

Научная статья
УДК 625.7

ПРОБЛЕМЫ АВТОДОРОЖНОЙ СЕТИ В ЗОНЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

Иван Викторович Коробейников¹, Алексей Юрьевич Шаров²

^{1, 2} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ ivan092002@mail.ru

² sharovayu@m.usfeu.ru

Аннотация. Анализируется текущее состояние и перспектива развития автомобильной дорожной сети в регионах распространения многолетнемерзлых грунтов России. Рассматриваются геотехнические, климатические проблемы при строительстве.

Ключевые слова: транспортная доступность, деградация вечной мерзлоты, изменение климата

Для цитирования: Коробейников И. В., Шаров А. Ю. Проблемы автодорожной сети в зоне вечной мерзлоты // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России = Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia : материалы XXII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург : УГЛТУ, 2026. С. 912–916.

Original article

PROBLEMS OF THE ROAD NETWORK IN THE PERMAFROST ZONE

Ivan V. Korobeynikov¹, Alexey Yu. Sharov²

^{1, 2} Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

¹ ivan092002@mail.ru

² sharovayu@m.usfeu.ru

Abstract. The article is devoted to analyzing the current state and development prospects of the road network in regions underlain by permafrost in Russia. It examines geotechnical and climatic challenges encountered in road construction.

Keywords: transport accessibility, permafrost degradation, climate change

For citation: Korobeynikov I. V., Sharov A. Yu. (2026) Problemy` avtodorozhnoj seti v zone vечноj merzloty` [Problems of the road network in the permafrost zones]. Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Ros-sii [Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia] : materials of the XXII All-Russian (national) Scientific and Technical Conference of undergraduate and postgraduate students. Ekaterinburg : USFEU, 2026. P. 912–916. (In Russ).

Развитие дорожной сети в зоне вечной мерзлоты представляет огромный интерес для экономического развития России. Освоение огромных запасов драгоценных металлов, нефти, редкоземельных элементов является условием наращивания экономического и стратегического потенциала. Развиваются отношения с азиатскими соседями, наращивается морской грузопоток.

Автомобильный транспорт остается доминирующим видом грузоперевозок в России (74 % по данным Росстата за 2024 г.). Осуществляя перевозку, автотранспорт играет роль «последней мили», доставляя грузы от логистических центров до населенных пунктов и конечных потребителей. Однако, в отличие от европейской части России, криолитозона характеризуется областями с отсутствием транспортной доступности. Текущее состояние автодорожной сети в зоне распространения вечномерзлых грунтов можно охарактеризовать как недостаточное по плотности. Данные о текущем состоянии сети на территориях с наличием многолетнемерзлых грунтов (ММГ) представлены в таблице.

Протяженность автомобильных дорог общего пользования
в регионах распространения ММГ в 2024 г.
(данные Росстата)

Регион	Протяженность, км		Плотность автомобильных дорог с твердым покрытием, км/1000 км ²
	общая	с твердым покрытием	
Мурманская область	3 737,6	3 525,9	24,3
Ямало-Ненецкий автономный округ	3 087,2	2 877,8	3,7
Республика Коми	8 126,0	6 965,6	16,7
Ненецкий автономный округ	431,7	329,3	1,9
Ханты-Мансийский автономный округ	7 500,1	6 272,3	11,7
Республика Бурятия	15 268,1	9 598,0	27,3
Республика Саха (Якутия)	30 955,9	12 788,1	4,1
Камчатский край	2 292,1	2 052,6	4,4
Хабаровский край	11 500,1	10 416,1	13,2

Окончание таблицы

Регион	Протяженность, км		Плотность автомобильных дорог с твердым покрытием, км/1000 км ²
	общая	с твердым покрытием	
Амурская область	16 433,8	13 380,4	37,0
Магаданская область	2 625,4	2 520,3	5,4
Чукотский автономный округ	2 286,9	961,2	1,3

Средний показатель плотности по России составляет около 63 км/1000 км², регионы же с распространением вечной мерзлоты имеют плотность в разы ниже. Отсутствие дорог на большей части криолитозоны затрудняет их развитие, а также доставку грузов, важных для жизнедеятельности в регионах.

Строительство автомобильных дорог в этих регионах сталкивается со сложнейшими инженерными проблемами, главной из которых является нестабильность грунта основания. Вечномерзлые грунты способны сильно терять в своей несущей способности в связи с изменением их термического состояния. Основными факторами, влияющими на температурный режим грунта, являются:

- солнечная радиация;
- температура воздуха;
- теплые осадки;
- снеговые отложения;
- влажность и льдонасыщенность грунта;
- рельеф.

