

DOI: 10.58168/GrEGrR2026_185-189

УДК 630.377.45

ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЛЕСОВОЗНОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

CAUSES OF DESTRUCTION OF THE SUBGRADE OF A LOGGING ROAD

Мануковский А.Ю., доктор техн. наук, доцент, кафедра промышленного транспорта, строительства и геодезии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Медведев И.Н., кандидат техн. наук, доцент, кафедра промышленного строительства и геодезии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Малый И.А., магистрант 2 курса лесопромышленного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Нужный И.И., магистрант 2 курса лесопромышленного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Гродовской С.С., магистрант 1 курса лесопромышленного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Manukovskiy A.Yu., Doctor of Engineering sciences, Associate Professor, Department of Industrial transport, construction and geodesy Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Medvedev I.N., Candidate of Technical sciences, Department of транспорта, Industrial transport, construction and geodesy Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Maly I.A., 2nd year master's student of the forestry faculty Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Nugnyi I.I., 2nd year master's student of the forestry faculty Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Grodovskoy S.S., 1nd year master's student of the forestry faculty Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Аннотация: в статье подробно разбираются основные источники проблем, связанных с переувлажнением насыпи земляного полотна, исследуются причины их возникновения и описываются эффективные методы позволяющие предотвращения разрушения поверхности автомобильных дорог. Так же в статье разбирается механизмы негативного воздействия переувлажнения на стабильность земляного полотна и дорожную одежду в зависимости от времени года. Особое внимание уделяется комплексу превентивных и защитных мер. В работе

описываются эффективные методы, позволяющие предотвратить разрушение поверхности автомобильных дорог вследствие переувлажнения [1-3]

Abstract: the article examines in detail the main sources of problems associated with waterlogging of the embankment, examines the causes of their occurrence and describes effective methods to prevent the destruction of the surface of highways. The article also examines the mechanisms of the negative effects of waterlogging on the stability of the roadbed and road clothing, depending on the time of year. Special attention is paid to a set of preventive and protective measures. The paper describes effective methods to prevent the destruction of the surface of highways due to waterlogging.

Ключевые слова: Водно-тепловой режим, земляное полотно, дренажная система.

Key words: Water-thermal regime, subgrade, drainage system.

Обширная территория нашей страны обуславливает значительное разнообразие природно-климатических условий, что непосредственно воздействует на водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог. Контраст между северными и южными регионами наглядно это демонстрирует: в одних районах наблюдается избыточное увлажнение с преобладанием капиллярного поднятия воды, в других - благодаря ограниченному количеству осадков и глубокому залеганию грунтовых вод формируется более благоприятный режим для дорожного строительства.

Водно-тепловой режим земляного полотна: это колебания температуры и уровня влажности грунта в насыпи автомобильной дороги. При проектировании учитывают колебания различных показателей земляного полотна под влиянием внешних условий. Расчёты опираются на предельные значения влажности и температуры: при их превышении необходимо возводить специальные сооружения для защиты полотна от переувлажнения [4, 5].

Земляное полотно лесовозной дороги ежегодно испытывает воздействие природно-климатических факторов. Колебания влажности грунта насыпи, вызванные различиями в климатических зонах и температурными перепадами, и формируют водно-тепловой режим дорожного полотна. Сезонные изменения температуры и влажности критически важны для сохранения целостности дорожного покрытия. В зависимости от климатической зоны и времени года температура по слоям распределяется следующим образом (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Сезонное изменение теплового режима земляного полотна

Слои	Лето	Осень	Зима	Весна
Верхний слой	+20 ⁰ С	+10 ⁰ С	-10 ⁰ С	+10 ⁰ С
Средний слой	+15 ⁰ С	+12 ⁰ С	-8 ⁰ С	+5 ⁰ С
Нижний слой	+5 ⁰ С	+15 ⁰ С	-5 ⁰ С	-1 ⁰ С

Годовое сезонное изменение водно-теплового режима включает четыре основных периода:

1. Осенний период (влагонакопление), температура грунта выше температуры воздуха; водяной пар из атмосферы диффундирует в верхние слои грунта и конденсируется там; дождевые осадки просачиваются в грунт, повышая его влажность; уровень грунтовых вод может подниматься, усиливая капиллярный подсос влаги вверх.

2. Зимний период (перераспределение влаги при промерзании): грунт промерзает сверху вниз; температурный градиент направлен от тёплых нижних слоёв к холодным верхним; влага мигрирует к фронту промерзания, где может замерзнуть, образуя ледяные линзы; в зоне промерзания пар конденсируется и замерзает, а в талых слоях ниже продолжается диффузия влаги вверх.

