

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Научная статья

УДК 551.345:625.731.2

DOI: 10.70991/1815-896X-2026-1-55-09-32

EDN: OBSITO



АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К ВЫСОТЕ НАСЫПИ
НА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

Александр Михайлович Кулижников¹✉

¹Российский дорожный научно-исследовательский институт
(ФАУ «РОСДОРНИИ»), Москва, Россия

¹KulizhnikovAM@rosdornii.ru✉

SPIN-код: 4947-3551, AuthorID: 360467

Аннотация: В статье рассмотрены вопросы повышения надежности автомобильных дорог на многолетнемерзлых грунтах (ММГ) на основе дифференцированного выбора подходов и принципов проектирования насыпей. Выполнен анализ нормативно-технической документации. Рассмотрены факторы, влияющие на назначение высоты насыпи автомобильных дорог. Изучены результаты наблюдений за техническим состоянием участков автомобильных дорог и глубиной оттаивания дорожных конструкций на мониторинговых постах наблюдений при разных высотах насыпей. Определены предварительные направления исследований по совершенствованию методики расчета, проведения обследований и подготовки нормативно-технической документации, касающейся определения руководящих отметок при проектировании земляного полотна.

Ключевые слова: многолетнемерзлые грунты, принцип проектирования, высота насыпи, мониторинговый пост, глубина оттаивания, расчет, нормативно-техническая документация, руководящая отметка, устойчивость, снегонезаносимость.

Для цитирования: Кулижников А.М. Анализ требований к высоте насыпи на многолетнемерзлых грунтах // Дороги и мосты. 2026. № 55/1. С. 09-32. DOI: 10.70991/1815-896X-2026-1-55-09-32.

ROAD DESIGN AND CONSTRUCTION

Original article

**ANALYSIS OF THE REQUIREMENTS FOR EMBANKMENT
HEIGHT ON PERMAFROST SOILS**

Alexander M. Kulizhnikov¹✉

¹Russian Road Scientific Research Institute (FAI «ROSDORNII»),
Moscow, Russia

¹KulizhnikovAM@rosdornii.ru✉

SPIN: 4947-3551, AuthorID: 360467

Abstract: *This article deals with the issues of improving the reliability of roads on permafrost soils based on a differentiated selection of approaches and principles for embankment design. An analysis of regulatory and technical documentation has been carried out. The factors influencing the road embankment heights assignment have been considered. The observations results of the technical condition of road sections and the thaw depth of road structures at monitoring posts at different embankment heights have been analyzed. Preliminary research directions to improve the calculation methodology, conduct surveys, and prepare regulatory and technical documentation related to the determination of guideline elevation points when subgrade designing have been identified.*

Keywords: *permafrost soils, design principle, embankment height, monitoring post, thaw depth, calculation, regulatory and technical documentation, guideline elevation point, stability, snow drift resistance.*

For citation: **Kulizhnikov A.M.** Analysis of the requirements for embankment height on permafrost soils // Roads and Bridges. – 2026; (55/1): 9-32 (In Russ.). DOI: 10.70991/1815-896X-2026-1-55-09-32.

ВВЕДЕНИЕ

Освоение Арктики является одним из приоритетных направлений научно-технологического развития России согласно Указу

Президента от 28.02.2024 № 145 «О стратегии научно-технологического развития Российской Федерации». В соответствии с Поручением Президента Российской Федерации от 27 марта 2025 года № Пр-1079 разработан и утвержден комплексный план мероприятий по адаптации инфраструктуры Арктической зоны к процессам таяния многолетней мерзлоты.

Согласно перечисленным документам в Российской Федерации продолжается активное освоение Арктической зоны. Возведение автомобильных дорог в данном регионе сопряжено со значительными трудностями, обусловленными комплексом природно-климатических факторов, значительной удаленностью территорий от промышленных и экономических центров, а также многообразием и сложностью инженерно-геологических, гидрогеологических и мерзлотных условий. В таких условиях крайне сложно поддерживать надежность дорожных конструкций при эксплуатации, поскольку процессы тепломассообмена провоцируют развитие специфических криогенных преобразований, связанных с деградацией многолетнемерзлых пород, формированием таликов, пластическими деформациями слабых водонасыщенных льдистых мерзлых грунтов, что проявляется в виде деформаций, просадок основания и размывов земляного полотна. Помимо этого, для районов распространения многолетнемерзлых грунтов (ММГ) наблюдается дефицит местных качественных дорожно-строительных материалов, а также преобладание в основании насыпей высокольдистых, просадочных, пучинистых, слабых и переувлажненных грунтов.

Одним из важных вопросов повышения надежности автомобильных дорог является назначение высоты насыпи, при которой при эксплуатации обеспечивается устойчивость дорожных конструкций на ММГ.

Актуальность

По данным С.М. Ждановой и П.И. Дыдышко [1], при проектировании земляного полотна Байкало-Амурской магистрали на участке *Тунгала – Джамку*, запроектированного по II принципу, допускающему оттаивание основания в период эксплуатации железной дороги, высота насыпи назначалась из условия минимального протаивания ММГ и составляла 2,0-4,0 м. Под низкими насыпями высотой менее 1,5 м назначалась вырезка слабых грунтов на глубину не менее 1,0 м.

Аналогично на участке Тунгала – Февральск земляное полотно представлено в основном насыпями высотой 2...3 м [1].

Китайские специалисты, изучая мерзлотные процессы на железной дороге *Голмуд – Лхаса*, выявили зависимость интенсивности комплекса опасных процессов от высоты насыпи и экспозиции ее склонов (рис. 1) [2, 3]. В течение первых 30 лет эксплуатации максимальное суммарное количество участков железных дорог от 40 до 50 с продольными трещинами и трещинами на откосах, продольными просадками и эрозией грунтов были зафиксированы на южной стороне склонов при высотах насыпей более 3 м и в диапазоне от 2,5 до 3,5 м; в то время как количество участков с указанными деформациями было в 2 раза меньше, чем при тех же высотах насыпей на северных склонах. При высотах насыпей до 0,5 м перечисленные деформации вообще не имели место, одновременно при насыпях высотой от 0,5 до 1,5 м были зафиксированы единичные участки с деформациями, причем независимо от экспозиции склона.

Опыт выполнения автором данной статьи изыскательских (в том числе георадарных обследований) работ в начале 2000 годов на участках автомобильных дорог в Мурманской области, на территории дорожно-климатической зоны (ДКЗ) I₃ с островной мерзлотой показал, что до реконструкции участок автомобильной дороги *Кола – Верхне-Тулумский – Госграница* успешно эксплуатировался в нулевых отметках (насыпи высотой до 1 м). После выполнения реконструкции высота насыпи увеличилась до 2,5 – 3,0 м, и при эксплуатации данного участка дороги начались продольные просадки на покрытии (рис. 2) [4]. В то время как дороги, построенные еще финнами в начале XX века, проходили в нулевых отметках с гравийно-песчаным покрытием и не подвергались просадкам.

