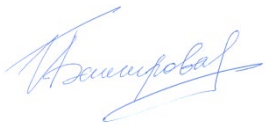
На правах рукописи



БАШИРОВА Ирина Андреевна

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ТЕРРИТОРИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В КРИОЛИТОЗОНЕ ПО ОДНОРОДНЫМ ПРИЗНАКАМ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА (НА ПРИМЕРЕ ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА)

Специальность 2.1.8. – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Омск – 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет», г. Томск.

Научный руководитель: **Ефименко Сергей Владимирович**
доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет», заведующий кафедрой «Автомобильные дороги» (г. Томск)

Официальные оппоненты: **Алексиков Сергей Васильевич**
доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет», заведующий кафедрой «Строительство и эксплуатация транспортных сооружений» (г. Волгоград)

Чахлов Михаил Геннадьевич
кандидат технических наук, Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирского государственного университета путей сообщения», доцент кафедры «Изыскания, проектирование и постройка железных и автомобильных дорог» (г. Новосибирск)

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук (г. Якутск)

Защита диссертации состоится «22» декабря 2026 г. в 14:00 час на заседании диссертационного совета 24.2.400.01 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)» по адресу: 644080, г. Омск, пр. Мира, 5, ауд. 2.318.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «СибАДИ» и на сайте университета по адресу: https://sibadi.org/about/units/institut-magistratury-i-aspirantury/studies/dissertations/68629/.

Отзывы на автореферат диссертации, в двух экземплярах с подписью, заверенной печатью учреждения, просим направлять в диссертационный совет по адресу: 644080, г. Омск, пр. Мира, 5. Тел. (3812) 65-03-23. Копию отзыва просим выслать на e-mail: sibadisemenova@yandex.ru.

Автореферат разослан «10» ноября 2026 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета
канд. техн. наук, доцент Семенова Татьяна Викторовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Пункт 13 Указа Президента РФ от 26.10.2020 г. № 645 «О стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» гласит о необходимости развития её транспортной инфраструктуры, для чего необходимо обеспечить качественное проектирование и строительство автомобильных дорог. Ямало-Ненецкий автономный округ (ЯНАО) является одним из десяти регионов, включенных в состав Арктической зоны Российской Федерации, и занимает 15,6 % от её общей площади. На территории округа добывают более 80 % природного газа от общей добычи в стране, что определяет его роль в экономическом отношении. Ямало-Ненецкий автономный округ отличается низкой развитостью и высокой специфичностью транспортной инфраструктуры. Существующая транспортная сеть распределена по территории округа неравномерно, и некоторые районы округа до сих пор имеют лишь авиационный и морской виды сообщения.

Согласно карте-схеме дорожно-климатического районирования, представленной в СП 34.13330.2021, Ямало-Ненецкий автономный округ расположен в I дорожно-климатической зоне. I ДКЗ по площади занимает более 60 % территории страны и является единым географическим целым. Практически вся Восточная Сибирь, северная часть Западной Сибири и северо-западные районы европейской части страны включены в зону распространения многолетнемёрзлых грунтов, но природно-климатические условия этих территорий отличны друг от друга, а очертания границ имеют ориентировочные формы. Примером, свидетельствующим о важности для дорожной отрасли проблемы качественного проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог, может служить заседание секции научно-технического совета Росавтодора № 4 «Стандартизация, повышение качества и внедрение новых технологий, техники и материалов» (декабрь 2024 года), на котором был рассмотрен вопрос «Рекомендации по дорожно-климатическому районированию территорий в зоне вечной мерзлоты (I дорожно-климатическая зона)». Подобное мероприятие подчеркивает актуальность обозначенной проблемы.

Действующие нормы проектирования, которые не в полной мере учитывают особенности природно-климатических условий отдельных регионов страны, включая Арктическую зону, провоцируют снижение качества проектирования, эксплуатационной надёжности транспортных сооружений и вызывают значительные затраты на проведение восстановительных работ. Решению рассматриваемой проблемы может способствовать детализация дорожно-климатического районирования территории, в частности территории ЯНАО – зоны распространения многолетнемёрзлых грунтов. Специалисты указывали на актуальность уточнения районирования «внутри самих зон» ещё в прошлом веке, однако

сложность решения этой задачи по-прежнему обусловлена низкой плотностью сети автомобильных дорог во вновь осваиваемых регионах, отсутствием стандартизированных методов назначения признаков разделения зон на подзоны и дорожные районы. Хотя примерные географические границы дорожно-климатических зон на карте-схеме СП 34.13330.2021 (приложение Б) отражают выделение подзон в I, II и III ДКЗ по величине значения расчётной влажности преобладающих грунтов земляного полотна, применяемой при расчётах дорожных одежд на прочность и морозоустойчивость.

Отдельные элементы диссертационной работы выполнены в рамках реализации проекта Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра мирового уровня (НОЦ) «Ресурсосберегающие материалы, конструкции и технологии для проектирования, строительства и эксплуатации инженерных сооружений в условиях Арктики и Сибири».

Степень разработанности темы исследования. В 1941 г. на основе работ академика Л.С. Берга А.В. Гербурт-Гейбович разработал первую карту-схему дорожно-климатического районирования СССР. На карте было выделено 6 зон и 16 подзон. После чего в 1944 г. С.Л. Бастамов и Л.А. Преферансова уточнили границы распространения подзон без изменения дорожных зон. Детализация границ дорожно-климатических зон на территории СССР неоднократно уточнялась. Так, например, среди исследователей, занимавшихся вопросами уточнения районирования V ДКЗ, выделим Ю.Л. Мотылёва; IV ДКЗ – А.К. Бируля, В.М. Сиденко; III ДКЗ и II ДКЗ – А.Я. Тулаева, Н.А. Пузакова, В.И. Рувинского, В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко, А.И. Ярмолинского, В.А. Ярмолинского, М.Б. Корсунского; I ДКЗ – И.А. Золотаря, А.А. Малышева, Р.З. Порицкого, В.А. Давыдова и их учеников.

Широко опубликованы результаты исследований XX–XXI вв. в области регионального изучения состава и свойств глинистых грунтов, среди которых можно отметить работы И.А. Тютюнова, З.А. Нерсесовой, С.В. Алексикова и Ю.М. Васильева. Здесь же стоит отметить исследователей, которые занимаются изучением водно-теплового режима многолетнемёрзлых грунтов как естественного основания автомобильных дорог, это М.Н. Железняк, А.Ф. Галкин, И.И. Сыромятников, А.Р. Кириллин, А.Ф. Жирков, Л.И. Иванова и др.

Для современных исследований в области дорожно-климатического районирования характерны: недостаточная разработанность критериев целостности и однородности по тем или иным признакам выделяемых территорий, правил выбора элементов наблюдения, картирования границ; отсутствие единых приёмов сбора и обработки исходных данных. Из-за сложности исполнительской организации работ, а также из-за значительных трудовых и финансовых затрат при их проведении подобные исследования носят локальный характер и касаются лишь отдельных административных образований в европейской и азиатской частях страны.

