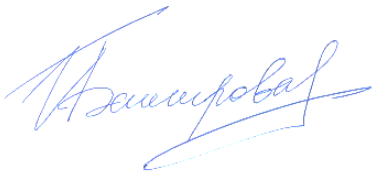
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Томский государственный архитектурно-строительный университет»

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)

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, доцент
Ефименко Сергей Владимирович

Томск – 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5

1. СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ДОРОЖНО-КЛИМАТИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИЙ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ 13

1.1 Анализ принципов и методов дорожно-климатического районирования территорий 13

1.2 Классификация и однородность комплекса факторов, определяющих природно-климатические условия территории исследования 21

1.3 Принципы формирование информационной базы данных для дорожно-климатического районирования 28

1.4 Методы прогнозирования влажности грунтов земляного полотна – составляющей информационной базы дорожно-климатического районирования территорий 33

1.5 Цель и задачи исследования 39

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЛАГОНАКОПЛЕНИЯ В ГРУНТАХ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА 42

2.1 Развитие методов прогнозирования влажности грунтов земляного полотна 42

2.1.1 Анализ подходов к прогнозированию влагонакопления в грунтах земляного полотна 42

2.1.2 Основы прогноза влагонакопления в грунтах земляного полотна к концу периода осеннего влагонакопления 44

2.1.3 Особенности прогноза зимнего влагонакопления в грунтах земляного полотна автомобильных дорог 48

2.2 Определение характеристик глубины и скорости промерзания грунта земляного полотна 50

2.3 Выводы по главе 2 55

3. МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ ПОЛЕВЫХ И ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СВОЙСТВ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ, ПРЕОБЛАДАЮЩИХ ПРИ СООРУЖЕНИИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА ТЕРРИТОРИИ ИССЛЕДОВАНИЯ 57

3.1 Характеристика участков автомобильных дорог, выбранных для полевых наблюдений на территории Ямало-Ненецкого автономного округа 57

3.2 Методы и приборы для проведения полевых обследований автомобильных дорог 61

3.3 Методы и приборы лабораторных исследований состава и свойств песчаных грунтов 66

3.4 Экспериментальные исследования величины коэффициента теплопроводности грунтов земляного полотна 69

3.5 Выводы по главе 3 77

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЛУБИН И СКОРОСТИ ПРОМЕРЗАНИЯ-ОТТАИВАНИЯ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА 79

4.1 Оценка климатических условий района исследований за период наблюдений за влажностью и температурой грунтов земляного полотна 79

4.2 Результаты определения характеристик глубины и скорости промерзания грунта земляного полотна 89

4.3 Исследование влияния влажности, плотности и температуры грунта земляного полотна на его коэффициент теплопроводности 94

4.4 Выводы по главе 4 102

5. ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УЧЁТУ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИРОДНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ТЕРРИТОРИИ ЯНАО 104

5.1 Формирование информационной базы данных для дорожно-климатического районирования территории ЯНАО 104

5.2 Результаты дорожно-климатического районирования территории Ямало-Ненецкого автономного округа 109

5.3 Назначение расчётных значений влажности преобладающего в ЯНАО грунта земляного полотна 121

5.4 Обоснование экономической эффективности результатов исследования 128

5.5 Выводы по главе 5 133

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 135

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 137
ПРИЛОЖЕНИЯ 164
Приложение А. Свидетельства о государственной регистрации..... 164
Приложение Б. Копии документов о внедрении результатов исследования 166
Приложение В. Свидетельства о поверке оборудования 168
Приложение Г. Сметная документация..... 178

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. 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» [110] гласит о необходимости развития её транспортной инфраструктуры, для чего нужно обеспечить качественное проектирование и строительство автомобильных дорог. Ямало-Ненецкий автономный округ (ЯНАО) является одним из десяти регионов, входящих в состав Арктической зоны Российской Федерации [175], 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 в ЯНАО распределена по территории округа неравномерно, и некоторые районы округа до сих пор имеют лишь авиационный и морской виды сообщения [186–188].

Согласно карте-схеме дорожно-климатического районирования, представленной в СП 34.13330.2021 [157], Ямало-Ненецкий автономный округ расположен в I дорожно-климатической зоне (ДКЗ). 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 [12]. 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. Ещё в прошлом веке специалисты [76] указывали на актуальность уточнения районирования «внутри самих зон», 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 исследований

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 другие.

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 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. 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.

1. СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ДОРОЖНО-КЛИМАТИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИЙ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Анализ принципов и методов дорожно-климатического районирования территорий

Районирование – деление определенной территории или же акватории на внутренние однотипные, но отличные друг от друга составные единицы – таксоны, например, районы, подзоны, зоны. Районирование применяют во многих отраслях: экономика, промышленно-гражданское строительство, дорожное строительство, география, сельское хозяйство и т. д. Например, сейсмическое районирование позволяет проектировщикам учитывать вероятность возникновения сейсмической активности в том или ином регионе; экономическое районирование является основой территориального управления народным хозяйством России, т. к. оно неразрывно связано со специализацией районов на определенных видах производства [31].

