассеянной солнечной радиации. В любом случае, в ясный или пасмурный день значения освещенности свидетельствуют о прямом воздействии солнечных лучей или показывают наличие тени.

Обследованием также подтверждено, что при средней температуре воздуха +15 °С температура воздуха на открытых участках была на 5–7 °С выше, чем в тени.

Доказано влияние сохраненных придорожных лесонасаждений на температуру окружающего воздуха [5] в месте, где проложена трасса.

Снижение воздействия солнечной радиации на почву обеспечивается в разной степени и пологом леса. Сомкнутый полог может задерживать до 99 % солнечной радиации. В сравнении с открытой местностью уменьшение количества солнечной радиации для конкретной территории по причине ее поглощения сосновыми насаждениями составляет 45 %, лиственными – 30 %, еловыми – 25 % [10].

Полог леса, когда кроны деревьев смыкаются в одном или нескольких ярусах, – лучшее внешнее условие для продления срока эксплуатации зимней дороги. Полог леса является реальной деятельной поверхностью, особенно если разница высот деревьев не более 15 %, и сравним с поверхностью почвы, но деревья вследствие транспирации хвои меньше нагреваются в ясную погоду днем по сравнению с открытой поверхностью почвы.

В лесу, в отличие от открытой местности, температура доходит до поверхности почвы с некоторой задержкой [5]. При весеннем нагревании крон деревьев холодный воздух опускается вниз, поддерживая промерзлое состояние почвы. Разность температур «лес–поле» зимой небольшая, весной и летом увеличивается с возрастанием температуры. Распределение температуры воздуха в глубине леса, на опушке или открытой местности (рядом с лесом) зависит от пород, составляющих насаждение, густоты его произрастания и возраста [5].

Логистическая стратегия организации перевозок круглых лесоматериалов от пункта заготовки до перерабатывающего предприятия должна быть направлена на поиск оптимального проекта основных трасс, т. е. зимних дорог. Под проектом понимается выбор наилучшего организационного и технического решения, планирование и своевременное строительство лесовозных дорог. Все это позволяет достичь максимального срока службы зимних лесовозных дорог и в итоге повысить эффективность перевозок [3, 14].

### *Выводы*

1. Сохраненные придорожные насаждения оказывают прямое влияние на эксплуатационный срок зимних лесовозных дорог, как продлевая, так и сокращая его в весенний период. При планировании направлений трасс необходимо временно сохранять лесные насаждения, тень от которых перекрывает проезжую часть в период с 11:00 до 15:00.

2. Установлено, что в районе, где лесной массив расположен с севера, а южная сторона подвержена прямой солнечной радиации, прокладывая трассу дороги необходимо на расстоянии не менее 6,0 м от леса. В процессе эксплуатации дороги при уборке излишнего снега его необходимо располагать на этой полосе. Такое устройство дороги позволит на 15 сут продлить период, когда прочность покрытия дороги при прочих равных климатических условиях будет соответствовать норме.

3. Выявлено наилучшее направление дороги – с запада на восток – с сохранением лесонасаждений с южной стороны и минимальным расстоянием от них до проезжей части. Замедление снижения прочности покрытия в сравнении с требуемым модулем упругости на заблокированных и открытых участках составляет 33 дня.

4. Другое предпочтительное направление трассы – с юго-востока на северо-запад, когда прямые солнечные лучи в дополуночное время воздействуют на поверхность дороги. При ином направлении необходимо уборку снега зимой выполнять в северную сторону. Если трасса планируется с севера на юг, ее лучше расположить по центру открытой местности, а если в лесу – то ширину отвода трассы необходимо делать минимальной – 8,0 м для однополосных дорог и 12,0 м для двухполосных.

5. Освещенность открытых участков в полдень в безоблачные дни составляет в среднем 70 000 лк, блокированных участков при прочих равных условиях – 6 500 лк. По приведенной разнице в значениях освещенности можно сделать заключение о наличии прямого солнечного воздействия. Угол направления трассы по отношению к северу влияет на общую продолжительность прямого солнечного облучения дороги.

6. Подтверждено, что температура окружающего воздуха на открытых участках на 5–7 °С выше, чем в тени, при средней температуре +15 °С, что напрямую связано с влиянием лесных насаждений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Булдаков С.И., Мануковский А.Ю., Ладейщиков Н.В., Ладейщиков К.В., Тамбовцева С.И. Основные технологические операции при строительстве автомобильных дорог. Екатеринбург: УГЛТУ, 2022. 128 с.

Buldakov S.I., Manukovskiy A.Yu., Ladeyshchikov N.V., Ladeyshchikov K.V., Tambovtseva S.I. *Basic Technological Operations in the Construction of Motorways*. Ekaterinburg, USFEI Publ., 2022. 128 p. (In Russ.).

2. Булдаков С.И., Савсюк М.В. Транспорт леса. Т. 1. Автомобильные лесовозные дороги. Екатеринбург: УГЛТУ, 2016. 97 с.