Мировой опыт исследований в части учёта признаков географического комплекса при дифференциации территорий для целей проектирования автомобильных дорог отражён в нормах, директивах и руководствах, действующих в Великобритании, Китайской Народной Республике, Соединённых Штатах Америки, Федеративной Республике Германия, Швеции и других государствах. Например, в Аризонском государственном университете (Arizona State University) группой учёных под руководством W.N. Houston и C.E. Zapata проведены исследования, которые направлены на разработку математической модели для количественной оценки воздействия окружающей среды на состояние дорожных конструкций в течение их срока службы. Подобные исследования также проводились на территориях стран ближнего зарубежья, например, Беларусь (В.П. Корюков, Р.З. Порицкий), Украина (М.Н. Гудзинский), Таджикистан (Б.Б. Каримов), Казахстан (Б.Б. Телтаев), Кыргызстан (Э.М. Каримов) и др. При этом совокупность знаний о понятиях «дорожная зона», «дорожная подзона» и «дорожный район», которыми оперируют зарубежные и отечественные разработчики нормативных документов, не позволяет считать принятые ими единицы дорожно-климатического районирования частью классификационной системы, например иерархической, в которой составляющие её таксоны находятся в отношении соподчинения.

Целью исследования является разработка научно обоснованных решений по учёту особенностей региональных признаков географического комплекса, определяющих протекание водно-теплового режима в теле земляного полотна территории распространения многолетнемёрзлых грунтов Ямало-Ненецкого автономного округа при проектировании автомобильных дорог.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие ***задачи***:

1. Выполнить мониторинг автомобильных дорог территории ЯНАО, исследовать состав и свойства наиболее распространённых в регионе грунтов земляного полотна, отбор проб которых осуществить при оборудовании стационарных постов наблюдения.
2. Разработать информационную базу элементов природно-территориального комплекса, определяющих протекание водно-теплового режима грунтов земляного полотна автомобильных дорог региона исследования.
3. Обосновать на территории ЯНАО дислокацию границ распространения однородных по признакам зонального, интразонального и регионального характера географического комплекса таксонов – зона, подзона, дорожный район.
4. Уточнить математическую модель проф. И.А.Золотаря прогноза весеннего влагонакопления в рабочем слое земляного полотна автомобильных дорог региона в части учёта особенностей его промерзания.

5. Нормировать расчётные значения влажности грунта земляного полотна (песка пылеватого) применительно к выделенным в исследуемом регионе территориям дорожных районов.

Объектом исследования являются зональные, интразональные и региональные элементы географического комплекса территории Ямало-Ненецкого автономного округа.

Предметом исследования являются однородные по признакам геокомплекса территории, выделенные по таксономической системе «зона – подзона – дорожный район», с назначением для них расчётной влажности преобладающих в регионе грунтов земляного полотна.

Методической основой для решения поставленных задач является системный подход, основанный на теоретических исследованиях, включающих численное моделирование, методы статистической обработки и верификацию с данными, полученными при натурных наблюдениях в полевых и лабораторных условиях.

Научная новизна исследования. Обоснованы и экспериментально подтверждены решения, повышающие полноту и достоверность информации, необходимой для принятия проектных решений, и обеспечивающие качество и долговечность автомобильных дорог на территории ЯНАО. Новые научные результаты заключаются в следующем:

1. Выявлены и сгруппированы зональные, интразональные и региональные факторы географического комплекса территории ЯНАО, определяющие протекание водно-тепловых процессов в слоях дорожных конструкций и, соответственно, эксплуатационное состояние автомобильных дорог.
2. Установлены зависимости, характеризующие промерзание дорожных конструкций в условиях распространения многолетнемёрзлых грунтов территории ЯНАО.
3. Уточнён алгоритм проф. И.А. Золотаря по прогнозированию расчётной весенней влажности преобладающих на территории ЯНАО песчаных пылеватых грунтов земляного полотна в части учёта особенностей протекания водно-тепловых процессов в дорожных конструкциях региона. Программа реализации алгоритма зарегистрирована в Федеральной службе по интеллектуальной собственности (свидетельство № 2026615861).

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы заключается в установлении экспериментальных зависимостей изменения коэффициента теплопроводности наиболее распространенного на территории Ямало-Ненецкого автономного округа грунта земляного полотна (песка пылеватого) от его температуры, влажности и плотности. Представлены теоретические положения по развитию модели прогнозирования расчетной влажности песчаных грунтов земляного полотна в части учёта особенностей его промерзания.

В Федеральной службе по интеллектуальной собственности зарегистрирована сформированная база исходных данных для целей

дорожно-климатического районирования территории ЯНАО (свидетельство № 2022621557), а также разработанная для определения расчетной влажности песчаных грунтов рабочего слоя земляного полотна автомобильных дорог программа для ЭВМ (свидетельство № 2026615861).

Предложена оригинальная карта-схема дорожно-климатического районирования территории ЯНАО, включающая три подзоны (по типам рельефа) и шесть дорожных районов, характеризующихся однородными признаками природно-территориального комплекса. Для вновь выделенных дорожных районов нормированы расчётные значения влажности грунта земляного полотна (пески пылеватые).

Результаты исследования нашли применение при проектировании, строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог на территории ЯНАО, а также в учебном процессе Томского государственного архитектурно-строительного университета при подготовке бакалавров и специалистов по направлениям 08.03.01 и 08.05.01.

Положения, выносимые на защиту:

1. Уточненная схема дорожно-климатического районирования территории Ямало-Ненецкого автономного округа (I дорожно-климатическая зона).
2. Эмпирические зависимости коэффициента теплопроводности наиболее распространенных в регионе исследования грунтов земляного полотна от их температуры, влажности и плотности.
3. Расчетные значения влажности грунтов земляного полотна автомобильных дорог для выделенных в ходе работы дорожных районов на территории Ямало-Ненецкого автономного округа.

Степень достоверности. Достоверность основных результатов теоретических и экспериментальных исследований, представленных в работе, гарантирована необходимым объёмом статистики, применением объективных методов научного исследования и теоретических основ, обоснованно применяемых в науке и практике проектирования автомобильных дорог, а также инженерного оборудования, обеспечивающих достаточный уровень надёжности результатов математического моделирования и измерений физических величин.

Апробация работы. Материалы диссертации доложены и обсуждены на семинарах и конференциях: 68-й и 69-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых учёных (г. Томск, ТГАСУ, 2022 г. и 2023 г.); XVI и XIX Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли юга России» (г. Волгоград, ВолгГТУ, 2022 г. и 2025 г.); XII Международной научно-технической конференции «Политранспортные системы» (г. Новосибирск, СГУПС, 2022 г.); Международной научно-практической конференции «Развитие производительных сил Кузбасса: история, современный опыт, стратегия будущего» (г. Кемерово, КемГУ, 2023 г.); XX и XXI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы

развития фундаментальных наук» (г. Томск, ТГАСУ, 2023 г. и 2024 г.); XV и XVI Международной научно-практической конференции «Инвестиции, градостроительство, технологии как драйверы социально-экономического развития территорий и повышения качества жизни населения» (г. Томск, ТГАСУ, 2025 г. и 2026 г.); Всероссийской научной конференции XXVI Сергеевские чтения «Массивы грунтов как жизнеобеспечивающий ресурс общества» (г. Псков, 2025 г.); Седьмой конференции геокриологов России «Динамика природных условий в криолитозоне и геокриологический мониторинг» (г. Москва, 2026 г.).