3. Весенний период (оттаивание и переувлажнение): верхние слои грунта оттаивают, но нижние остаются мёрзлыми; талая вода скапливается над мёрзлым слоем, создавая «мокрое корыто»; резко снижается несущая способность грунта из-за избыточной влажности; испарение ещё слабое из-за невысокие температуры.

4. Летний период (просыхание): температура воздуха выше температуры грунта; верхние слои прогреваются, усиливается испарение влаги; водяной пар из верхних слоёв диффундирует вниз, где конденсируется в более холодных слоях; тёплый воздух из нижних пор поднимается вверх, замещаясь более холодным и влажным; капиллярный подъём воды из нижних слоёв частично компенсируется испарением.

Годовые изменения водно-теплого режима земляного полотна схематично представлены на рисунке 1.

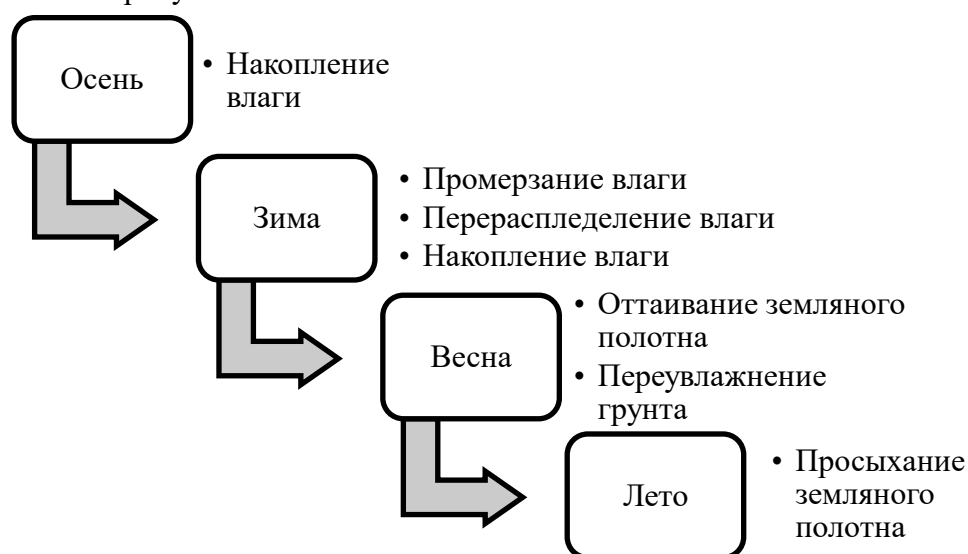


Рисунок 1 – Изменение водно-теплого режима в течение года

В осенний период прочностные характеристики дорожной конструкции снижаются из-за интенсивного накопления влаги и охлаждения грунта. Этот процесс связан с изменением водно-теплого режима (ВТР) земляного полотна, который включает сезонные колебания влажности и температуры.

В зимний период прочностные характеристики дорожной конструкции сохраняют высокие показатели, но оказываются зависимы от скорости промерзания земляного полотна.

Низкая скорость промерзания вызывает увеличение объёма жидкости в грунте, что приводит к морозному пучению, поэтапное развитие морозного пучения в земляном полотне под дорожной одеждой представлено на рисунке 2. Данное явление - одна из ключевых причин нарушения целостности дорожного покрытия на участках с повышенной влажностью и неглубоким залеганием грунтовых вод.

Следовательно, при проектировании автомобильных дорог в подобных условиях требуется предусматривать повышение прочности дорожных конструкций.

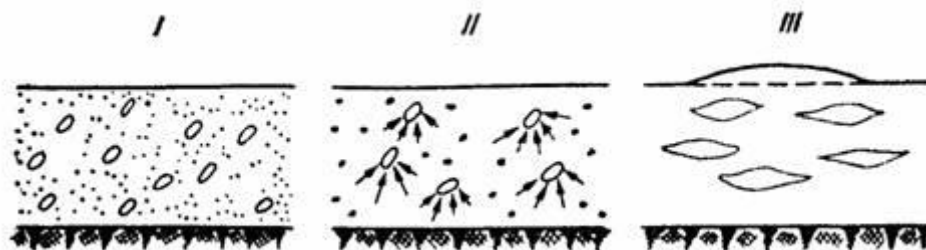


Рисунок 2 – Поэтапное развитие морозного пучения в земляном полотне под дорожной одеждой: I – скапливание влаги осенью; II – замерзание влаги в зимний период с последующим расширением её объёма; III – рост крупных ледяных линз в толще насыпи под влиянием повторяющихся циклов оттаивания и заморозания весной

В весенний период повышение температуры воздуха инициирует процесс оттаивания грунта земляного полотна. На этом этапе отмечается критическое увеличение показателя влажности, сопровождающееся разуплотнением грунта и снижением его устойчивости к внешним нагрузкам - что повышает вероятность осадки конструкции. Наибольшее переувлажнение фиксируется в верхних слоях земляного полотна непосредственно в фазе перехода от промерзания к оттаиванию.