Buldakov S.I., Savsyuk M.V. *Forest Transportation. Vol. 1. Automobile Logging Roads*. Ekaterinburg, USFEI Publ., 2016. 97 p. (In Russ.).

3. Еремеева Л.Э. Основы лесопромышленной логистики. Сыктывкар: СЛИ, 2014. 208 с.

Eremeyeva L.E. *The Basics of Forestry Logistics*. Syktyvkar, SFI Publ., 2014. 208 p. (In Russ.).

4. Иванкович А.С., Ковалевский В.М., Кудрявцева А.П., Дубинин Д.А. Временные лесовозные дороги. М.: Лесн. пром-сть, 1971. 176 с.

Ivankovich A.S., Kovalevskiy V.M., Kudryavtseva A.P., Dubinin D.A. *Temporary Logging Roads*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1971. 176 p. (In Russ.).

5. Короткевич В.Н. Обзор работ по изучению микроклимата. Л.: ЦУЕГМС. Ленингр. отд., 1936. 82 с. (Тр. Гл. геофиз. обсерватории. Климатология / Центр. упр. единой гидрометеорол. службы СССР; Вып. 6, 2).

Korotkevich V.N. *The Review of Papers on the Study of Microclimate*. Leningrad, Central Directorate of the Unified Hydrometeorological Service (Leningrad Department) Publ., 1936. 82 p. (In Russ.).

6. Лукашевич В.М. Обоснование комплектов и режимов работы лесосечных и лесотранспортных машин с учетом сезонности лесозаготовительных работ: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Петрозаводск, 2007. 18 с.

Lukashevich V.M. *Justification of Sets and Operating Modes of Logging and Timber Transport Machines, Taking into Account the Seasonality of Logging Operations*: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs. Petrozavodsk, 2007. 18 p. (In Russ.).

7. Лукина И.В., Максимов И.И., Деревянных Е.А., Васильева О.Г. Анализ влияния солнечной радиации на рост растений // Вестн. Чуваш. гос. аграр. ун-та. 2022. № 2(21). С. 92–100.

Lukina I.V., Maksimov I.I., Derevyannykh E.A., Vasilieva O.G. Analysis of the Influence of Solar Radiation on Plant Growth. *Vestnik Chuvashskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik Chuvash State Agrarian University, 2022, no. 2(21), pp. 92–100. (In Russ.). <https://doi.org/10.48612/vch/bda9-eb6e-7f75>

8. Мохирев А.П., Горяева Е.В., Мохирев М.П., Ившина А.В. Планирование сроков эксплуатации зимних лесовозных дорог на основе анализа статистики климатических данных // Лесотехн. журн. 2018. Т. 8, № 2(30). С. 176–185.

Mokhirev A.P., Goryaeva E.V., Mokhirev M.P., Ivshina A.V. Planning of Operations of Winter Logging Roads on the Basis of Analysis of Climate Data Statistics. *Lesotekhnicheskij zhurnal* = Forestry Engineering Journal, 2018, vol. 8, no. 2(30), pp. 176–185. (In Russ.). [https://doi.org/10.12737/article\\_5b2406175e7765.44768086](https://doi.org/10.12737/article_5b2406175e7765.44768086)

9. Мохирев А.П., Зырянов М.А., Медведев С.О., Брагина Н.А. Анализ влияния климатических условий на начало эксплуатации летних лесовозных дорог // Успехи соврем. естествознания. 2020. № 9. С. 13–19.

Mokhirev A.P., Zyryanov M.A., Medvedev S.O., Bragina N.A. Analysis of the Influence of Climate Conditions on the Start of Operation of Summer Logging Roads. *Uspekhi sovremenno ego estestvoznaniya* = Advances in Current Natural Sciences, 2020, no. 9, pp. 13–19. (In Russ.). <https://doi.org/10.17513/use.37464>

10. Незавитин А.Г., Таран И.В., Бокова Т.И., Логинов С.И., Наплекова Н.Н., Осинцева Л.А., Чермерис М.С. Экологическая роль лесов в Сибири // Вестн. НГАУ. 2015. № 3(36). С. 43–53.

Nezavitin A.G., Taran I.V., Bokova T.I., Loginov S.I., Naplekova N.N., Osintseva L.A., Chemeris M.S. Ecological Role of Forests in Siberia. *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)* = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University), 2015, no. 3(36), pp. 43–53. (In Russ.).

11. Проектирование, строительство и эксплуатация лесных дорог: метод. рекомендации / М-во стр-ва и жилищ.-комму. хоз-ва Рос. Федерации – Федер. центр нормирования, стандартизации и оценки соответствия в стр-ве. М., 2018. 174 с.

*Design, Construction and Operation of Forest Roads: Methodological Guide*. Moscow, Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation, Federal Centre for Regulation, Standardization and Conformity Assessment in Construction, 2018. 174 p. (In Russ.).

12. Прокопьев Е.А., Крутских Н.В., Рязанцев П.А., Рослякова Н.А. Сбор данных для моделирования влияния климата на экономику (на примере лесозаготовок в Республике Карелия) // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2018. Т. 24, № 1. С. 273–284.