Личный вклад автора состоит в участии на всех этапах процесса научных исследований – в натурных полевых и лабораторных экспериментах; в обработке и интерпретации полученных при этом результатов; при формировании исходных данных для решения задач при реализации цели исследований; в подготовке основных публикаций, отражённых в представленной диссертации.

Публикации и изобретения. По результатам исследования опубликовано 15 научных работ, в том числе 2 свидетельства на регистрацию базы данных и программы для ЭВМ, а также 5 публикаций в ведущих научных рецензируемых изданиях, включённых в Перечень ВАК при Минобрнауки РФ.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения по работе и списка литературы, включающего 212 наименований российских и зарубежных изданий. Объём работы 215 стр., в том числе 26 таблиц, 40 рисунков и 4 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе обобщены результаты исследований, направленных на учёт региональных природно-климатических особенностей при проектировании автомобильных дорог. В основу существующего дорожно-климатического районирования территории страны легли работы таких учёных, как А.В. Гербурт-Гейбович, С.Л. Бастамов, Л.А. Преферансова и др., которые были выполнены ещё в прошлом столетии.

Делением зоны распространения многолетнемёрзлых грунтов (ММГ) – I дорожно-климатической зоны – на подзоны стали заниматься позже. Согласно представленной А.А. Малышевым и Р.З. Порицким схеме территория I ДКЗ разделена на четыре подзоны, в «Инструкции по изысканиям, проектированию и строительству автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты» (1976 г.) I ДКЗ уже разделена только на три подзоны. В ВСН 84-89 приведена схема районирования зоны распространения ММГ, основанная на результатах работ, выполненных специалистами Омского филиала СоюзДорНИИ. Однако представленная там схема районирования тщательно прорабатывалась на территории азиатской части России, а её европейская часть была исследована весьма схематично и только со стороны южной границы распространения многолетнемёрзлых

грунтов, что становится очевидным, если обратить внимание на то, что после подзоны I_3 сразу следует подзона I_1, т. е. отсутствует подзона I_2.

Необходимость детализации районирования территории России обоснована в трудах многих исследователей, среди которых следует отметить И.А. Золотаря, Н.А. Пузакова, В.М. Сиденко, Ю.Л. Мотылёва, В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко, С.В. Алексикова, А.И. Ярмолинского, В.А. Ярмолинского и их учеников. В настоящее время работы Т.В. Бобровой, А.М. Кулижникова, Т.В. Самодуровой и других авторов направлены на выполнение более детального дорожно-климатического районирования для различных целей, например, применительно к условиям зимнего содержания автомобильных дорог. Отсутствие единых приёмов сбора и обработки информации, слабая разработанность правил выбора элементов наблюдения и проведения границ, критериев однородности и целостности выделяемых районов затрудняют практическое использование предложенных ранее схем районирования. Значительные трудности пользователей возникают в первую очередь при оценке, сравнении или объединении работ, выполненных разными исследователями на прилегающих территориях.

Дорожно-климатическое районирование невозможно представить без формирования информационной базы данных, которая включает в себя необходимые зональные (среднегодовая температура воздуха, годовое количество осадков, высота снежного покрова), интразональные (рельеф местности, тип грунта и его физико-механические свойства) и региональные (наличие грунтов особых разновидностей; распространение грунтов, находящихся в особом естественном состоянии) признаки природно-территориального комплекса исследуемой территории. При уточнении дислокации границ дорожно-климатического районирования ряд показателей, входящих в информационную базу данных, определяют на основе полевых и лабораторных исследований применительно к опорным пунктам, при назначении которых учитывают наличие в районе исследования гидрометеорологических станций. Другую же часть показателей принимают для тех же опорных пунктов по справочным материалам и на основе результатов теоретического моделирования.

При формировании информационной базы данных особое значение имеет выбор метода назначения расчётной влажности грунта земляного полотна. Для прогноза влагонакопления в грунтах рабочего слоя земляного полотна автомобильных дорог на территории Ямало-Ненецкого автономного округа принят метод проф. И.А. Золотаря, учитывающий характер увлажнения земляного полотна; глубину расположения грунтовых вод осенью; возвышение бровки земляного полотна над уровнем грунтовых вод; коэффициент влагопроводности, характерный для территории грунта; продолжительность периода осеннего влагонакопления; особенности конструкций дорожной одежды и характеристику скорости промерзания дорожной конструкции.

На основании сведений литературного обзора сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе рассмотрены теоретические положения прогнозирования влагонакопления в грунтах земляного полотна автомобильных дорог, т. к. задача прогноза значений прочностных и деформационных характеристик грунтов, применяемых при расчёте нежёстких дорожных одежд по условию прочности, прежде всего, заключается в обоснованном определении расчетной влажности грунта земляного полотна.

В основу прогноза расчётной влажности принят аналитический метод, разработанный проф. И.А. Золотарём, который был разработан для районов распространения многолетнемерзлых грунтов, но, как показала практика, приемлем и для районов с сезоннопромерзающими грунтами. Суть метода заключается в последовательном прогнозировании осенней ($W_{\text{Р}}^{\text{ОС}}$) и весенней ($W_{\text{Р}}^{\text{ВЕС}}$) влажности грунта земляного полотна (рисунок 1). Величину $W_{\text{Р}}^{\text{ОС}}$ вычисляют в зависимости от значения критерия осеннего влагонакопления $F_{ОН}$:

$$F_{ОН} = \frac{K_1 * \tau_{\text{вл}}}{H_B^2}, \qquad (1)$$

где K_1 – коэффициент влагопроводности, см/ч; $\tau_{\text{вл}}$ – продолжительность периода осеннего влагонакопления, ч; $H_{\text{в}}$ – удаление низа дорожной одежды от уровня грунтовых вод, см.



Рисунок 1 – Алгоритм прогноза расчётной влажности грунтов земляного полотна

Для определения осенней влажности грунтов с использованием программного продукта, разработанного сотрудниками кафедры «Автомобильные дороги» ТГАСУ, необходимо задать продолжительность периода осеннего влагонакопления.