Дорожное районирование – процесс оценки и выявления территории с различными условиями дорожного строительства, отображение их границ на карте. Из-за возможных изменений и нарушений структуры и связей компонентов географического комплекса при проектировании и реализации решений в дорожном строительстве выделяют два взаимосвязанных направления в дорожном районировании [31]:

1. *Инженерное*, функциональное назначение которого – количественная и качественная оценка природных и климатических условий проложения, строительства и эксплуатации дорог.
2. *Природоохранное*, функциональное назначение которого – оценка степени воздействия автомобильной дороги на природу.

Дорожно-климатическое районирование – разделение территории на районы с более или менее однородным природно-территориальным комплексом,

различающимся по сложности условий проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог и сооружений на них [168]. Целью дорожно-климатического районирования, прежде всего, является установление расчётных значений характеристик влажности земляного полотна, которые зависят от типа грунтов, их состава (гранулометрического, минералогического) и свойств, например, влажности; задачами такого районирования являются: классификация территорий по степени увлажнения, объединение однотипных по данному показателю смежных территорий в дорожные зоны, составление карт-схем зонирования и таблицы характеристик этих зон [31].

Первая карта-схема дорожно-климатического районирования СССР была разработана в 1941 г. А.В. Гербурт-Гейбовичем [9, 10]. За основу выделения зон была принята почвенная карта, разделённая на подзоны, которые отличались друг от друга по условиям осеннего увлажнения грунтов, длительности зимнего периода, фактической подверженности деформациям и разрушениям дорожных одежд в весенний период. На карте-схема было выделено 6 дорожных зон и 16 подзон. В 1944 г. С.Л. Бастамов и Л.А. Преферансова [15] уточнили площади распространения подзон без изменения границ дорожных зон, предложенных А.В. Гербурт-Гейбовичем, в части зимнего и весеннего температурных режимов. В 1947 г. были опубликованы карта-схема дорожно-климатического районирования территории СССР и необходимая для выделения подзон поясняющая таблица с информацией о почвенно-грунтовых и климатических условиях [76]. Недостаток сведений, которые характеризуют распространение подзон, ограничил применение этих результатов.

Понятие «географическая зона» академик Л.С. Берг тесно связывал с представлением о географическом ландшафте [18]. Географическим ландшафтом является своеобразная территория с характерным только для неё закономерным сочетанием основных географических компонентов: климата, рельефа, вод, почв и растительного мира. Влияние ландшафта на каждый из вышеперечисленных компонентов описано в работе [18]. Так, например, Л.С. Берг предложил классификацию климатов, основываясь на тесной связи климата и ландшафта. Также

он отмечает, что выделенные им климатические области (рисунок 1.1) тесно связаны с растительными и почвенными областями. Л.С. Берг определил зоны как области преобладающего развития одних и тех же ландшафтов [19].