В летний период, по мере роста температуры, происходит постепенное высыхание грунта. Уровень его увлажнения в это время зависит исключительно от атмосферных осадков, а также от динамики поверхностных вод и их инфильтрации в насыпь через поверхность откосов и обочин [2, 3].

Основные эффективные методы, позволяющие предотвратить разрушение поверхности автомобильных дорог вследствие переувлажнения грунта земляного полотна: совершенствование системы водоотвода; укрепление и гидроизоляция земляного полотна; оптимизация конструкции дорожной одежды; мониторинг и профилактика. Мероприятия по борьбе с переувлажнением грунта земляного полотна предусматриваются и осуществляются как на стадии проектирования автомобильной дороги, так и в ходе её строительства и последующей эксплуатации. [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев, И. В. Энерго-ресурсосберегающие технологии строительства лесных дорог / И. В. Григорьев, А. Ю. Мануковский, М. В. Зорин // Эколого-ресурсосберегающие технологии в науке и технике : материалы Всероссийской научно-технической конференции, Воронеж, 19–20 октября 2021 года. – Воронеж: Воронежский государственный

лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2021. – С. 54-59. – DOI 10.34220/ERSTST2021_54-59. – EDN ICJAVN.

2. Мануковский, А. Ю. Особенности дренажных конструкций при проектировании лесовозных автомобильных дорог / А. Ю. Мануковский, Е. А. Ржевская, Д. А. Востриков // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2018. – Т. 6, № 7(43). – С. 237-240.

3. Влияние переувлажнения насыпи земляного полотна на прочностные характеристики автомобильной дороги / А. Ю. Мануковский, А. В. Рубанов, Н. В. Недовесов, А. Ю. Романцов // Арктика: инновационные технологии, кадры, туризм. – 2020. – № 1(2). – С. 164-169.

4. Васильев, А. П. Пути совершенствования норм проектирования автомобильных дорог / А. П. Васильев // Строительство и эксплуатация автомобильных дорог: задачи и решения. - М., 2001. - С. 4-19.

5. Повышение надежности автомобильных дорог / И. А. Золотарь, В. К. Некрасов [и др.] ; под ред. И.А. Золотаря. - М.; Транспорт. 1977. – 183 с.

6. Автомобильные дороги: безопасность, экологические проблемы, экономика (российско-германский опыт) / под ред. В. Н. Луканина, К. Х. Ленца. - М.: Логос, 2002. - 624 с.

REFERENCES

1. Grigoriev, I. V. Energy and Resource-Saving Technologies for the Construction of Forest Roads / I. V. Grigoriev, A. Yu. Manukovsky, and M. V. Zorin // Environmental and Resource-Saving Technologies in Science and Technology : Proceedings of the All-Russian Scientific and Technical Conference, Voronezh, October 19–20, 2021. – Voronezh: G.F. Morozov Voronezh State Forestry University, 2021. – Pp. 54-59. – DOI 10.34220/ERSTST2021_54-59. – EDN ICJAVN.

2. Manukovsky, A. Yu. Specifics of drainage structures in the design of logging roads / A. Yu. Manukovsky, E. A. Rzhevskaya, D. A. Vostrikov // Current Trends in Scientific Research of the 21st Century: Theory and Practice. – 2018. – Vol. 6, No. 7(43). – Pp. 237-240.

3. The Impact of Embankment Waterlogging on the Strength Characteristics of a Highway / A. Yu. Manukovsky, A. V. Rubanov, N. V. Nedovesov, A. Yu. Romantsov // Arctic: Innovative Technologies, Personnel, Tourism. – 2020. – No. 1(2). – Pp. 164-169.

4. Vasiliev, A. P. Ways to improve the design standards of highways / A. P. Vasiliev // Construction and operation of highways: tasks and solutions. - M., 2001. - Pp. 4-19.

5. Increasing the reliability of highways / I. A. Zolotar, V. K. Nekrasov and others; ed. I.A. Zolotar. - M.: Transport, 1977. - 183 p.

6. Highways: safety, environmental problems, economics (Russian-German experience) / ed. V.N. Lukanin, K.X. Lenz. - M.: Logos, 2002. - 624 p.