Начало периода осеннего влагонакопления характеризуют увеличением среднесуточного количества осадков, повышением относительной влажности

воздуха, понижением его температуры и увеличением облачности. Всё это определяет преобладание осадков над испарением, т. е. если построить для осенних месяцев график месячных сумм осадков r и испарения E, то точка пересечения этих графиков определит начало периода осеннего влагонакопления. За конец этого периода принимают дату наступления среднесуточной температуры 0 °С, приводимую в метеорологических справочниках (рисунок 2). Период осеннего влагонакопления для выделенных дорожных районов определен графоаналитическим способом: для района I.P.1 продолжительность периода составила $\tau_{\text{вл}} = 1022$ ч; для района I.P.2 $\tau_{\text{вл}} = 1128$ ч; для района I.P.3 $\tau_{\text{вл}} = 1174$ ч.

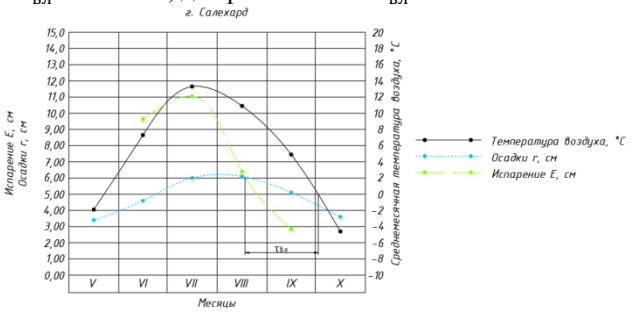


Рисунок 2 – График, поясняющий порядок установления продолжительности периода осеннего влагонакопления для г. Салехарда

Проф. И.А. Золотарь на основе теории турбулентной диффузии обосновал зависимость для расчёта среднемесячной величины испарения:

$$E = \frac{25{,}5(1 - f_{200}) * U_{\text{ф}} \left(1 + \frac{Q_R - 1{,}8E}{U_{\text{ф}}^{2.5}}\right) * \exp\left(0{,}063 * \Theta_{200}\right) * \exp\left(0{,}063 * \frac{Q_R - 1{,}8E}{U_{\text{ф}}^{0.5}}\right)}{7{,}49 + \ln[(1 + 1{,}8 * \frac{Q_R - 1{,}8E}{U_{\text{ф}}^{2.5}}) * U_{\text{ф}}]}, \qquad (2)$$

где f_{200} – среднемесячная относительная влажность воздуха %, выражаемая в долях единиц; $U_{\text{ф}}$ – среднемесячная скорость ветра на высоте флюгера, м/сек^2; Θ_{200} – среднемесячная температура воздуха, °С; Q_R – радиационный баланс.

Значение $W_{\text{Р}}^{\text{ВЕС}}$ принимают равным средней влажности грунта в промёрзшем земляного полотне $W_{\text{Р}}^{\text{ЗИМ}}$, для установления величины которой предварительно должна быть определена характеристика скорости промерзания α. В качестве базового метода определения α в работе принят приближенный метод расчёта промерзания грунта земляного полотна с учётом миграции влаги в ходе процесса (метод проф. И.А. Золотаря):

$$\alpha = \frac{h_{\text{пр}}}{\sqrt{\tau_{\text{пр}}}}, \qquad (3)$$

где $h_{\text{пр}}$ – величина промерзания всей дорожной конструкции, см; $\tau_{\text{пр}}$ – время промерзания на величину $h_{\text{пр}}$, ч.

Для упрощения модели определения характеристики скорости промерзания с сохранением точности в работе применена методика

определения глубины промерзания многослойной аэродромной конструкции, приведённая в СП 121.13330.2019:

$$h_{\text{пр}} = 1{,}9\sqrt{\frac{2 * \lambda_f \Theta_{\text{тр}} \tau_{\text{пр}}}{\eta_f}} + \sum_{i=1}^{n} t_i \left(1 - \sqrt{\frac{\lambda_f \eta_{fi}}{\lambda_{fi} \eta_f}}\right), \quad (4)$$

где $\Theta_{\text{тр}}$ – абсолютная средняя температура на поверхности покрытия за период промерзания, °С, принимаемая равной средней температуре воздуха за тот же период; t_i – толщина i-го слоя дорожной одежды, м; λ_f, λ_{fi} – коэффициент теплопроводности соответственно грунта земляного полотна и i-го слоя дорожной одежды, Вт/(м*К); η_f, η_{fi} – количество тепла, выделяемое при фазовых переходах и охлаждении соответственно грунта земляного полотна и i-го слоя дорожной одежды, кДж/м^3.

Достоверность результатов метода подтверждена сравнением фактической глубины промерзания (установлена с помощью датчиков влажности и температуры грунта для ряда опорных пунктов) и теоретической (установлена для этих же опорных пунктов по зависимости (4)). Разница составила 2,3 %, что свидетельствует о возможности использования представленного выше способа расчёта глубины промерзания дорожной конструкции при прогнозировании расчетной влажности грунтов земляного полотна на территории исследования.

Для определения весенней влажности грунтов земляного полотна разработан оригинальный программный продукт для ЭВМ с использованием интегрированной среды Code:Blocks (свидетельство № 2026615861).

В третьей главе рассмотрены объекты и методы проведения исследований. К участкам, выбранным для оборудования стационарных постов наблюдений, предъявляли следующие требования: участки дорог должны находиться в зоне действия существующей сети гидрометеостанций; отвечать требованиям действующих норм на проектирование и строительство автомобильных дорог; климатические и грунтовые условия на выбранных участках должны быть характерными для территории исследования; дорожные конструкции должны отражать характерные решения, имеющие наибольшее распространение на территории округа. Согласно требованиям ОДМ 218.4.033-2017, посты наблюдений необходимо оборудовать на дефектных участках, однако для выполнения работ по уточнению дорожно-климатического районирования важно, чтобы участки соответствовали требованиям ГОСТ Р 50597–2017 к эксплуатационному состоянию и не имели значительных дефектов.

При оборудовании стационарных постов наблюдения выполнено вскрытие дорожной конструкции с целью установления существующих конструктивных решений, отбора проб грунтов земляного полотна для лабораторных исследований и проведения штамповых испытаний.

Полевые испытания включали в себя следующие этапы: визуальное обследование состояния участков; измерение геометрических параметров;

геодезическую съёмку поперечного профиля в створе участка дороги; уточнение соответствия конструктивно-технологических решений и содержанию проектов на обследуемых участках; проведение штамповых испытаний; отбор проб грунтов земляного полотна для лабораторных исследований; установку датчиков и регистраторов на постах наблюдения.

Применяемые средства измерения и оборудование имеют действующие свидетельства о поверке на соответствие точности измерений и свидетельства об аттестации, полученные в государственных региональных центрах стандартизации, метрологии и испытаний.

Для обустройства стационарных постов наблюдения за водно-тепловым режимом грунтов земляного полотна на автомобильных дорогах ЯНАО установлены датчики объёмной влажности и температуры TEROS 11/12. При регистрации влажности с помощью этих датчиков применяется диапазон частот 70 МГц, что снижает к минимуму эффект возможной неоднородности свойства грунтов и его засолённость на показания датчиков.