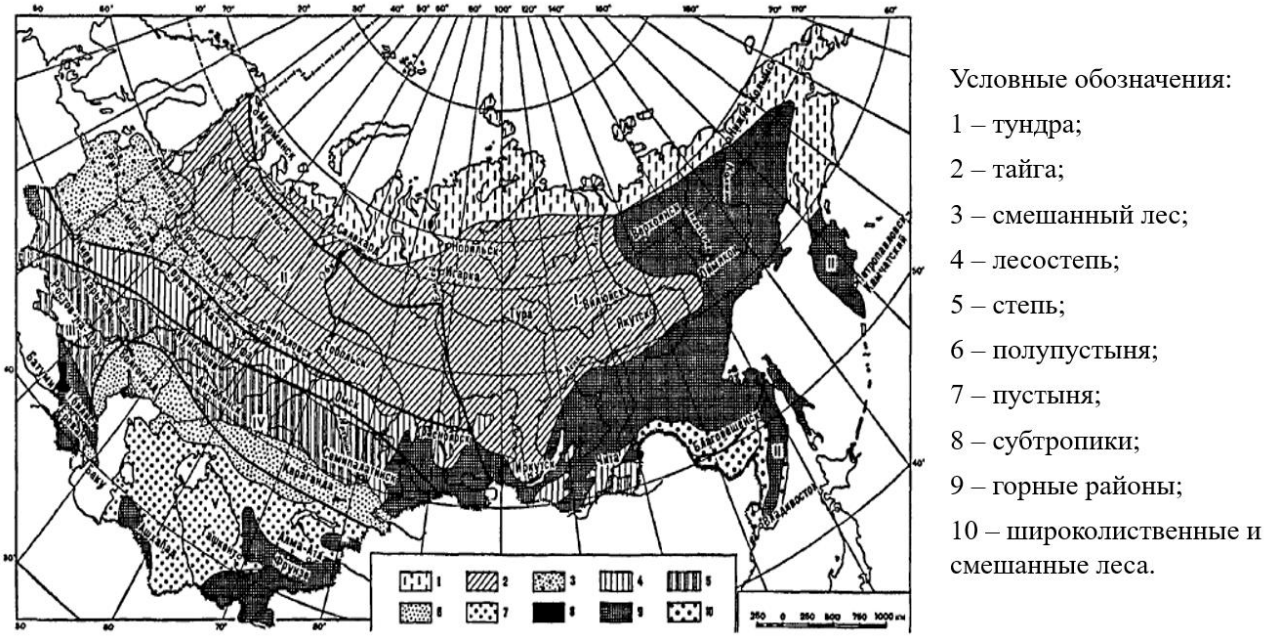
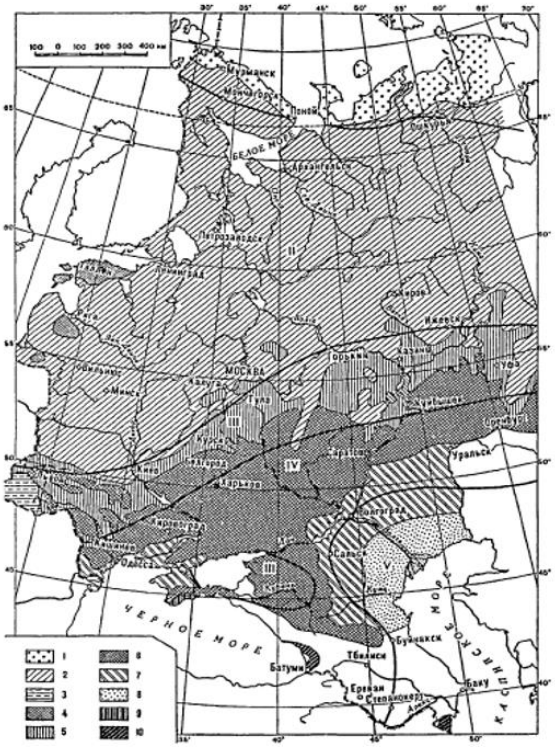


Рисунок 1.1 – Ландшафтное районирование СССР (по акад. Л. С. Бергу [18]) и дорожно-климатическое районирование азиатской части СССР

Совместно с разработкой карты дорожно-климатического районирования территории бывшего СССР были проведены работы по детальному анализу отдельных элементов природно-территориального комплекса зонального характера, а именно: климатических, гидрологических и геоморфологических условий; типов почв и растительности, т. е. основных природных факторов, оказывающих влияние на формирование водно-теплового режима автомобильных дорог (рисунок 1.2). В 1954 г. в строительных нормах и правилах появилась таблица, отражающая территориальное деление СССР на дорожно-климатические зоны; в 1962 г. был издан СНиП II.Д-5-62 «Автомобильные дороги общей сети Союза ССР. Нормы проектирования» [152], в состав которого вошла таблица с характеристикой дорожно-климатических зон и примерным географическим описанием их границ, а также схема деления территории СССР на дорожно-климатические зоны. Позже, в СНиП 2.05.02-85 [150], представлена карта, которая схематично отразила содержание норм 1962, 1972 гг. (рисунок 1.3).



Условные обозначения:

1 – тундровые почвы;

2 – подзолистые и заболоченные почвы;

3 – горнолесные подзолистые почвы;

4 – дерновые перегнойно-карбонатные почвы, вперемешку с подзолистыми;

5 – серые лесные земли и другие почвы лесостепи;

6 – чернозёмные почвы;

7 – каштановые почвы и солонцы;

8 – бурые почвы, солонцы и развеваемые пески;

9 – бурозёмы южных лиственных лесов;

10 – краснозёмы, желтозёмы и субтропические подзолистые почвы.

Рисунок 1.2 – Дорожно-климатические и почвенные зоны европейской части СССР [11]