По результатам исследований Пшеничниковой Е.С. [5], проектировать земляное полотно следует, если позволяет рельеф, в низких насыпях (т.е. по условию снегонезаносимости), при этом рекомендуется применять геосинтетические материалы для обеспечения его устойчивости.

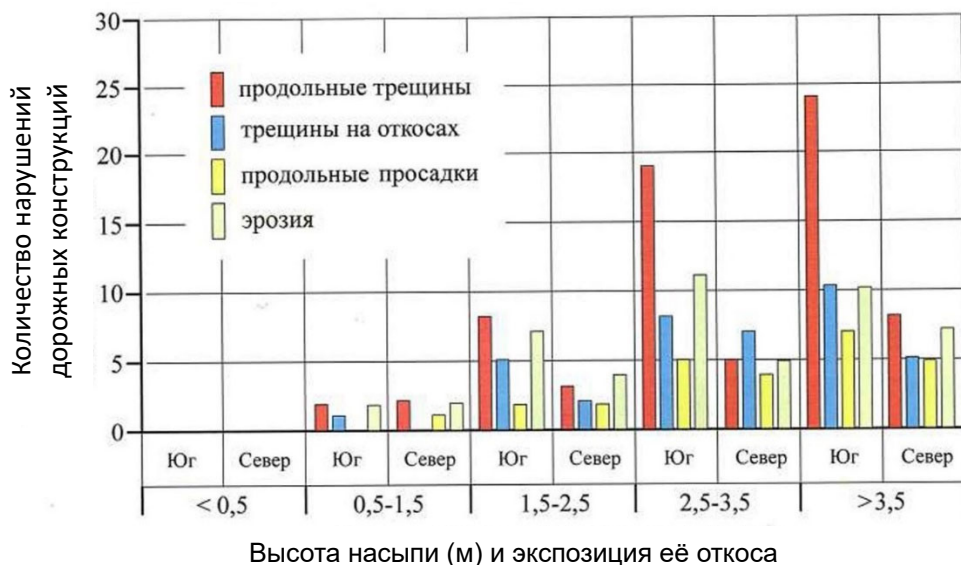


Рис. 1. Зависимость количества дефектов дорожных конструкций от высоты насыпи и экспозиции откосов в течение первых 30 лет эксплуатации железной дороги «Голмуд – Лхаса», построенной на многолетнемерзлых грунтах [2, 3]

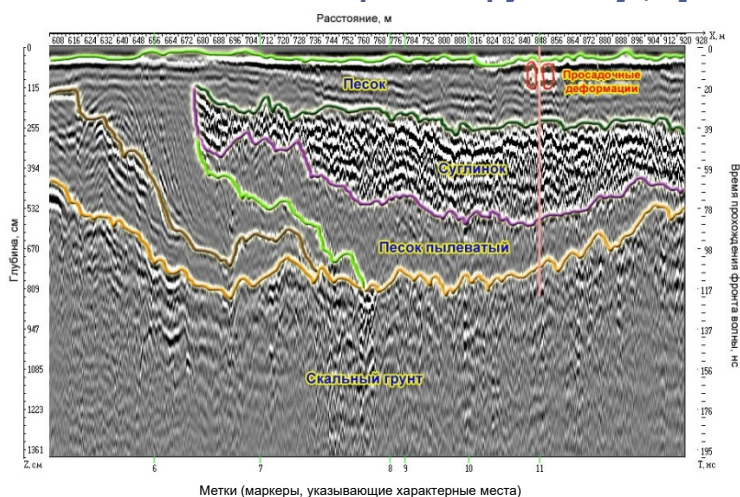


Рис. 2. Интерпретированная радарограмма продольного разреза земляного полотна и подстилающего основания участка автомобильной дороги Кола – Верхне-Тулумский – Госграница с выделенным отрезком с просадочными деформациями

Широко известным и распространенным способом снижения высоты насыпи является проектирование земляного полотна с устройством теплоизолирующих слоев в его основании для предотвращения оттаивания ММГ.

Согласно докладу Романова А.В. [6], результаты эксплуатации автомобильной дороги Р-297 «Амур» показали, что *«высокая дорожная насыпь и покрытие оказывают тепляющее воздействие на мерзлые грунты основания (за счет летнего нагрева южных склонов и черного покрытия)»*.

В то же время результаты полевых наблюдений Омского филиала СоюздорНИИ [7] за влажностью грунтов земляного полотна автомобильных дорог на многолетнемерзлых грунтах свидетельствуют, что при высоте насыпи 1,1 м среднее значение влажности пылеватых суглинков на $(0,1-0,2)W_{\text{тек}}$ больше средней влажности аналогичного грунта в насыпи высотой 1,6 м. Данные результаты показывают, что прочность грунта низких насыпей меньше чем высоких из-за большой влажности, при этом нагрузка на основание от высоких насыпей выше, чем у низких.

В статье Бердина Е.А. и Дубенкова А.А. [8] на основе проведенных исследований на участке автомобильной дороги Р-297 «Амур» Чита – Хабаровск в Забайкальском крае в ДКЗ I₃ рекомендовано при II принципе проектирования предусматривать толщину отсыпки насыпей с сезонно оттаивающим грунтом высотой не более глубины промерзания. В противном случае происходит искусственное (строительное) создание несливающейся мерзлоты, что хорошо согласуется с рекомендациями в основополагающих работах прошлого века [7, 9].

Возникает два противоположных подхода к проектированию: с одной стороны, насыпи в нулевых отметках, которые не защищают основания от растепления, однако имеют меньше дефектов и просадок на поверхности покрытий, с другой стороны, высокие снегонезаносимые насыпи, которые защищают основания от растепления и имеют большое количество дефектов и просадок.

Цели и задачи исследований

Цель данной статьи – повышение надежности автомобильных дорог на ММГ на основе дифференцированного выбора подходов и принципов проектирования насыпей, возводимых из распространенных дорожно-строительных материалов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выполнить анализ нормативно-технической документации, подходов и факторов, влияющих на назначение высоты насыпи автомобильных дорог на ММГ;
- проанализировать результаты технического состояния участков автомобильных дорог и глубины оттаивания дорожных конструкций на мониторинговых постах наблюдений в зависимости от высоты насыпи;
- выявить направления исследований по совершенствованию методики расчета, проведению обследований и подготовки нормативно-технической документации, касающейся определения руководящих отметок земляного полотна на ММГ.

Анализ нормативно-технической документации

На современном этапе действующий перечень нормативно-технической документации применительно определения высоты насыпи и проведения мониторинговых наблюдений включает ряд основных документов, указанных ниже.

Согласно ГОСТ 33149-2014 [10], а также [7, 9], для обеспечения устойчивости земляного полотна на ММГ применяют три принципа проектирования:

- *первый* (сохранение ММГ в основании земляного полотна в течение периода эксплуатации дороги);
- *второй* (обеспечение допустимых деформаций при частичном оттаивании мерзлого грунта в основании земляного полотна на глубину, определяемую расчетом);
- *третий* (оттаивание мерзлого грунта основания под насыпью до начала строительства на глубину, на которой талые грунты уже не влияют на работу земляного полотна; подготовка дорожной полосы, включая ее осушение).