Отбор, упаковка, транспортировка и хранение образцов и монолитов грунтов из тела земляного полотна выполнены в соответствии с требованиями ГОСТ 12071–2014 для определения разновидности грунта и его физико-механических свойств. Испытания образцов грунтов выполнены в лабораторных условиях согласно требованиям ГОСТ 5180–2015. Состав грунтов определён с помощью гранулометрического анализа пипеточным методом в соответствии с ГОСТ 12536–2014. Определение модуля упругости выполнено на поверхности грунта рабочего слоя земляного полотна согласно требованиям ПНСТ 311–2018.

Лабораторные испытания показали, что наиболее распространенным видом грунта при возведении земляного полотна на территории исследования является песок пылеватый, доля которого составляет 72,7 % от общего количества отобранных проб.

Определение теплофизических параметров произведено с помощью прибора измерения TEMPOS и подключаемого к нему с помощью кабеля DB15 зонда SH-3 с двумя щупами, который измеряет объёмную теплоёмкость, температуропроводность и теплопроводность. Время измерения теплофизических характеристик составляет 2 мин: в течение первых 30 с происходит нагрев щупов, далее происходит остывание (рисунок 3). Измерения температуры контроллером выполняют в течение полутора минут с интервалом снятия показаний равным 1 с. Испытания песка пылеватого при определении коэффициента теплопроводности осуществляют в следующем порядке: испытуемый грунт доводят до определенной весовой влажности, например 5 %; образец грунта уплотняют методом стандартного уплотнения; устанавливают зонд SH-3 в образец грунта; образец грунта промораживают в морозильной камере; измеряют коэффициент теплопроводности с помощью контроллера TEMPOS.

а *б*



Рисунок 3 – Вид контроллера в ходе измерения теплофизических характеристик грунта земляного полотна: *а* – нагрев щупов; *б* – остывание щупов

В ***четвертой главе*** приведена оценка климатических условий Ямало-Ненецкого автономного округа за период наблюдений за влажностью и температурой грунтов земляного полотна, анализ результатов определения характеристик глубины и скорости промерзания грунта земляного полотна и результатов исследования влияния влажности, плотности и температуры грунта земляного полотна на его коэффициент теплопроводности.

Среди метеорологических переменных, учитываемых при дорожно-климатическом районировании территории исследования, большое значение имеют показатели температуры воздуха и количество осадков. Основной анализ климата выполнен для всех действующих на территории исследования метеостанций, оценка изменчивости показателей выполнена для четырёх наиболее близко расположенных к оборудованным постам наблюдения метеостанций – Салехард, Надым, Тарко-Сале и Тазовское.

Погодные условия отдельного периода наблюдения характеризуют степенью отклонения этих параметров от их климатических стандартных норм. Наблюдения на опытных участках осуществлены в период с 1 августа 2021 г. по 31 августа 2024 г. Значения среднемесячных температуры воздуха и суммы осадков приняты согласно рекомендациям Всемирной метеорологической организации (ВМО) за 30-летний период с 1 января 1991 г. по 31 декабря 2020 г, среднемесячные температура воздуха и сумма осадков за период с 1 августа 2021 г. по 31 июля 2024 г. взяты с действующих на территории ЯНАО метеостанций. Сопоставление значений температуры воздуха произведено с помощью критерия аномалий температуры воздуха разной интенсивности согласно рекомендациям ВМО. Для оценки изменчивости количества атмосферных осадков вычислены абсолютные (Δ) и относительные (m) отклонения от многолетних значений, а также среднеквадратическое отклонение средней многолетней месячной величины элемента (σ).

При сопоставлении среднемесячных значений температуры воздуха за период с 01.08.2021 г. по 31.07.2024 г. на метеостанциях Надым, Салехард,

Тазовское и Тарко-Сале со среднемноголетней нормой выявлено, что в основном за весь период наблюдений среднемесячная температура воздуха несколько превышает климатическую норму. Количество выпавших осадков в период исследований значительно превышает норму. Только 29,9 % среднемесячных значений оказались в норме, 34,7 % пришлось на слабые аномалии (количество выпавших осадков меньше нормы) и 35,4 % пришлось на сильные аномалии (количество выпавших осадков значительно больше нормы). Однако согласно выполненной оценке состояния и сезонных вертикальных перемещений высотных отметок поперечного профиля дорожного покрытия в течение периода наблюдения можно сделать вывод о том, что зафиксированные климатические аномалии не имели значительного влияния на эксплуатационное состояние автомобильных дорог.

При решении задачи прогнозирования расчётной влажности грунтов земляного полотна необходимы теплофизические характеристики, в том числе коэффициент теплопроводности (λ). При назначении величины λ исследователи, как правило, руководствуются справочной литературой. Однако в справочниках значения λ приведены в диапазоне температур –20 °С и +20 °С, что не соответствует фактическому диапазону температур максимального влагонакопления в грунтах. Наиболее интенсивное влагонакопление в промерзающих грунтах, по мнению Л.В. Чистотинова, Л.А. Преферансовой и др., происходит при температуре –3,5 °С–0 °С в зависимости от степени засоленности. Также следует отметить, что значения λ, представленные в справочной литературе, установлены при постоянных значениях влажности и плотности грунта, хотя эти показатели подвержены изменениям в годовом цикле водно-теплового режима дорожных конструкций.

По полученным в ходе эксперимента данным построены графики зависимости коэффициента теплопроводности от температуры грунта при постоянных значениях плотности сухого грунта (см. рисунок 4). Из графиков видно, что количество пылеватых частиц в грунте, наряду с другими факторами (влажность, плотность и температуры грунта), существенно влияет на значение его коэффициента теплопроводности, поэтому характер распределения схож, однако не повторяется в точности, исходя из чего для составления эмпирической зависимости выбран наиболее неблагоприятный тип грунта для возведения земляного полотна – песок пылеватый с наибольшим количеством пылеватых частиц. Также из графиков видно, что при минимальной весовой влажности грунта коэффициент теплопроводности не меняется с изменением температуры грунта, однако имеет прямую зависимость от плотности сухого грунта вида (5). При увеличении влажности грунта (свыше 2 %) уравнение регрессии переходит из линейного типа в квадратное, в котором свободный член зависит от весовой влажности и плотности образца грунта, формула (6).