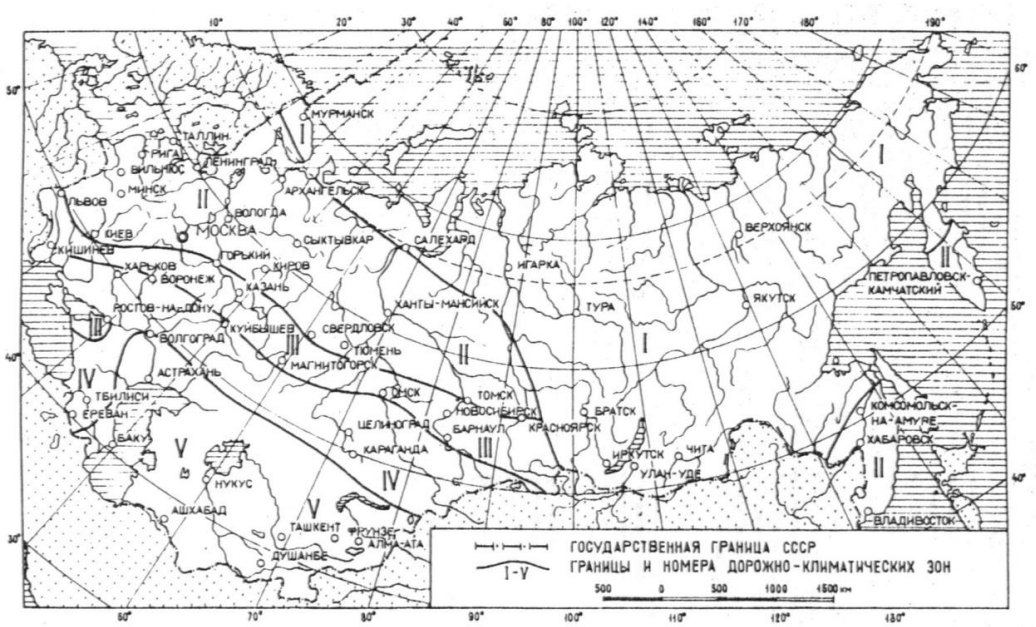


Рисунок 1.3 – Дорожно-климатические зоны СССР [150]

В конце 1960-х гг. канд. техн. наук А.А. Малышев и канд. техн. наук Р.З. Порицкий опубликовали схему деления зоны распространения многолетнемерзлых грунтов (ММГ) на дорожно-климатические подзоны [75, 101, 102] (рисунок 1.4). Относительная однородность выделенных районов установлена по четырём факторам: виду грунта сезонноотаивающего

слоя; его влажности; характеру распределения многолетнемерзлых грунтов и их температур; мощности деятельного слоя. Районирование позволило разработать принципы проектирования и строительства земляного полотна для I дорожно-климатической зоны. В её пределах выделено четыре дорожных подзоны:

1. Территория высокой влажности грунтов сезонноотаивающего слоя (влажность грунтов выше границы текучести).
2. Территория умеренной влажности грунтов ($0{,}8 - 1\ W_т$).
3. Территория малой влажности грунтов сезонноотаивающего слоя ($< 0{,}8 W_т$).
4. Территория островной вечной мерзлоты ($0{,}7 - 1\ W_т$).

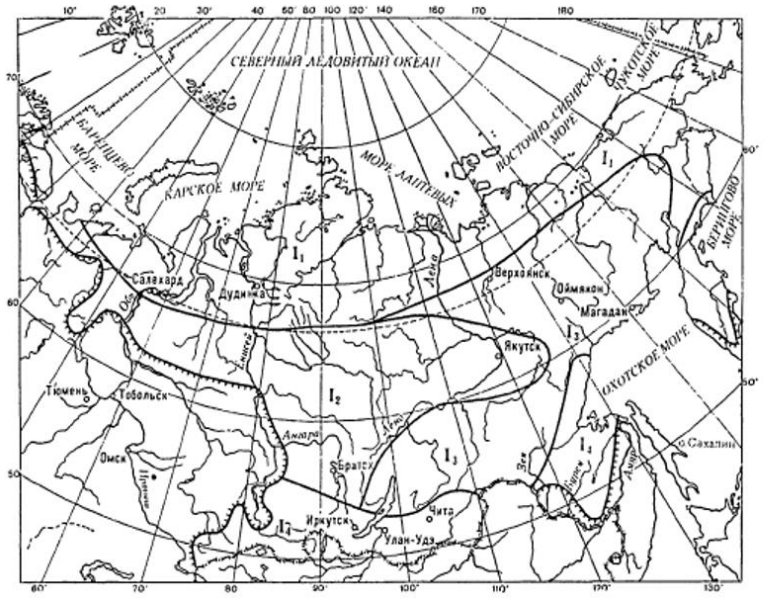


Рисунок 1.4 – Схема деления зоны распространения многолетнемерзлых грунтов на дорожно-климатические подзоны (по А.А. Малышеву и Р.З. Порицкому) [75].