Конструкция насыпи и дорожного полотна способствует поглощению тепла через откосы и поверхность покрытия, что приводит к повышению температуры подстилающих грунтов. Рельеф также влияет на тепловой режим: чем больше прямых солнечных лучей попадает на прилегающую территорию, тем больше теплоперенос в грунт основания сооружения. В зимний период насыпь становится местом образования снеговых отложений, выполняющих роль теплоизоляционного слоя, препятствующего охлаждению основания насыпи. В результате оттаивания льдистых включений мерзлые грунты теряют объем и прочностные характеристики, вследствие чего не выдерживают динамических нагрузок транспорта и веса насыпи. Это приводит к их оседанию и уплотнению, проявляющемуся в виде деформаций и просадок дорожного покрытия. Наиболее неблагоприятные условия для строительства характерны для северной подзоны первой дорожно-климатической зоны, где широко распространены жильные и погребенные льды, залегающие близко к поверхности [1]. Их оттаивание сопровождается

развитием термокарстовых явлений, представляющих собой неравномерные просадки насыпи при оттаивании льда и создающих дополнительные риски для устойчивости дорожных сооружений.

На устойчивость линейно-протяженного объекта также влияют и другие геокриологические процессы. Глубокое сезонное промерзание, наличие пучинистых грунтов и повышенная увлажненность территории являются основными условиями появления большого количества деформаций, вызванных морозным пучением.

В весенний период в результате температурных перепадов и растрескивания земляного полотна образуются температурные трещины в покрытии (морозобойное растрескивание) [2].

Кроме того, районы распространения многолетнемерзлых грунтов характеризуются отсутствием местных качественных дорожно-строительных материалов. При строительстве используются привозные материалы, чтократно увеличивает стоимость объекта. Короткий строительный сезон также вносит сложности в производство работ.

Наиболее остро проблема с деградацией вечной мерзлоты встает в условиях изменения климата. Согласно исследованию, общая площадь вечной мерзлоты может сократиться на 10–12 % к 2030 г., а к 2050 г. – на 15–20 %, при этом ее граница может сместиться к северо-востоку на 150–200 км, а глубина сезонного протаивания увеличиться в среднем на 15–25 % [3]. При потеплении и деградации вечной мерзлоты и при отсутствии мероприятий по адаптации к климатическим изменениям будет нанесен значительный ущерб северной инфраструктуре.

Ранее обозначенные проблемы требуют сочетания неотложных мер и долгосрочной стратегии. Следует обеспечить устойчивость конструкций и снизить стоимость их производства. В настоящее время существуют различные технологии для термостабилизации грунта: теплоизоляционные слои, сезонно-охлаждающие устройства, вентиляционные трубы. При остром дефиците качественных материалов в нижней части насыпи возможно использовать местный грунт способом промораживания [4]. Для уже существующих сооружений следует:

- применять защитные мероприятия в виде солнцезащитных навесов, каменных набросок;
- внедрять передовые системы мониторинга, позволяющие более точно анализировать и прогнозировать состояние линейных объектов, что в будущем поможет в разработке более точных термических моделей взаимодействия сооружения, мерзлых грунтов и изменения климата.

Немаловажным направлением является развитие новых технологий стабилизации, что позволит сохранять стабильность дорожного сооружения на более долгий срок. Примером может послужить использование возобновляемых источников энергии [5].

Таким образом, развитие автодорожной сети в зоне распространения вечной мерзлоты является стратегически важной задачей освоения ресурсного потенциала региона и обеспечения его транспортной связанностью. Однако реализация инфраструктурных проектов в условиях криолитозоны сопряжена с серьезными геотехническими рисками, обусловленными высокой чувствительностью мерзлых грунтов к техногенным и климатическим воздействиям. Только системный подход к геотехнической защите позволит обеспечить надежную эксплуатацию дорог и снизить колоссальные затраты на их ремонт и содержание.

Список источников

1. Гречнева Г. И., Акимова В. С. Проектирование насыпи земляного полотна в зоне вечной мерзлоты. Омск : Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, 2018. 80 с.
2. Забродина И. П., Капустин В. В. Влияние температурно-влажностного режима на морозобойное растрескивание земляного полотна автомобильных дорог в Южном Забайкалье // Аспирант. Приложение к журналу Вестник Забайкальского государственного университета. 2011. № 1. С. 103–111.
3. Глобальное потепление и состояние вечной мерзлоты в России / А. В. Брушков [и др.] // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 2024. № 6. С. 4–11.
4. Чудинов С. А. Проектирование и строительство автомобильных дорог в сложных природных условиях. Екатеринбург : УГЛТУ, 2022. 96 с.
5. Permafrost thermal stabilization using renewable energy sources / E. Loktionov [et al.] // 12th International Conference on Permafrost. 2024. С. 232–239.