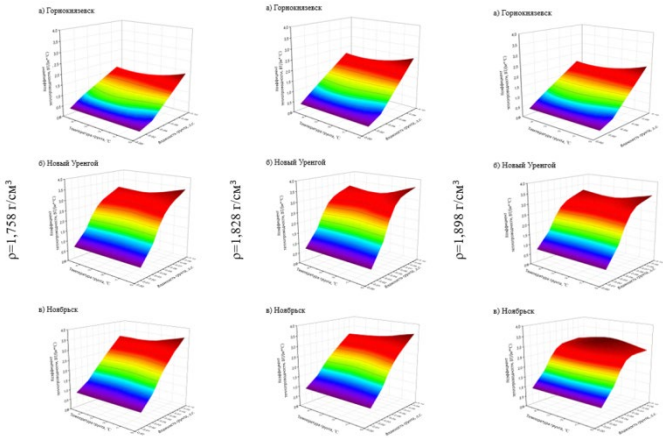


Рисунок 4 – Зависимости значений коэффициента теплопроводности от температуры грунта при постоянном значении плотности сухого грунта: *а* – Горнокнязевск; *б* – Новый Уренгой; *в* – Ноябрьск

$$\lambda = 0{,}15 * \rho_{\text{сух.гр}} \quad (5)$$

где $\rho_{\text{сух.гр}}$ – плотность сухого грунта, $^{\text{г}}/_{\text{см}^3}$;

$$\lambda = (1{,}4w - 0{,}09) * t^2 + (8{,}93w - 0{,}55) * t + c, \quad (6)$$

где t – температура грунта, ℃; w – весовая влажность грунта, д.е.; c – параметр, определяемый по формуле:

$$c = (-620{,}18w + 12{,}517) * \rho_{\text{сух.гр}}^2 + (2287{,}9w - 46{,}006) * \rho_{\text{сух.гр}} - \\ -2076{,}7w + 41{,}833. \quad (7)$$

Коэффициент детерминации для уравнения (5) составил $R^2 = 0{,}81$, что позволяет характеризовать его как адекватное и описывающее тесную зависимость (по шкале Чеддока) коэффициента теплопроводности от плотности сухого грунта при *минимальной влажности (менее 2 %)*; для уравнения (6) этот показатель равен $R^2 = 0{,}87$, что также свидетельствует об адекватности модели и тесной связи (по шкале Чеддока) коэффициента теплопроводности от плотности сухого грунта при *влажности более 2 %* для песка пылеватого с количеством пылеватых частиц свыше 70 %.

Адекватность математической модели, формула (6), подтверждена критериями Кохрена и Фишера. Установлено, что модель адекватно описывает зависимость коэффициента теплопроводности от температуры грунта, его весовой влажности и плотности сухого грунта для песка пылеватого с количеством пылеватых частиц свыше 70 %.

Назначение величин глубины и скорости промерзания, необходимых для прогнозирования расчётной влажности грунта земляного полотна, выполнено для выделенных в ходе исследования дорожных районов – I.Р.1, I.Р.2, I.Р.3. В пределах районов I.Х.1, I.Г.1 и I.Г.2 транспортная сеть не развита, а также отсутствуют гидрометеостанции и датчики для мониторинга за водно-тепловым режимом грунтов земляного полотна, в связи с чем определение

характеристик глубины и скорости промерзания грунта земляного полотна не представляется возможным. При расчёте глубины промерзания дорожной конструкции по формуле (4) необходимы сведения о слоях конструкции и теплофизических характеристиках материалов слоёв дорожной одежды. Конструкция дорожной одежды назначена и рассчитана согласно действующим нормам для самой северной подзоны – I_1. В качестве грунта земляного полотна принят песок пылеватый с расчетными характеристиками: $W_{от} = 0{,}6;$ $E_{гр} = 84$ МПа; $\varphi_{дин} = 12°; c = 0{,}005$ При проектировании дорожной одежды применительно к природно-климатическим условиям подзоны I_1 общая толщина конструкции составила 102 см.

Теплофизические и физико-механические характеристики материалов конструкции дорожной одежды, необходимые для расчета глубины промерзания, приняты по справочным материалам, представленным в действующих нормативных документах. Абсолютная средняя температура на поверхности покрытия ($\Theta_{тр}$) за период промерзания ($\tau_{пр}$) принята равной средней температуре воздуха за тот же период. Физико-механические характеристики грунта земляного полотна назначены по результатам проведенных лабораторных исследований, теплофизические характеристики установлены согласно эмпирической зависимости (6), полученной на основе проведенных экспериментальных исследований.

Согласно методу проф. И.А. Золотаря, для определения характеристики скорости промерзания α необходимо знать не только величину промерзания всей дорожной конструкции, но и время ее промерзания – формула (3). В работе время промерзания на найденные величины промерзания определены экспериментально на основе сведений, полученных на постах мониторинга.

Глубина промерзания дорожной конструкции, время, за которое она промерзнет на найденную величину и скорость промерзания для равнинных районов на территории ЯНАО сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Характеристики промерзания дорожной конструкции

Характеристика промерзания	I.P.1	I.P.2	I.P.3
$h_{пр}$, м	3,67	2,56	2,00
τ, ч	3024	1872	1632
α, см/ч	6,7	5,9	5,0

В пятой главе приведена рекомендуемая карта-схема дорожно-климатического районирования территории, значения расчетной влажности грунтов земляного полотна для выделенных районов, предложения по формирования информационной базы данных и обоснована экономическая эффективность результатов исследования.

Согласно исследованиям сотрудников ИМЗ СО РАН, автомобильная дорога в криолитозоне испытывает не только механические, но и температурные воздействия, особенно это касается объектов, расположенных в резко континентальном климате. При этом, как показано в исследованиях М.Г. Чахлова, ключевые риски для дорожной конструкции

связаны с механизмами криогенного влагопереноса в грунтах при промерзании. Поэтому, чтобы обеспечить надежное функционирование автомобильных дорог в период эксплуатации, необходимо располагать информацией об элементах природно-территориального комплекса вновь выделенных дорожных районов, влияющих на формирование природно-технических систем, а также о результатах региональных исследований, выполняемых с применением современных методов сбора, обработки и хранения исходных данных. База данных, содержащая сведения о признаках природно-территориального комплекса, характерных для территории ЯНАО, представлена в виде книги Excel и зарегистрирована в федеральной службе по интеллектуальной собственности (свидетельство № 2022621557). В базе данных представлены зональные (среднегодовая температура воздуха, годовое количество осадков, испарение с поверхности суши, расчётная влажность грунта, типы растительности) и интразональные (тип грунта и его гранулометрический состав, рельеф местности) признаки природно-территориального комплекса территории Ямало-Ненецкого автономного округа.

Ранее сотрудники кафедры «Автомобильные дороги» ТГАСУ на основании анализа карты-схемы мерзлотных зон и других картографических материалов обосновали границу I–II дорожно-климатических зон. Согласно полученным результатам вся территория ЯНАО относится к I ДКЗ.

При уточнении дислокации границ элементов таксономической системы «зона – подзона – дорожный район» применён метод наложения картографических схем распространения признаков геокомплекса. К группе географических факторов, которые влияют на условия проектирования и строительства автомобильных дорог, относят особенности простирания растительного покрова в тех или иных природных условиях, т. к. он тесно связан с такими элементами природно-территориального комплекса, как увлажнённость территории; распространение ММГ и их температура на глубине 10 м. Это делает растительность одним из доминирующих признаков природно-территориального комплекса при выделении дорожно-климатических зон. Руководящим критерием при выделении *подзон* на территории Ямало-Ненецкого автономного округа принят рельеф местности (выделено три района – равнинный, холмистый и горный), при выделении *районов* – мощность многолетнемёрзных пород (ММП) и их температура на глубине 10 м (выделено три таксона: 1 – сплошное распространение ММГ, 2 – прерывистое распространение ММГ, 3 – островное распространение ММГ).