В «Инструкции по изысканиям, проектированию и строительству автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты» (1976 г.) отражена схема районирования зоны распространения многолетнемерзлых грунтов (ММГ). Зона распространения многолетнемерзлых грунтов – I дорожно-климатическая зона (ДКЗ) была условно уже разделена только на три подзоны. Подзоны отличались по типу распространения мерзлоты, температуре ММГ, влажности грунтов земляного полотна и сезонноотаивающего слоя. Карта была составлена по расчётной влажности грунтов земляного полотна для типовой конструкции, в окончательном

же районировании Омский филиал СоюзДорНИИ решил привязать подзоны к влажности грунтов естественного залегания. I_1 – северная подзона низкотемпературных многолетнемёрзлых грунтов (НТММГ) сплошного распространения с высокой влажностью грунтов сезонноотаивающего слоя (влажность грунтов выше предела текучести); I_2 – центральная подзона НТММГ сплошного распространения с умеренной влажностью грунтов сезонноотаивающего слоя ($W_{\text{отн}} = 0{,}7 - 1$); I_3 – южная подзона высокотемпературных многолетнемёрзлых грунтов (ВТММГ) сплошного и островного распространения с умеренной влажностью сезонноотаивающего слоя ($W_{\text{отн}} = 0{,}7 - 1$). Эта же схема приведена в ВСН 84-89 [34]. Схема районирования зоны распространения ММГ Омского филиала СоюзДорНИИ тщательно прорабатывалась на территории азиатской части России, а её европейская часть была исследована весьма схематично и только со стороны южной границы распространения многолетнемёрзлых грунтов. Это становится очевидным, если обратить внимание на то, что после подзоны I_3 сразу следует подзона I_1, т. е. отсутствует подзона I_2. Схема районирования представлена на рисунке 1.5 [34].

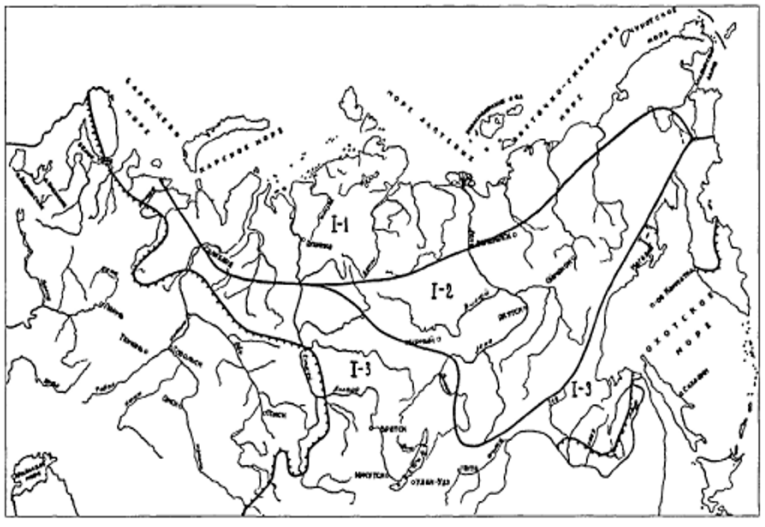


Рисунок 1.5 – Схематическая карта дорожно-климатического районирования I дорожно-климатической зоны [34]

На представленной в СП 34.13330.2021 [157] карте дорожно-климатического районирования I дорожно-климатическая зона разделена на три подзоны по влияющим на устойчивость дорожных конструкций признакам [156]: рельеф

местности; гидрология; среднегодовые температуры воздуха; характер распространения ММГ и их температура; мощность слоя сезонного оттаивания; вид грунта сезонноотаивающего слоя и его влажность; величина снегопереноса. Обобщенность вышеперечисленных признаков обусловлена сочетанием грунтово-гидрологических, климатических и мерзлотных особенностей. Данная совокупность свойственна природным ландшафтам и рельефу земной поверхности, из-за чего для выделения границ подзон за основу взяты границы зональных типов ландшафтов [156].

Необходимость в детализации районирования территорий дорожно-климатических зон и дислокации их границ отражена в работах проф. С.В. Алексикова [2, 54, 96], проф. В.В. Боровика [26, 91], проф. В.А. Давыдова [33, 161], проф. В.Н. Ефименко [58, 63, 64], профессоров А.И. Ярмолинского и В.А. Ярмолинского [116, 190, 191] и др. В настоящее время работы Т.В. Бобровой [25], А.М. Кулижникова [94], Т.В. Самодуровой [137, 138, 139] и др. [29, 62, 181] направлены на выполнение более детального дорожно-климатического районирования для различных целей, например, применительно к условиям зимнего содержания автомобильных дорог [24, 25].

Канд. техн. наук О.Н. Гулько под руководством профессора В.А. Давыдова [51, 53] предложил критерии для дорожно-климатического районирования территории Европейского Севера Российской Федерации, которую характеризует наличие многолетнемёрзлых грунтов. Детализация дорожно-климатических подзон в его работе основана на методе покомпонентного районирования с учётом элементов геосистемы. Предложенный им метод был реализован в виде стандарта организации СТО 218.3.001–2006 «Проектирование и устройство теплоизолирующих слоев из экструдированного пенополистирола STYROFOAM на автомобильных дорогах России» [161].