При назначении принципа проектирования необходимо учитывать много факторов, таких как подзона дорожно-климатической зоны, рельеф, тип местности по увлажнению, свойства ММГ (в том числе их тип, криогенные связи, влажность, льдистость, просадочность, коэффициент пучения и т.д.), период выполнения и стадийность строительных работ, содержание дорог и прочие.

Требования к назначению высоты насыпи детально рассмотрены только в СП 313.1325800.2017 [11], который, исходя из ответственности к методике расчета отмененного ВСН 84-89

«Изыскания, проектирование и строительство автомобильных дорог в условиях вечной мерзлоты», предусматривает в общем случае минимальную высоту насыпи определять по условиям оттаивания на основе результатов расчетов устойчивости, прочности и снегонезаносимости, а окончательно принимать высоту насыпи, удовлетворяющую указанным требованиям (с учетом новых изменений к СП 313.1325800.2017 [11]).

В соответствии с требованиями СП 313.1325800.2017 [11] для сооружения земляного полотна необходимо использовать скальные, крупнообломочные, песчаные и глинистые грунты. Предпочтение отдается грунтам, находящимся в талом состоянии. При применении глинистых грунтов предусматривается устройство берм с нагорной стороны или соответствующее заложение откоса с его укреплением.

Высота насыпи по условиям устойчивости (прочности). Согласно СП 313.1325800.2017 [11], устойчивость насыпи обеспечивается ее высотой, при которой верхняя граница ММГ будет сохраняться в критический по балансу тепла год не более одного раза в 11 лет на требуемой (допустимой) глубине и осадка насыпи при этом в оттаявшие грунты основания не будет превосходить допустимой величины.

Наряду с этим при I принципе проектирования, когда высоту насыпи определяют из расчетной глубины оттаивания [7] и когда осадка в процессе эксплуатации автомобильной дороги не допускается, с учетом изменения климата в сторону потепления, на автомобильных дорогах, запроектированных ранее по I принципу, чаще всего в последние годы наблюдается оттаивание основания насыпи, а также фиксируется осадка дорожных конструкций.

При II принципе проектирования высота насыпи должна быть равна глубине сезонного оттаивания дорожной конструкции, включающей земляное полотно и дорожную одежду, при этом предусматривается проверка на допускаемую величину осадки насыпи [11]. Так как дорожная конструкция чаще всего состоит из разных материалов и грунтов, отличающихся теплофизическими характеристиками, то расчет глубины сезонного оттаивания выполняется по методике [11] послойно с учетом расчетной влажности и интенсивности оттаивания материалов и грунтов. В то же время используется одна и та же методика расчета как для широкого земляного полотна автомобильных дорог, так и для относительно

узкого земляного полотна железных дорог, а также фундаментов зданий промышленного и гражданского строительства.

Следует отметить, что в отличие от расчета глубины промерзания, как наиболее известного метода, расчет глубины оттаивания является обратной задачей и имеет свои особенности. В настоящее время глубина оттаивания определяется по методике [11] с отсылкой на методикку СП 25.13330.2020 [12], которая основывается на данных натуральных наблюдений за максимальной глубиной сезонного оттаивания, температурой поверхности грунта в летний период, продолжительностью летнего периода, температурой воздуха за период положительных температур, продолжительностью периода положительных температур, а также полученными метеоданными и т.д.

Известен и полуэмпирический способ определения глубины оттаивания с использованием схематических карт глубин сезонного оттаивания ММГ с учетом поправочных коэффициентов, учитывающих влажность грунтов [7], одновременно могут использоваться и результаты инженерных изысканий в период максимального оттаивания грунтов [7].

Вышеперечисленные способы определения глубины оттаивания дорожных конструкций либо базируются на результатах натуральных наблюдений, которых за короткий период инженерных изысканий бывает недостаточно, либо – на использовании схематических карт сезонного оттаивания ММГ, которые не учитывают специфику автомобильных дорог (возвышающаяся насыпь над поверхностью земли).

Следует отметить, что методиками расчета в вышеупомянутых документах [7, 11, 12] не учитываются в должной степени влияние фазовых переходов влаги в грунтах при расчетах глубины промерзания и оттаивания, а также некоторое увеличение глубины оттаивания с годами эксплуатации автомобильной дороги. При этом, по результатам расчетов М.В. Пановой [13], процесс оттаивания продолжается и при отрицательной температуре воздуха и происходит за счет аккумуляции тепла слоем грунта, оттаявшего в летний период. Оттаивание нижней части насыпи из суглинистого грунта высотой 1 м заканчивается 5 ноября; высотой 2 м – 4 декабря; высотой 3 м – 8 января [13].

Высота насыпи из условий снегонезаносимости определяется по методике [11] с учетом высоты снежного покрова на ближайшей метеостанции, коэффициента, коррелирующего

высоту снежного покрова, с учетом его положения на трассе, нормативного возвышения насыпи над снежным покровом.

Кроме того, указано, что максимальная высота насыпи из двух условий устойчивости (прочности) и снегонезаносимости принимается к проектированию и является руководящей отметкой.

ОДМ 218.2.094-2018 [14] в отличие от СП 313.1325800.2017 [11] предусматривает при проектировании земляного полотна изменять местные талые и мерзлые переувлажненные глинистые и торфяные грунты. При этом высоту насыпи определяют на основе расчетов на устойчивость, прочность и снегонезаносимость.

При I принципе проектирования для минимальной высоты насыпи (назначенной из условия снегонезаносимости) рассчитывают глубину протаивания дорожной конструкции и грунта основания для конкретных условий и определяют фактическое положение верхней границы ММГ (ВГММГ). Если расчетная ВГММГ занимает положение ниже подошвы насыпи, необходимо либо увеличить высоту насыпи до значений по теплотехническому расчету, либо при минимальной высоте насыпи использовать теплоизолирующие и геотекстильные армирующие прослойки в конструктивных слоях насыпи и ее основании.

При II принципе проектирования методика расчета получила развитие путем сравнения осадки насыпи, рассчитанной по условиям устойчивости (прочности) и снегонезаносимости. Для насыпи минимальной высотой по снегонезаносимости сравнивают величину расчетной осадки насыпи с допустимой. В случае несоответствия требуемому критерию необходимо вносить изменения в конструкцию насыпи (уполаживание откосов, устройство берм, использование теплоизолирующих и геосинтетических армирующих прослоек и другие мероприятия).

ОДМ 218.2.095-2019 [15] при назначении высоты насыпи предусматривает выполнение условия обеспечения тепловой устойчивости вечной мерзлоты в основании насыпи:

отношение $H_{пр} / H_{от}$ должно быть больше или равно 1,1-1,3, где

$H_{пр}$ – расчетная глубина промерзания многослойной конструкции, м;

$H_{от}$ – расчетная глубина оттаивания многослойной конструкции, м.

Анализ нормативно-технической документации показывает, что не существует единого подхода к назначению высоты насыпи,

а также наблюдается значительная зависимость высоты насыпи от принципа проектирования, грунтов земляного полотна и применяемых способов защиты оснований от растепления.