Для получения карты-схемы дорожно-климатического районирования выполнено наложение полученных однородных участков, выделенных по доминирующим признакам, на карту исследуемой территории. Для территории Ямало-Ненецкого автономного округа рекомендованы: одна дорожно-климатическая зона (I), три подзоны (равнинный, холмистый и горный рельеф) и шесть дорожных районов (от 1 до 3 в зависимости от зоны и подзоны) (рисунок 5).

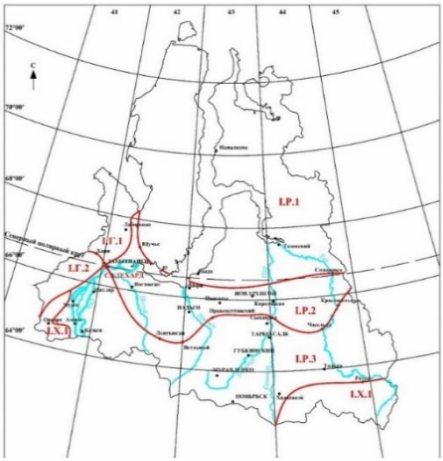


Рисунок 5 – Карта-схема дорожно-климатического районирования территории ЯНАО: I – дорожно-климатическая зона; Р, Х, Г – подзоны по типам рельефа (равнинный, холмистый, горный); 1–3 – номера дорожных районов

Сопоставление значений влажности грунтов, полученных на основе теоретических и экспериментальных исследований, выполнено для участков автомобильных дорог, выбранных ранее для полевых наблюдений на территории исследования. Для этой цели использованы результаты наблюдений за изменением водно-теплового режима грунтов на стационарных постах наблюдения, полученные в период с 01.08.2021 г. по 31.07.2024 г., для ряда опорных пунктов, расположенных в природно-климатических условиях, характерных для вновь выделенных дорожных районов I.P.1, I.P.2 и I.P.3. Результаты сопоставления статистических рядов значений влажности грунтов рабочего слоя земляного полотна, установленных экспериментально и теоретически, сведены в таблицу 2. Достоверность результатов прогнозирования величины влажности грунтов земляного полотна методами теоретического моделирования при отсутствии возможности получения её фактических значений на основе экспериментальных наблюдений подтверждается близкими к единице значениями коэффициента линейной корреляции.

Таблица 2 – Результаты сопоставления статистических рядов значений влажности грунтов рабочего слоя земляного полотна, установленных экспериментально и теоретически

Дорожный район	Величина линейной корреляции (r) для	
	расчётной осенней влажности ($W_{\text{Р}}^{\text{ОС}}$)	расчётной весенней влажности ($W_{\text{Р}}^{\text{ВЕС}}$)
I.P.1	0,90	0,82
I.P.2	0,91	0,84
I.P.3	0,82	0,86

Для выделенных на территории исследования дорожных районов назначены значения расчётной влажности грунта земляного полотна (таблица 3).

Таблица 3 – Расчетные величины влажности песчаного грунта земляного полотна для района I.Р.1 на территории ЯНАО

Коэффициент влагопроводности грунта K_1, см^2/ч	Глубина залегания уровня грунтовых вод от верха земляного полотна $H_в$, м	$W_{от}$, д.е.	Коэффициент влагопроводности грунта K_1, см^2/ч	Глубина залегания уровня грунтовых вод от верха земляного полотна $H_в$, м	$W_{от}$, д.е.
0,5	0,5	0,58	2,0	1,0	0,52
	0,75	0,58		1,5	0,44
	1,0	0,43		2,0	0,44
1,0	0,5	0,59	2,5	0,5	0,57
	0,75	0,59		0,75	0,57
	1,0	0,43		1,0	0,53
	1,5	0,43		1,5	0,44
1,5	0,5	0,55		2,0	0,45
	0,75	0,55	3,0	0,5	0,57
	1,0	0,46		0,75	0,58
	1,5	0,43		1,0	0,56
2,0	0,5	0,56		1,5	0,46
	0,75	0,56		2,0	0,45

Обоснование экономической эффективности от внедрения расчётных значений влажности песка пылеватого применительно к вновь выделенным дорожным районам на территории Ямало-Ненецкого автономного округа выполнено на основе сравнения двух вариантов конструкции дорожной одежды для III категории автомобильной дороги. Первый вариант конструкции назначен для самой северной подзоны – I_1 согласно действующим нормативным документам. Второй вариант конструкции рассчитан для дорожного района I.Р.1 с учётом расчётной влажности, установленной по результатам исследования, остальные характеристики грунта определены по действующим нормам для назначенной влажности. Сметная стоимость строительства 1 км первого варианта дорожной одежды в текущих ценах по состоянию на 1 квартал 2026 г. составила 122 328,003 тыс. руб; стоимость 1 км второго варианта дорожной одежды – 116 097,603 тыс. руб. Экономический эффект от внедрения рекомендуемых для проектирования дорожных одежд нежёсткого типа расчётных величин влажности грунтов земляного полотна в природно-климатических условиях Ямало-Ненецкого автономного округа составляет около 6 230 тыс. руб. в уровне цен 1 квартала 2026 г. на 1 км автомобильной дороги.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В период с 01.08.2021 г. по 31.07.2024 г. выполнен мониторинг изменения водно-теплового режима грунтов земляного полотна на стационарных постах наблюдения, оборудованных на автомобильных дорогах территории ЯНАО. Результаты мониторинга являются основой сопоставления фактических и теоретических значений расчётной (весенней) влажности грунтов земляного полотна. Лабораторные исследования грунтов, отобранных при оборудовании постов наблюдения, показали, что преобладающим видом грунта, слагающего земляное полотно обследованных титулов автомобильных дорог на территории ЯНАО, является песок пылеватый (72,7 % от общего количества проб).
2. Сформирована информационная база данных для целей дорожно-климатического районирования с учетом зональных (среднегодовая температура воздуха; годовое количество осадков; испарение с поверхности суши; расчетная влажность грунта, тип растительности), интразональных (тип грунта; рельеф местности; гранулометрический состав грунта) и региональных (распространение грунтов, находящихся в особом естественном состоянии, и региональные геологические явления) признаков геокомплекса территории ЯНАО. Представленная база данных зарегистрирована в Федеральной службе по интеллектуальной собственности (свидетельство № 2022621557).
3. Предложена карта-схема дорожно-климатического районирования территории ЯНАО, составленная с использованием метода наложения доминирующих признаков природно-территориального комплекса. Рекомендованы одна дорожно-климатическая зона (I), три подзоны (равнинный, холмистый и горный рельеф) и шесть дорожных районов (от 1 до 3 в зависимости от зоны и подзоны). Приведена характеристика выделенных дорожных районов: рельеф местности, мерзлотно-грунтовые условия, расчётная влажность рабочего слоя грунта земляного полотна, а также среднегодовые, минимальные и максимальные температуры воздуха.
4. Уточнена математическая модель прогноза расчётной (весенней) влажности рабочего слоя земляного полотна, предложенного ранее проф. И.А. Золотарем, за счёт уточнения расчёта глубины промерзания дорожной конструкции. Достоверность результатов расчёта глубины промерзания подтверждена сопоставлением фактических и теоретических значений, разница между которыми составила 2,3 %. Исходя из этого назначены значения глубины и скорость промерзания дорожной конструкции для выделенных на территории ЯНАО дорожных районов.
5. Для выделенных дорожных районов с использованием разработанного оригинального программного продукта для ЭВМ (свидетельство № 2026615861) назначены расчётные значения весенней влажности песка пылеватого, применяемые при проектировании дорожных одежд.