Специалисты Тихоокеанского государственного университета [110, 189, 190] считают, что наиболее эффективная форма регионального дорожного районирования – это выделение однородных территорий по признакам геокомплекса в пределах административных границ краёв и областей. Данный

подход к дорожно-климатическому районированию аргументирован тем, что основная сеть дорог, расположенных на территориях административных образований, представлена транспортными сооружениями областного или краевого значения. Их проектируют, строят, ремонтируют и содержат, как правило, специализированные организации, для которых и предназначены результаты работ по уточнению нормативно оформленного дорожно-климатического районирования.

Аналогичное уточнение распространения границ дорожных зон, подзон и районов для территории административных образований, расположенных в Западно-Сибирском регионе, отражено в диссертационных работах, защищённых С.В. Ефименко (2006, 2017 гг.) [69, 70], М.В. Бадиной (2009 г.) [13], А.О. Афиногеновым (2011 г.) [8] под руководством профессора В.Н. Ефименко.

При значительных по площади размерах территорий, занимаемых дорожно-климатическими зонами России, уточнение дислокации их границ, выделение подзон и дорожных районов целесообразно осуществлять именно в пределах границ административных образований. А далее необходимо производить «сшивку» границ дорожных районов, расположенных на территориях других административных образований, примыкающих к тем, в пределах которых уже выполнены работы по учёту элементов геокомплекса [67, 71].

Главная задача уточнения существующего дорожного районирования по таксономической схеме «зона – подзона – дорожный район» применительно к проектированию, строительству, ремонту и содержанию автомобильных дорог – выделение таких районов для отдельных регионов России, в пределах которых однотипные дорожные конструкции (по категории автомобильной дороги, наименьшему возвышению поверхности покрытия над уровнем грунтовых вод или длительно стоящих поверхностных вод, характеру грунта) будут охарактеризованы близкими значениями прочности и устойчивости [67].

Стоит отметить, что методология выделения однородных территорий в таксономической системе единиц «зона – подзона – дорожный район» должна включать следующие этапы, обозначенные в работе [195]:

- формирование информационной базы для моделирования показателями геокомплекса зонального, интразонального и регионального характера;
- уточнение границ таксонов зона, подзона и дорожный район с привлечением информационно-вычислительных технологий;
- осуществление корректировки положения границ районов, подзон и зон для смежно расположенных территорий административных образований.

Таким образом, обзор имеющихся сведений по уточнению действующего дорожно-климатического районирования в России свидетельствует о том, что все исследования, проведенные к настоящему времени, локальны по территориальному признаку и, к сожалению, бессистемны. Исследователи, как правило, испытывают затруднения при сравнении или объединении результатов дифференцирования огромной по площади территории государства, тем более полученных по разным методическим схемам.

1.2 Классификация и однородность комплекса факторов, определяющих природно-климатические условия территории исследования

В основе районирования территорий лежит следующее представление: географическая оболочка состоит из качественно различающихся, относительно стабильных в течение некоторого периода времени частей. Этот принцип называют пространственной географической дифференциацией [95]. При таком подходе схема районирования – это отражение естественной дифференциации, следовательно, процесс районирования – построение такого отражения. Это означает, что схема районирования вторична по отношению к географической дифференциации.

На практике районирование можно осуществить как переработку информации, содержащейся в географической среде [35, 132]. На первом этапе работы ведут сбор исходных данных, при обработке которых как основное допущение принимают следующее: измеряемые характеристики на всей площади

операционной таксономической единицы находятся в течение некоторого периода времени в одном и том же состоянии. Именно поэтому операционная единица при последующих этапах районирования может быть рассмотрена как неделимый элемент. Сбор информации в пределах этих элементов производят по конечному числу признаков, принимающих конечное число состояний. Составляющей информации можно считать значение одного параметра для одной единицы. Таким образом, естественную географическую дифференциацию отражают в доступной для дальнейшей обработки форме конечного количества характеристик операционных таксономических единиц – наборе элементов информации. В дальнейшем исследователь имеет дело лишь с этими «эквивалентами» реальных объектов.

Основной принцип выделения однородных районов – относительное сходство между операционными таксономическими единицами [131]. Такой вид районирования может быть реализован с помощью операций, соответствующих процедуре классификации. При этом работу по районированию территории могут осуществлять в соответствии с логическими законами, позволяющими подводить географические объекты под определенные научные понятия [1, 100]. Рассмотрим соотношение между операцией районирования и операцией классификации для корректного перехода от одной операции к другой.

Классификация и районирование – две формы отражения естественной дифференциации окружающей среды. Процедура классификации заключается в распределении предметов по классам согласно различию и сходству между ними таким образом, что каждый класс относительно других классов занимает фиксированное место. Это фиксирование можно реализовывать двумя способами:

1. принятием взаимоисключающих качественных признаков;
2. выделением жесткого численного интервала изменения значений признака (при наличии измерений).