В соответствии с СП 447.1325800.2024 [16] сооружения железной дороги, расположенные во всех подзонах на льдистых основаниях II, III и IV типов, согласно классификации СП 119.13330.2024 (табл. 1) [17], проектируют в основном по I принципу, на основаниях 1 типа по просадочности грунтов – по II принципу.

Земляное полотно железных дорог в районах распространения многолетнемерзлых грунтов проектируют из условий обеспечения прочности и устойчивости, а также стабильности положения верхнего строения пути в плане и профиле [16].

Результаты исследований на участках автомобильных дорог на мониторинговых постах наблюдений

В целях рассмотрения влияния высоты насыпи на состояние автомобильных дорог были рассмотрены результаты наблюдений, выполненные сотрудниками головного предприятия ФАУ «РОСДОРНИИ» и его Сибирского филиала в 2025 г. на стационарных мониторинговых постах на сети федеральных автомобильных дорог [18]: пост № 1 – на автомобильной дороге «Амур» Р-297; пост № 2 – «Лена» А-360; посты № 3-4 – «Вилюй» А-331 и, наконец, посты № 5-7 – «Колыма» Р-504, которые оборудованы в соответствии с ОДМ 218.11.007-2023 [19]. На посту № 6 результаты отсутствуют по техническим причинам [18].

В табл. 1 приведены данные, представленные владельцами дорог, взятые из отчетов по инженерным изысканиям и по справочным нормативным источникам.

Дорожные конструкции, по данным Федеральных казенных учреждений, за которыми закреплены посты наблюдений, практически не отличаются друг от друга; они отсыпаны преимущественно из дренирующих материалов, исключение составляют дорожные конструкции на посту № 1, где дополнительно устроены с двух сторон земляного полотна охлаждающие бермы из каменных материалов.

Кроме того, выполнен анализ влияния высоты насыпи, запроектированной по II принципу, на состояние дорожных конструкций на основе результатов исследований ФАУ «РОСДОРНИИ» в 2025 г. (табл. 2) [18].

Таблица 1

Сопоставительные показатели по постам наблюдений

№ поста	Принцип проектирования	ДКЗ/Подзона	Категория автомобильной дороги	Тип дорожной одежды	Материал покрытия	Глубина оттаивания/средняя, м	Грунт земляного полотна
1	II	I-3	III	Капитальный	ЩМА-16	3,5-4,0/ 3,75	Песок, дресвяно-щебенистый грунт
2	I-II	I-2	III	Капитальный	а/б мелкозернистый тип Б, II марки	1,2-2,3/ 1,75	Дресвяный грунт с супесью
3	II	I-2	IV	Облегченный	а/б мелкозернистый тип Б, III марки	1,7-3,3/ 2,50	Песок мелкий
4	II	I-2	IV	Капитальный	а/б мелкозернистый тип Б, III марка	1,9-2,8/ 2,35	Песок средний
5	II	I-2	IV	Капитальный	а/б мелкозернистый тип Б, II марка	1,5-2,2/ 1,85	Песок, (рабочий слой), суглинок (супесь)
6	I-II	I-2	IV	Переходный	ЩПГС	-	-
7	II	I-3	II	Капитальный	ЩМА-15	0,5-3,6/ 2,05	Песок крупный, гравийный грунт

Таблица 2

**Оценка состояния участков дорог в 2025 г.
на постах наблюдений**

№ поста	Вид ремонтных работ, год выполнения	Средняя высота насыпи, м	Пределы изменения высоты насыпи, м	Оценка покрытия по ОДМ 218.4.039-2018 [20] (осень 2025 г.)		Количество видов дефектов по ОДМ 218.4.039-2018 [20]
				диапазон, средняя	общая	
1	Реконструкция и капитальный ремонт не проводились	5,26	2,19-8,48	1,2-4,5 Ср. 2,85	<2,5	7
2	Реконструкция и капитальный ремонт не проводились	1,80	0,33-2,40	2,9-3,2 Ср.3,05	< 3,5	3
3	Капитальный ремонт 2018	1,40	0,01-2,51	1,2-3,5 Ср.2,35	< 2,5	8
4	Ремонт 2017	1,27	0,59-1,89	1,2-2,9 Ср.2,05	< 2,5	5
5	Капитальный ремонт 2022	3,08	0,92-7,02	2,3-3,6 Ср.2,95	< 2,5	4
6	-	1,34	0,33-2,81	-	-	-
7	Капитальный ремонт 2019	2,91	1,26-4,64	1,2-3,3 Ср.2.2	< 2,5	6

При этом средняя высота насыпи на участке поста протяженностью 0,5 км составляла на посту № 2 – 1,80 м (средняя высота), на постах № 3 и № 4 – соответственно 1,40 и 1,27 м (малая высота) и на посту № 5 – 3,08 м (большая высота). При малой и средних высотах насыпи глубина сезонного оттаивания превысила среднюю высоту насыпи более чем на 0,9 м; максимальное превышение достигло более 2,0 м. Таким образом, можно заключить о возможном существовании надмерзлотного уровня подземных вод в основании насыпи.

Анализ количества дефектов по оценке состояния покрытия по ОДМ 218.4.039-2018 [20] перед началом промерзания осенью 2025 г. показал, что при малых высотах насыпей: при 1,27 м наблюдалось 5 видов дефектов и при 1,40 м зафиксировано 8 видов дефектов; при средней высоте насыпи 1,8 м было выявлено только 3 вида дефектов

(центральная и частые поперечные трещины через 2-4 м); при высокой высоте насыпи 3,08 м, где капитальный ремонт был проведен 3 года назад, обнаружено 4 вида дефектов (продольные центральная и боковая трещины, редкие поперечные трещины через 4-6 м и сетка трещин площадью 10-30 % на участке длиной 10 м) [18]. При этом самая высокая балльная оценка была получена на посту № 2 при средней высоте насыпи.

Результаты наблюдений на постах № 1 и № 7 в ДКЗ I₃ при высоких насыпях, средней высотой от 2,91 м до 5,26 м, свидетельствуют, что количество выявленных дефектов составляет 6-7, что хуже, чем на постах № 2 - № 5 в ДКЗ I₂. Казалось бы высокая насыпь предотвращает оттаивание основания насыпи, в то же время может создавать несливающуюся мерзлоту, способствующую снижению прочности за счет появления надмерзлотных вод в нижних слоях земляного полотна и основания насыпи, что с годами может обусловить увеличение глубины протаивания.

Анализ средней высоты насыпи и пределов изменения высоты насыпи (**табл. 2, 3-4 столбцы**) на протяжении 0,5 км каждого мониторингового поста свидетельствует, что руководящая отметка даже на таких коротких участках не выдерживается. Причиной может являться пересеченная местность, что не позволяет запроектировать высоту насыпи с руководящей отметкой по условиям устойчивости (прочности) и снегонезаносимости, тем самым влияя на обеспечение нормативных сроков службы дорожных конструкций.