Prokopyev E.A., Krutskih N.V., Ryazantsev P.A., Roslyakova N.A. Data Mining for Modelling the Climate Influence on the Economy (in the Case of Logging in the Republic of Karelia). *InterCarto. InterGIS*, 2018, vol. 24, part. 1, pp. 273–284. (In Russ.). <https://doi.org/10.24057/2414-9179-2018-1-24-273-284>

13. Чудинов С.А., Ладейщиков К.В. Увеличение сроков эксплуатации зимних лесовозных дорог при блокировании солнечных лучей // Состояние и перспективы развития лесного комплекса в странах СНГ: сб. ст. II Междунар. науч.-техн. конф. Минск: БГТУ, 2022. С. 78–82.

Chudinov S.A., Ladeyshchikov K.V. Increasing the Service Life of Winter Logging Roads when Blocking the Solar Rays. *State and Prospects for the Development of the Forestry Complex in the CIS Countries: Proceedings of the II International Scientific and Technical Conference*. Minsk, BSTU Publ., 2022, pp. 78–82. (In Russ.).

14. Чудинов С.А., Ладейщиков К.В. Строительство зимних лесовозных дорог с увеличенным сроком эксплуатации // Научное творчество молодежи – лесному ком-

плексу России: материалы XIX Всерос. (нац.) науч.-техн. конф. студентов и аспирантов / М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, УГЛТУ. Екатеринбург: УГЛТУ, 2023. С. 702–707.

Chudinov S.A., Ladeyshchikov K.V. Construction of Winter Logging Roads with Extended Service Life. *Scientific Creativity of Youth for the Russian Forest Complex: Proceedings of the XIX All-Russian (National) Scientific and Technical Conference of Students and Postgraduates*. Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Ural State Forestry Technical University, Ekaterinburg, USFEI Publ., 2023, pp. 702–707.

15. Чудинов С.А., Ладейщиков К.В. Особенности организации транспортировки лесоматериалов по зимним лесовозным дорогам // Логист. системы в глоб. экономике. 2023. № 13. С. 155–159.

Chudinov S.A., Ladeishchikov K.V. Features of the Organisation for Timber Transportation on Winter Timber Roads. *Logisticheskiye sistemy v global'noy ekonomike = Logistic Systems in Global Economics*, 2023, no. 13, pp. 155–159. (In Russ.).

16. Чудинов С.А., Ладейщиков К.В. Увеличение сроков эксплуатации сезонных дорог зимнего действия // Железнодорожный транспорт и технологии: сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. / УрГУПС. Вып. 1(249). Екатеринбург: УрГУПС, 2023. С. 118–121.

Chudinov S.A., Ladeyshchikov K.V. Increasing the Service Life of Seasonal Winter Roads. *Railway Transport and Technologies: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Ekaterinburg, USURT Publ., 2023, iss. 1(249), pp. 118–121. (In Russ.).

17. Borozna A.A., Skachek D.A., Naskovets M.T., Mokhov S.P., Golyakevich S.A. Industrial Approbation of Temporary Road Structures for Transport-Assisted Exploitation of Forests. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 817, art. no. 012006. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/817/1/012006>

18. Brockenbrough R.L. *Highway Engineering Handbook*: 3rd ed. New-York, McGraw-Hill, 2009. 885 p.

19. Dittmer M.H. Efforts to Reduce Construction Costs of Logging Roads in Muskeg and Wet Soils in Southeast Alaska. *Transportation Research Record*, 1987, no.1106, pp. 267–273.

20. Holzleitner F., Fritz M., Sokol W., Zott F., Kanzian C. Predicting Forest Road's Bearing Capacity Using Smart Sensing Technology. *NB NORD2020: Forest Operations for the Future*, 2020, pp. 27–32.

21. Jones C.J.F.P., Glendinning S., Huntley D.T., Lamont-Blask J. Soil Consolidation and Strengthening Using Electrokinetic Geosynthetics – Concepts and Analysis. *Geosynthetics*. 2006, pp. 411–414.

22. Kaakkurivaara T. Innovative Methods for Measuring and Improving the Bearing Capacity of Forest Roads. *Dissertationes Forestales 251*, 2018. 57 p. <https://doi.org/10.14214/df.251>

23. Smirnov M., Andrianov Yu., Chernyakevich V. Technological Modernization of Forest Roads Construction in Russia. *Journal of Applied Engineering Science*, 2018, vol. 16, iss. 3, pp. 328–332. <https://doi.org/10.5937/jaes16-17071>

24. Varol T., Ozel H.B., Ertugrul M., Emir T., Tunay M., Cetin M., Sevik H. Prediction of Soil-Bearing Capacity on Forest Roads by Statistical Approaches. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2021, vol. 193, art. no. 527. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09335-0>

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов  
**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest

---

**Вклад авторов:** Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи  
**Authors' Contribution:** All authors contributed equally to the writing of the article