Следовательно, класс, с одной стороны, – это совокупность предметов, имеющих один или несколько общих признаков, с другой – некоторое общее свойство, которое может быть обнаружено у нефиксированного числа предметов.

На практике классификация сводится к переработке информации о конкретных явлениях или предметах, в результате которой может быть произведен переход к обобщению на уровне отличительных признаков, абстрагированных от их первоначальных носителей.

Районирование, осуществляемое с учётом принципа однородности, имеет две особенности [125]:

1. предварительное вычленение на районируемой местности элементов классификации в принятой таксономической системе;
2. учёт признаков, характеризующих расположение объектов на поверхности исследуемой территории.

Кроме того, возникает необходимость в специальных операциях по оконтуриванию районов на карте. В остальном процедуры обработки исходной информации для целей классификации и районирования совпадают [83, 145].

Основанием для использования операций классификации при выделении относительно крупных таксономических единиц служат работы Д.М. Сонечкина [153], К.В. Зворыкина и В.А. Углова [74], А.Е. Фединой [176] и С.А. Ракиты [128]. В основу перечисленных работ лёг типогенный способ районирования, названный так Б.Б. Родоманом [131]. В нём задействована информация, получаемая в точках наблюдения, размещенных на районируемой территории. К данному способу можно отнести все случаи обнаружения фаций или иных крупномасштабных выделов, основывающихся на характеристиках типичных точек наблюдения или на ключевых участках. Справедливость этого утверждения опирается на понятие «типичная точка наблюдения» – это точка, которая является представителем целого типа (группы) аналогичных точек или участков, входящих в выделенный контур. То, что остальные точки или участки непосредственно не изучаются, не имеет значения.

Рассмотрим процедуру выявления однородных районов, для того чтобы выделить входящие в неё этапы. Для начала образуют совокупность операционных таксономических единиц и описывают каждую из них, после этого осуществляют районирование как переработку собранной информации. Исходный материал –

набор элементарных описаний и схема расположения операционных единиц на карте.

I этап: выполняют сравнение элементарных описаний и объединение сходных показателей в однородные группы. Для каждой такой группы фиксируют общую характеристику (общее качественное проявление признака или интервал его значений) всех операционных таксономических единиц, чьи описания попали в одну группу, т. е. образуют класс единиц. Другими словами, все единицы, при изучении которых отмечена рассматриваемая характеристика, – единицы одного класса. Обнаружение общей характеристики у группы единиц и служит основанием для отнесения их к однородному району.

II этап: диагноз операционных единиц на карте, объединение относящихся к одному классу и совместно расположенных единиц в общий контур. Анализ их совместного расположения на схеме, отражающей расположение на местности, соответствует их классификации по признаку местоположения. В общем виде этот признак можно рассматривать как расположение единиц в некотором интервале долгот и широт, расстояний и направлений от некоторых точек отсчёта. Таким образом, однородный район соответствует классу операционных единиц, в общую характеристику которых включены не только признаки самих объектов, но и признаки их совместного расположения на местности.

В этом и состоит специфика районирования по однородности, например, элементов природно-территориального комплекса по сравнению с классификацией любых других объектов. Вышеизложенное позволяет считать описанные этапы районирования частным случаем классификации (процедуры), что позволяет рассчитывать на то, что конечные продукты процедур классификации и районирования будут аналогичны. И если отойти от характерной для районирования формы изображения, то можно получить следующий ряд соответствий [13]: операционная таксономическая единица соответствует элементу классифицируемой совокупности; иерархия таксонов районирования соответствует иерархии таксонов классификации.

Принимая во внимание то, что любой район низшего ранга территориально и по своим содержательным характеристикам охватывается районом высшего ранга, станет очевидным последнее соответствие. Данное соотношение соответствует отношению включения в логике, на котором строятся классификации, – класс низшей ступени включается в класс высшей ступени. То есть между классами соседних ступеней существует отношение подчинения, а между классами одной ступени – отношение соподчинения. Районирование, как и классификация, может быть одноэтапным. Здесь можно говорить об отношении операционных таксономических единиц (элементов совокупности) и созданных из них районов.

Разница между продуктами районирования и классификации в пространственной форме результата дифференциации территории, под которой подразумевают обязательное участие картографического изображения, сохраняющего геометрическое подобие изучаемым объектам. Это позволяет рассматривать результат районирования по однородности, проводимого в соответствии с операциями классификации, в качестве специфической формы отражения дифференциации окружающей среды.