Наряду с этим было проанализировано влияние высоты насыпи, запроектированной по II принципу, на глубину оттаивания дорожных конструкций (**табл. 3**). Для сравнения наибольший интерес представляют полученные результаты на постах наблюдений № 2-5, которые имеют одинаковую среднегодовую температуру воздуха и территориально размещены близко друг к другу в ДКЗ I, во 2 подзоне (**табл. 3**).

Оценка полученных результатов (**табл. 3**) [18] по постам № 2-5 показывает, что глубина оттаивания в 2025 г. дорожных конструкций опустилась ниже поверхности земли на 0,38-2,74 м, при этом минимальное значение зафиксировано при высоте насыпи 1,87 м (пост наблюдений – № 2), максимальное – при высоте насыпи 0,01 м (пост наблюдений – № 3). Оттаивание на глубину 0,38-2,74 м может свидетельствовать о существенной осадке насыпи, которая может превышать допустимые значения, составляющие в зависимости от типа покрытия дорожной одежды на мониторинговых постах от 4 до 10 см [11].

Одновременно следует отметить, что на всех постах наблюдений глубина оттаивания дорожных конструкций опустилась в основание земляного полотна, ниже поверхности земли. Даже насыпь с охлаждающими бермами высотой 4,16 м (пост наблюдений – № 1) в 2025 г. не обеспечила

сохранение основания насыпи в мерзлом состоянии, так как глубина его оттаивания составила 0,09 м.

Сравнение данных в **табл. 1** и **3** свидетельствует, что глубина оттаивания на протяжении периода эксплуатации автомобильных дорог может увеличиваться (посты № 1,3 и 4), так как с просадками повышается влажность грунтов в нижней оттаивающей части.

Представленные данные в **табл. 3** согласуются с результатами исследований на железных дорогах, на которых под основанием земляного полотна грунты могут оттаивать на глубину, превышающую нормативное значение [21].

Предварительные направления совершенствования методики расчета, проведения обследований и подготовки нормативно-технической документации

Таким образом, полученные результаты несколько расходятся с китайскими исследованиями. По данным Хрусталева Л.Н. [22], *«влияние земляного полотна на грунты основания во многом зависит от геометрических параметров земляного полотна – соотношения ширины основной площадки и длины откосов: низкие насыпи, чаще всего, оказывают охлаждающее влияние на грунты основания, а высокие – тепляющее. Охлаждение приводит к многолетнему промерзанию талых грунтов основания и их пучению, отепление – к многолетнему оттаиванию мерзлых грунтов и осадкам верхнего строения пути»*. Однако можно сразу отметить, что совершенствование дорожных конструкций по пути высоких насыпей малоэффективно.

Очевидно, на участках автомобильных дорог в ДКЗ I₂, запроектированных по II принципу, при малой и большой высоте насыпи, получены наихудшие результаты, а при средней оптимальной высоте насыпи наблюдается лучшее состояние участка автомобильной дороги. Речь идет о poste № 2 на автомобильной дороге «Лена», Невер-Якутск, А-360 III категории, интенсивность движения по данным СКДФ – 1420 авт./сут., с капитальным типом покрытия, с земляным полотном, возведенном из дресвяных грунтов с супесью. Грунты основания земляного полотна представляют собой: суглинок легкий пылеватый, мягкопластичный, слабобльдистый с примесью органических веществ; супесь пылеватую слабобльдистую и льдистую с примесью органических веществ.

Многолетнемерзлые грунты – твердомерзлые слабобльдистые и льдистые. Категория просадочности грунтов – I-II. Глубина оттаивания на данном посту зафиксирована минимальная – на 0,38 м ниже поверхности земли. Результаты данных исследований необходимо использовать при ежегодном многолетнем детальном анализе и совершенствовании методики назначения высоты насыпи автомобильных дорог на ММГ по СП 313.1325800.2017 [11].

Таблица 3

**Анализ глубины оттаивания в 2025 г.
на постах наблюдений участков автомобильных дорог**

№ поста	Средне-годовая температура воздуха, град. С	Высота насыпи в середине участка, м	Глубина оттаивания, м		Грунт основания земляного полотна
			от поверхности дорожной одежды	от поверхности земли	
1	-2,7	4,16	4,25	0,09	Суглинок легкий песчанистый с включением дресвы, полутвердый, мерзлый; песок крупный мерзлый, льдистый при оттаивании водонасыщенный
2	-8,5	1,87	2,25	0,38	Суглинок легкий пылеватый мягкопластичный, слабодистый с примесью органических веществ; супесь пылеватая слабодистая и льдистая с примесью органических веществ
3	-10,2	0,01	2,75	2,74	Суглинок легкий пылеватый, слабодистый, твердотвердый; песок мелкий пылеватый, слабодистый твердомерзлый
4	-11,2	1,30	3,25	1,95	Песок мелкий, однородный, нелдистый, маловлажный; суглинок твердомерзлый, льдистый (слабодистый), текучепластичный с примесью органических веществ; повторно жильный лед
5	-11,5	1,00	1,60	0,60	Суглинок слабозаторфованный, твердой консистенции; суглинок с примесью органики, твердомерзлый, льдистый
6	-11,4	0,42	3,7	3,28	-
7	-3,5	1,26	1,75	0,49	Гравелистый грунт мерзлый; суглинок мерзлый песчанистый льдистый; песок гравелистый мерзлый, льдистый; ледогрунт пористый с включением гравия

Методика послойного расчета глубины оттаивания по СП 313.1325800.2017 [11] недостаточно учитывает специфику автомобильных дорог (возвышающаяся насыпь над поверхностью земли), физику процессов промерзания и оттаивания дорожных конструкций (сверху, справа и слева с учетом ориентации склонов, а также поток холода снизу от ММГ), геометрические параметры земляного полотна, учет влияния фазовых переходов влаги в грунтах, увеличение глубины оттаивания на протяжении периода эксплуатации автомобильной дороги.

Рассматривая требования к высоте насыпи по СП 313.1325800.2017 [11] из двух условий устойчивости (прочности) и снегонезаносимости, рекомендуется принимать к проектированию высоту насыпи (руководящую отметку) из условий устойчивости даже в тех случаях, когда высота насыпи по условиям снегонезаносимости (на практике, высота насыпи по условиям снегонезаносимости меньше, чем по условиям устойчивости) будет несколько больше, так как необходимо избежать искусственного создания несливающейся мерзлоты, а также снижения устойчивости земляного полотна. В этих редких случаях обеспечение снегонезаносимости целесообразно гарантировать другими методами, например, установкой снегозадерживающих сооружений.

При проложении трассы рекомендуется по возможности выбирать участки с равнинным рельефом и обеспеченным поверхностным стоком, чтобы гарантировать минимальные отклонения от руководящей отметки земляного полотна, что существенным образом увеличит сроки службы дорожных конструкций даже в условиях потепления климата.

Одновременно важно отметить, что приведенные в статье анализ и выводы следует рассматривать как предварительные, поскольку они отражают результаты, полученные преимущественно по одному поперечнику, по одному году наблюдений, без выполнения значимой оценки ширины и состояния полосы отвода (наличие растительности (трава, мох), кустарника, деревьев (табл. 4), экспозиции склонов)), ширины земляного полотна в основании насыпи и заложения её откосов (табл. 5), работы системы поверхностного водоотвода.