Достоверность результатов прогнозирования величины влажности грунтов земляного полотна подтверждена близкими к единице значениями коэффициента линейной корреляции $r = 0{,}82 - 0{,}91$. Экономический эффект от внедрения рекомендуемых для проектирования дорожных одежд нежёсткого типа расчётных величин влажности песка пылеватого в природно-климатических условиях Ямало-Ненецкого автономного округа составляет более 6 000 000 руб. в уровне цен 1-го квартала 2026 г. на 1 км автомобильной дороги.

Дальнейшие научные исследования будут направлены на изучение прочностных и деформативных свойств грунтов, наиболее распространенных при возведении земляного полотна автомобильных дорог на территории Ямало-Ненецкого автономного округа.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в ведущих рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК Минобрнауки России

1. Ефименко, В.Н. Особенности формирования информационного банка данных для уточнения границ дорожно-климатических подзон на территории ЯНАО / В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко, **И.А. Баширова** // Вестник ТГАСУ. – 2022. – Т. 24. – № 6. – С. 150–159.
2. Назначение границ таксонов, объединяющих однородные территории по признакам геокомплекса при дорожно-климатическом районировании / В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко, М.В. Бадина, **И.А. Баширова** // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2024; 26(5):212–224.
3. Экспериментальное определение коэффициента теплопроводности пылеватых песков / **И.А. Баширова**, М.В. Зголич, В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2024. Вып. 4(97):135–146.
4. Ефименко, В. Н. Современные методические подходы к дорожно-климатическому районированию / В. Н. Ефименко, С. В. Ефименко, **И. А. Баширова** // Дороги и мосты. – 2024. – № 2(52). – С. 131-148.
5. **Баширова, И.А.** Детализация дорожно-климатического районирования территории Ямало-Ненецкого автономного округа / **И.А. Баширова**, С.Н. Гиллих, С.В. Ефименко, В.Н. Ефименко // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2025. – Т. 27. – № 3. – С. 270–281.

Публикации в журналах, научных сборниках и других научных изданиях

6. Ефименко, С.В. Основные аспекты формирования информационной базы данных для целей дорожно-климатического районирования территории

ЯНАО / С.В. Ефименко, **И.А. Зголич** // Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли юга России : материалы XVI Международной науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Волгоград : ВолгГТУ, 2022. – С. 36–43.

7. **Зголич, И.А.** Принципы формирования информационной базы данных при дорожно-климатическом районировании территории ЯНАО / **И.А. Зголич**, В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко // Политранспортные системы : Материалы XII Международной научно-технической конференции. В 3-х частях, Новосибирск, 21–22 сентября 2022 года. Том Часть 3. – Новосибирск: Сибирский государственный университет путей сообщения, 2022. – С. 56-61.
8. **Баширова, И.А.** Влияние температуры образца грунта на изменение его теплопроводности / **И.А. Баширова** // Перспективы развития фундаментальных наук : сборник научных трудов XX Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск : НИ ТПУ, 2023. – С. 18–20.
9. Сиволап, В. Е. Изучение теплофизических свойств грунтов земляного полотна автомобильных дорог Ямало-Ненецкого автономного округа / В. Е. Сиволап, **И. А. Баширова** // Избранные доклады 69-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых, Томск, 20 апреля 2023 года. – Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2023. – С. 201-204.
10. **Баширова, И.А.** Оценка влияния влажности, плотности и температуры песчаного грунта на величину его теплопроводности / **И.А. Баширова**, В.Е. Сиволап, В.Н. Ефименко // Международная научно-практическая конференция «Развитие производительных сил Кузбасса: история, современный опыт, стратегия будущего» : в 4 т. Т. 2 / под ред. академика С.М. Алдошина. – Москва : Российская академия наук, 2024. – С. 223–228.
11. Гиллих, С.Н. Результаты дорожно-климатического районирования территории Ямало-Ненецкого автономного округа / С.Н. Гиллих, В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко, В.С. Чурилин, **И.А. Баширова** // Сергеевские чтения. Массивы грунтов как жизнеобеспечивающий ресурс общества. Выпуск 26. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (27-28 марта 2025 г.). – Москва : «Геоинфо», 2025. – С. 233–237.
12. **Баширова, И.А.** Обоснование величины расчетной глубины промерзания дорожных конструкций на территории Ямало-Ненецкого автономного округа / И.А. Баширова // Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли Юга России : Материалы XIX Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Волгоград, 27–29 мая 2025 года. – Волгоград : Волгоградский государственный технический университет, 2025. – С. 42–48.

13. **Баширова, И.А**. Уточнение границ таксономических единиц в пределах территории Ямало-Ненецкого автономного округа / **И.А. Баширова**, С.В. Ефименко // Сборник докладов Седьмой конференции геокриологов России «Динамика природных условий в криолитозоне и геокриологический мониторинг» с участием российских и зарубежных ученых, инженеров и специалистов, Москва, 09–10 июня 2026 года. – Москва: КДУ, 2026. – С. 32-37.

Патенты на изобретения и иные объекты интеллектуальной собственности

14. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022621557. Показатели элементов геокомплекса Ямало-Ненецкого автономного округа / Ефименко С.В., Ефименко В.Н., **Зголич И.А.**, Сиволап В.Е., Чарыков Ю.М., Трофимов А.Э., Чурилин В.С., Сухоруков А.В. ; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО ТГАСУ. – № 2022621557 ; заявл. 05.05.2022 ; опубл. 01.07.2022. – 1 с.
15. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026615861 Российская Федерация. Определение расчетной влажности песчаных грунтов рабочего слоя земляного полотна автомобильных дорог / Ефименко С.В., **Баширова И.А.**, Петрушкина Т.А. – № 2026615861; заявл. 03.03.2026.

БАШИРОВА Ирина Андреевна

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ТЕРРИТОРИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В КРИОЛИТОЗОНЕ ПО ОДНОРОДНЫМ ПРИЗНАКАМ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА (НА ПРИМЕРЕ ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА)

Специальность 2.1.8. – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Подписано к печати 20.10.2026
Формат 60х90 1/16. Бумага офсетная.
Оперативный способ печати.
Усл. п. л.1,5
Тираж 110 экз. Заказ № 243

Отпечатано в ООО «АН2»
644080, г. Омск, ул. 4 Поселковая, 26/2