Таблица 4

*Изменение глубины оттаивания грунтов в полосе отвода
в зависимости от типа поверхности [23]*

<i>Тип поверхности в полосе отвода</i>	<i>Глубина оттаивания, м</i>
Деревья, кустарник, трава, мох	0,9 ... 1,2
Трава и мох	1,5 ... 1,8
Трава без мха	2,4 ... 2,7

В табл. 5 по результатам исследований в 2025 г. приведен ранжированный ряд зависимости толщины деятельного слоя от ширины земляного полотна, который показывает, что с увеличением ширины земляного полотна в основании насыпи с 17,62 до 28,28 м уменьшается толщина деятельного слоя с 2,86 до 1,23 м.

Таблица 5

Ранжированный ряд зависимости толщины деятельного слоя от ширины земляного полотна

<i>№ поста</i>	<i>Ширина земляного полотна по низу, м</i>	<i>Толщина деятельного слоя, м</i>	<i>Среднегодовая температура воздуха, град. С</i>
7	28,28	1,23	-3,5
2	26,40	1,67	-8,5
5	19,24	2,25	-11,5
3	18,40	2,34	-10,2
6	18,04	-	-11,4
4	17,62	2,86	-11,2

Представляется целесообразным решать пространственную задачу методом 3D-моделирования по результатам наблюдений на 3-5 поперечниках по всей длине мониторингового поста и всей ширине полосы отвода, в том числе прогнозировать изменения и динамику глубины промерзания и глубины оттаивания, влажности (а также миграцию как поверхностных, так и подземных вод) грунтов; для этого по результатам обследований должны быть построены пространственные информационные модели рельефа, поверхности ММГ, кровли и подошвы каждого геологического слоя (в том числе наледи), уровня поверхностных вод (при наличии) и поверхности подземных вод [24].

Обладая информацией по положению многолетнемерзлых грунтов в пространстве на участке дороги по всей ширине полосы отвода, можно не только прогнозировать и управлять состоянием дороги в наиболее ослабленный период, но и при необходимости назначать и проводить предварительные работы (мероприятия) по предотвращению или уменьшению оттаивания грунтов основания и сохранению устойчивости грунтов земляного полотна.

Пространственное моделирование изменений водно-мерзлотного режима на проблемных участках автомобильных дорог (в том числе при различных конструктивных решениях по обеспечению устойчивости дорожных сооружений) с использованием полученных результатов на геотехнических мониторинговых постах может быть

выполнено при применении, например, программного комплекса Frost 3D Universal.

Необходимо также отметить недостаток информации в открытых источниках по результатам наблюдений за дорожными конструкциями при III принципе проектирования. В то же время анализ проектной документации по капитальному ремонту участков автомобильных дорог на постах наблюдений показал, что с использованием такой документации рекомендуется выполнять оттаивание мерзлого грунта и последующее осушение грунта основания насыпи. Такая позиция отражена и в докладе Романова А.В. [6], которым предлагается «на участках с незначительной мощностью ММГ применять при строительстве меры по принудительному оттаиванию основания». Исследования проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог, запроектированных по III принципу, как одному из наиболее перспективных, рекомендуется продолжить с разработкой недостающей актуальной на сегодняшний день нормативно-технической документации.

Важно подчеркнуть, что в настоящее время требуется дополнительно разработать нормативно-техническую документацию по развитию требований Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 014/2011 «Безопасность автомобильных дорог» применительно к проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог на ММГ с учетом специфики дорожных сооружений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При I принципе проектирования высота насыпи определяется из условия сохранения ММГ в основании земляного полотна и не допущения осадки насыпи в процессе эксплуатации автомобильной дороги. В то же время с каждым годом в условиях потепления климата это становится все сложнее и сложнее, так как увеличение высоты насыпи не дает ожидаемого эффекта, а чтобы отказаться от высоких насыпей требуется разработка целого ряда дополнительных дорожных мероприятий (теплоизолирующие, армирующие, распределяющие нагрузку слои, защитные навесы) для обеспечения устойчивости дорожных конструкций.

При II принципе проектирования для обеспечения допустимых деформаций при частичном оттаивании мерзлого грунта в основании земляного полотна на глубину, определяемую расчетом, необходим дифференцированный подход к назначению высоты насыпи. Обзор литературы и анализ наблюдений на мониторинговых постах показал, что лучшие результаты достигаются не при малых и высоких насыпях, а при насыпях, на которых сезонно оттаивающая высота насыпи не

превышает глубины промерзания, т.е. когда между ММГ и верхними замерзшими слоями насыпи отсутствует талая, насыщенная водой прослойка грунта. В то же время и в этом случае для обеспечения устойчивости земляного полотна требуются некоторые дополнительные мероприятия (например, армирующие и распределяющие нагрузку слои в нижней части насыпи, щебеночные сваи, стабилизация основания методом струйной цементации) во избежание превышения осадки насыпи в процессе эксплуатации.

Представляется целесообразным скорректировать методику послойного расчета глубины оттаивания дорожных конструкций на ММГ с учетом специфики автомобильных дорог, а именно геометрических параметров земляного полотна, оценки высоты насыпей и заложения ее откосов, влияния фазовых переходов влаги в грунтах при расчетах глубины промерзания и оттаивания, а также динамики увеличения глубины оттаивания на протяжении периода эксплуатации автомобильной дороги. При назначении руководящей отметки насыпи целесообразно исходить в первую очередь из условий устойчивости (прочности) земляного полотна.

Рекомендуется выполнение пространственного 3D-моделирования изменений водно-мерзлотного режима на участках автомобильных дорог (в том числе при различных конструктивных решениях по обеспечению устойчивости дорожных сооружений), с использованием полученных результатов на геотехнических мониторинговых постах.

Следует констатировать, что на сегодняшний день недостаточно информации по методике проектирования и строительства, а также результатам опытно-экспериментального строительства и состояния дорожных конструкций в процессе эксплуатации автомобильных дорог, запроектированных по III принципу.

В целях повышения надежности дорожных конструкций наблюдения на мониторинговых постах за техническим состоянием участков автомобильных дорог на ММГ будут продолжены для накопления информации по совершенствованию методики проектирования и нормативно-технической документации.

© Кулижников А.М., 2026

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Жданова, С.М. Усиление земляного полотна на оттаивающих вечномерзлых грунтах / С.М. Жданова, П.И. Дыдышко. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2005. – 135 с.*
2. *Харрис, С.А. Геокриология. Характеристики и использование вечной мерзлоты: [в 2 томах] / С.А. Харрис, А.В. Брушенков, Г. Чэн; под ред. А.В. Брушенкова. – Москва, Берлин: Директ-Медиа, 2020. – Том 2. – 364 с. – ISBN: 978-5-4499-1576-4. Текст: непосредственный.*

3. *Хименков, А.Н. Особенности инженерно-геокриологических условий природно-технических систем автомобильных дорог, эксплуатируемых на территории криолитозоны / А.Н. Хименков, А.П. Кулаков, Д.О. Сергеев // Инженерная геология. – 2024. – № 1. – С.59-73.*
4. *Кулижников, А.М. Обнаружение дефектов в грунте земляного полотна и назначение ремонтных работ на основании георадарных обследований / А.М. Кулижников, А.А.Белозеров, С.Н. Бурда // Архангельск. Георадары, дороги – 2002: материалы международной научно-практической конференции. – Архангельск: Изд-во АГТУ. 2002. – С.19-25.*
5. *Пшеничникова, Е.С. Укroщение деформаций. Проблемы проектирования автомобильных дорог в зоне вечной мерзлоты в современных условиях / Е.С. Пшеничникова. – Москва: ЦНИИС, 2011. – 46 с.*
6. *Романов А.В. Мероприятия, направленные на повышение устойчивости автомобильной дороги Р-297 «Амур», расположенной на территории распространения ММГ / А.В. Романов // Сб. докладов III Международного строительного форума «Арктика», 13-15 ноября 2024 г., Москва. – С. 127-131.*
7. *Земляное полотно автомобильных дорог в северных условиях; под редакцией А.А. Малышева. – Москва: Транспорт, 1974. – С.56-57.*
8. *Бердин, Е.А. Анализ причин сверхнормативных деформаций на автомобильных дорогах в условиях высокотемпературной мерзлоты (по результатам мониторинга автомобильной дороги «Амур») / Е.А. Бердин, А.А. Дубенков // Вестник СиБАДИ. – 2011. – № 3. – С. 48-51.*
9. *Автомобильные дороги севера; под ред. И.А. Золотаря. – Москва: Транспорт, 1981. – 247 с.*
10. *ГОСТ 33149-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Правила проектирования автомобильных дорог в сложных условиях. – М. ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2015. – 45 с.*
11. *СП 313.1325800.2017. Дороги автомобильные в районах вечной мерзлоты. Правила проектирования и строительства. – М. ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2018. – 77 с.*
12. *СП 25.13330.2020. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. СНиП 2.02.04-88. – URL: https://internet-law.ru/documents/prod/pravila/0/sp_25.html (дата обращения: 23.01.2026).*
13. *Панова М.В. Прогноз и учет температурного режима земляного полотна автомобильных дорог, построенного с использованием мерзлых грунтов в условиях Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Тюмень. 2000. – 22 с.*
14. *ОДМ 218.2.094-2018. Методические рекомендации по проектированию земляного полотна автомобильных дорог общего пользования из местных талых и мерзлых переувлажненных глинистых и торфяных грунтов в зонах распространения многолетнемерзлых грунтов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/550918191> (дата обращения: 23.01.2026).*
15. *ОДМ 218.2.095-2019. Методические рекомендации по проектированию земляного полотна на вечной мерзлоте с использованием местных грунтов (разработан в развитии ВСН 84-89 «Изыскания, проектирование и строительство автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты»). – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293727/4293727149.pdf> (дата обращения: 23.01.2026).*
16. *СП 447.1325800.2024. Железные дороги в районах вечной мерзлоты. Основные положения проектирования. – URL: https://internet-law.ru/documents/prod/metodika/0/sp_40260.html (дата обращения: 23.01.2026).*

17. СП 119.13330.2024 Свод правил. Железные дороги колеи 1520 мм. СНИП 32-01-95. – URL: https://www.minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/673/4vvpds2_sv1sfwbxr8p81i1f2h1uyr0v5/SP-119.pdf (дата обращения: 23.01.2026).
18. Отчет годовой «Обеспечение деятельности центрального аппарата Федерального дорожного агентства, а также подведомственных федеральных государственных учреждений» / Выполнен комплекс работ в рамках функционирования отраслевого центра компетенции по новым материалам и технологиям для строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог» по работе «Исследование состояния и динамики мерзлотных условий автомобильных дорог в криолитозоне (рук. В.П. Миронюк) // ФАУ «РОСДОРНИИ», 2025. – 294 с.
19. ОДМ 218.11.007-2023. Методические рекомендации по организации инженерно-геокриологического мониторинга и оборудованию инженерно-геокриологических мониторинговых стационарных постов в полосе отвода автомобильных дорог в криолитозоне. – URL: https://internet-law.ru/documents/prod/zadanie_forma/0/odm.html (дата обращения: 23.01.2026).
20. ОДМ 218.4.039-2018. Рекомендации по диагностике и оценке технического состояния автомобильных дорог. – URL: https://internet-law.ru/documents/prod/odm_otraslevoj-dorozhnyj-metodicheskij-dokument/0/odm_30262.html (дата обращения: 23.01.2026).
21. Юсупов, С.Н. Индивидуальное проектирование железнодорожных сооружений в районах распространения многолетнемерзлых грунтов / С.Н. Юсупов // Транспортное строительство. – 2013. – № 6. – С. 18-20.
22. Хрусталева, Л.Н. Основы геотехники в криолитозоне: учебник / Л.Н. Хрусталева. – Москва: Изд-во МГУ, 2005. – 544 с.
23. UFC 3-130-03: Runway and Road Design, Arctic and Subarctic Construction [Унифицированные критерии средств. Проектирование взлетно-посадочных полос и автомобильных дорог: Арктическое и субарктическое строительство] / United States of America. Department of defense, 2013. – Bibliogov. – 32 P.
24. Кулижников А.М. Георадары для пространственного «рентгена» арктических дорог // ДОРОГИ. Инновации в строительстве. – 2025. – № 129. – С. 60-64.

REFERENCES

1. Zhdanova, S.M. Usilenie zemlyanogo polotna na ottaivayushchih vechno-merzlyh gruntah / S.M. Zhdanova, P.I. Dydyshko. – Habarovsk: Izd-vo DVGUPS, 2005. – 135 s.
2. Harris, S.A. Geokriologiya. Harakteristiki i ispol'zovanie vechnoj merzloty: [v 2 tomah] / S.A. Harris, A.V. Brushenkov, G. Chen; pod red. A.V. Brushenkova. – Moskva, Berlin: Direkt-Media, 2020. – Tom 2. – 364 s. – ISBN: 978-5-4499-1576-4. Tekst: neposredstvennyj.
3. Himenkov, A.N. Osobennosti inzhenerno-geokriologicheskikh uslovij prirodno-tekhnicheskikh sistem avtomobil'nyh dorog, ekspluatiruemyh na territorii kriolitozony / A.N. Himenkov, A.P. Kulakov, D.O. Sergeev // Inzhenernaya geologiya. – 2024.– № 1. – S.59-73.
4. Kulizhnikov, A.M. Obnaruzhenie defektov v grunte zemlyanogo polotna i naznachenie remontnyh работ na osnovanii georadarnykh obsledovaniy / A.M. Kulizhnikov, A.A. Belozerov, S.N. Burda // Arhangel'sk. Georadary, dorogi – 2002: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Arhangel'sk: Izd-vo AGTU. 2002. – S.19-25.

5. Pshenichnikova, E.S. *Ukroshchenie deformacij. Problemy proektirovaniya avtomobil'nyh dorog v zone vечноj merzloty v sovremennyh usloviyah* / E.S. Pshenichnikova. – Moskva: CNIIS, 2011. – 46 s.
6. Romanov A.V. *Meropriyatiya, napravlennye na povyshenie ustojchivosti avtomobil'noj dorogi R-297 «Amur», raspolozhennoj na territorii rasprostraneniya MMG* / A.V. Romanov // *Sb. dokladov III Mezhdunarodnogo stroitel'nogo foruma «Arktika», 13-15 noyabrya 2024 g., Moskva.* – S. 127-131.
7. *Zemlyanoє polotno avtomobil'nyh dorog v severnyh usloviyah; pod redakciej A.A. Malysheva.* – Moskva: Transport, 1974. – S. 56-57.
8. Berdin, E.A. *Analiz prichin sverhnormativnyh deformacij na avtomobil'nyh dorogah v usloviyah vysokotemperaturnoj merzloty (po rezul'tatam monitoringa avtomobil'noj dorogi «Amur»)* / E.A. Berdin, A.A. Dubenkov // *Vestnik SibADI.* – 2011. – № 3. – S. 48-51.
9. *Avtomobil'nye dorogi severa; pod red. I.A. Zolotarya.* – Moskva: Transport, 1981. – 247 s.
10. *GOST 33149-2014. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Pravila proektirovaniya avtomobil'nyh dorog v slozhnyh usloviyah.* – M. FGUP «STANDARTINFORM», 2015. – 45 s.
11. *SP 313.1325800.2017. Dorogi avtomobil'nye v rajonah vечноj merzloty. Pravila proektirovaniya i stroitel'stva.* – M. FGUP «STANDARTINFORM», 2018. – 77 s.
12. *SP 25.13330.2020. Osnovaniya i fundamenty na vechnomerzlyh gruntah. SNiP 2.02.04-88.* – URL: <https://internet-law.ru/documents/prod/pravila/0/sp25.html> (data obrashcheniya: 23.01.2026).
13. *Panova M.V. Prognoz i uchet temperaturnogo rezhima zemlyanogo polotna avtomobil'nyh dorog, postroennogo s ispol'zovaniem merzlyh gruntov v usloviyah Zapadnoj Sibiri: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Tyumen'. 2000.* – 22 s.
14. *ODM 218.2.094-2018. Metodicheskie rekomendacii po proektirovaniyu zemlyanogo polotna avtomobil'nyh dorog obshchego pol'zovaniya iz mestnyh talyh i merzlyh pereuvlazhnennyh glinistyh i torfyanyh gruntov v zonah rasprostraneniya mnogoletnemerzlyh gruntov.* – URL: <https://docs.cntd.ru/document/550918191> (data obrashcheniya: 23.01.2026).
15. *ODM 218.2.095-2019. Metodicheskie rekomendacii po proektirovaniyu zemlyanogo polotna na vечноj merzlotte s ispol'zovaniem mestnyh gruntov (razrabotan v razvitie VSN 84-89 «Izyskaniya, proektirovanie i stroitel'stvo avtomobil'nyh dorog v rajonah vечноj merzloty»).* – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293727/4293727149.pdf> (data obrashcheniya: 23.01.2026).
16. *SP 447.1325800.2024. Zheleznye dorogi v rajonah vечноj merzloty. Osnovnye polozeniya proektirovaniya.* – URL: https://internet-law.ru/documents/prod/metodika/0/sp_40260.html (data obrashcheniya: 23.01.2026).
17. *SP 119.13330.2024 Svod pravil. Zheleznye dorogi kolei 1520 mm. SNiP 32-01-95.* – URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/673/4vvps2sv1sfwbxr8p811f2h1yyp0v5/SP-119.pdf> (data obrashcheniya: 23.01.2026).
18. *Otchet godovoj «Obespechenie deyatel'nosti central'nogo apparata Federal'nogo dorozhnogo agentstva, a takzhe podvedomstvennyh federal'nyh gosudarstvennyh uchrezhdenij» / Vypolnen kompleks rabot v ramkah funkcionirovaniya otraslevogo centra kompetencii po novym materialam i tekhnologiyam dlya stroitel'stva, remonta i soderzhaniya avtomobil'nyh dorog» po rabote «Issledovanie sostoyaniya i dinamiki merzlotnyh uslovij avtomobil'nyh dorog v kriolitozone (ruk. V.P. Mironyuk) // FAU «ROSDORNII», 2025.* – 294 s.
19. *ODM 218.11.007-2023. Metodicheskie rekomendacii po organizacii inzhenerno-geokriologicheskogo monitoringa i oborudovaniyu inzhenerno-geokriologicheskikh*

- monitoringovyh stacionarnykh postov v polose otvoda avtomobil'nykh dorog v kriolitozone. – URL: https://internet-law.ru/documents/prod/zadanie_forma/0/odm.html (data obrashcheniya: 23.01.2026).*
20. ODM 218.4.039-2018. Rekomendacii po diagnostike i ocenke tekhnicheskogo sostoyaniya avtomobil'nykh dorog. – URL: https://internet-law.ru/documents/prod/odm_otraslevoj-dorozhnyj-metodicheskij-dokument/0/odm_30262.html (data obrashcheniya: 23.01.2026).
 21. Yusupov, S.N. Individual'noe proektirovanie zheleznodorozhnykh sooruzhenij v rajonah rasprostraneniya mnogoletnemerzlykh gruntov / S.N. Yusupov // *Transportnoe stroitel'stvo*. – 2013. – № 6. – S. 18-20.
 22. Hrustalev, L.H. Osnovy geotekhniki v kriolitozone: uchebnik / L.H. Hrustalev. – Moskva: Izd-vo MGU, 2005. – 544 s.
 23. UFC 3-130-03: Runway and Road Design, Arctic and Subarctic Construction [Unificirovannye kriterii sredstv. Proektirovanie vzletno-posadochnykh polos i avtomobil'nykh dorog: Arkticheskoe i subarkticheskoe stroitel'stvo] / United States of America. Department of defense, 2013. – Bibliogov. – 32 P.
 24. Kulizhnikov A.M. Georadary dlya prostranstvennogo «rengena» arkticheskikh dorog // *DOROGL. Innovacii v stroitel'stve*. – 2025. – № 129. – S. 60-64.
-

Информация об авторе

А.М. Кулижников – доктор технических наук, профессор, заместитель начальника отдела методов проектирования, ФАУ «РОСДОРНИИ», Москва, Россия

Information about the author

A.M. Kulizhnikov – Doctor of Engineering, Professor, Deputy Head of the Design Methods Section, FAI «ROSDORNII», Moscow, Russia

Рецензенты: д-р техн. наук, профессор В.Н. Ефименко (Томский государственный архитектурно-строительный университет); канд. техн. наук, начальник управления перспективных методов исследований и испытаний С.А. Мирончук (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию 23.01.2026. Одобрена после рецензирования 24.03.2026. Принята к публикации 22.04.2026.

The article was submitted 23.01.2026. Approved after reviewing 24.03.2026. Accepted for publication 22.04.2026.