Рассмотренное ранее применение операций классификации относится к тем случаям, когда дифференциацию территорий выполняют по одному признаку. Однако во многих случаях выделение однородных районов требует учёта большого числа параметров. Это означает, что требование однородности должно быть выполнено для всех признаков, которыми исследователь охарактеризовал климат, геологическое строение территории, растительность и другие компоненты геокомплекса. Территориальное деление по набору признаков тоже может быть формализовано путём перехода к операциям классификации, но для этого приходится обращаться к многомерным классификациям, имеющим некоторые существенные особенности.

Существует два подхода к проведению районирования по совокупности признаков [105]:

1. одновременный учёт всех признаков природных компонентов при выделении районов любого ранга;
2. последовательное введение (чередование) признаков, при котором на каждой ступени районирование производят только по одному признаку.

Одновременный учёт всех признаков природных комплексов осуществляют с применением трёх методов:

1. метод ведущего фактора;
2. метод сопряженного анализа компонентов;
3. районирование на ландшафтно-типологической основе.

Суть *метода ведущего фактора* заключается в том, что исследователи ведут территориальную дифференциацию по одному наиболее важному признаку. В качестве ведущего фактора принимают чаще всего геолого-геоморфологические особенности территории. Достоинством можно назвать простоту использования, значительно сокращающую и упрощающую работу по районированию. К недостатку можно отнести то, что данное деление территории утрачивает принцип комплексности, который является одним из главных принципов, и может превратиться в геоморфологическое районирование, если ведущим фактором была выбрана характеристика рельефа.

Районирование по ведущему фактору следует рассматривать в качестве способа выявления основной причины, которая приводит к обособлению этой территории, т. к. в процессе формирования природного территориального комплекса участвуют взаимосвязанные компоненты, а изучение и выделение комплекса по одному из них противоречит наблюдаемым в природе процессам взаимодействия [31].

Суть *метода сопряжённого анализа компонентов (метода территориальной дифференциации по комплексу признаков)* заключается в выявлении природных территориальных комплексов на основе изучения взаимосвязей системы компонентов. Анализ компонентов по типологическим картам отражает лишь качественную оценку природных условий дорожного

строительства. Недостатком данного метода следует также считать весьма субъективное определение дислокаций границ природных территориальных комплексов [31].

В качестве низшей таксономической единицы при районировании *на ландшафтно-типологической основе* выделяют территории с однородным сочетанием различных природных комплексов [121]. По форме процедура районирования протекает как одноступенчатая классификация сложных или условных операционных таксономических единиц – сочетаний нескольких природно-территориальных комплексов. Группа сложных или условных единиц однородна, если в каждой из них присутствуют комплексы одних и тех же типов в близких соотношениях. Наличие набора природных комплексов определенных типов, сочетание или преобладание некоторых из них является классификационным признаком [5, 169]. Неявное формирование сложных или условных единиц, как и последующих операций классификации, в ходе районирования нередко приводит к тому, что таксономическая единица – это не класс однородных образований, а индивидуальный объект [4, 22, 83].

Последовательное введение (чередование) признаков может быть реализовано с помощью двух методов:

1. картографический метод наложения серии карт отраслевого районирования;
2. многоступенчатая классификация.

Картографический метод наложения серии карт отраслевого районирования [4]. В зависимости от имеющихся материалов используют карты, на которые нанесены сетки районов или изолинии, которые отражают пространственное варьирование отдельных признаков. Эта картографическая операция соответствует логической операции умножения классов, в результате которой образуются новые классы. При пересечении границ двух таксономических единиц, каждая из которых однородна по одному признаку, формируются ячейки – районы, однородные по этим двум признакам [4].

Многоступенчатая классификация соответствует логической операции деления объема понятия на классы, роды и виды. Исходная совокупность операционных таксономических единиц соответствует кругу предметов, образующих объем этого понятия. При делении выявляют те признаки, которые свойственны одним видам единиц и отсутствуют в других видах. Например, на первой ступени выделяют операционные таксономические единицы, углы наклона поверхности которых попадают в некоторый фиксированный интервал значений. На следующей ступени среди данного рода единиц выделяют виды по признаку глубины залегания грунтовых вод.

Применяемые исследователями методы районирования (метод ведущего фактора, сопряженного анализа компонентов, наложения схем покомпонентного районирования) несомненно позволяют исследователям решать многие вопросы, связанные с изучением бесконечного разнообразия объектов природно-территориального комплекса при сравнительной неполноте имеющихся в их распоряжении фактических данных. Однако отсутствие единых приёмов сбора и обработки информации, слабая разработанность правил выбора элементов наблюдения и проведения границ, критериев однородности и целостности выделяемых районов затрудняют использование предложенных ранее схем районирования. Значительные трудности возникают в первую очередь при оценке, сравнении или объединении работ, выполненных специалистами разных организаций.

1.3 Принципы формирование информационной базы данных для дорожно-климатического районирования

Разрабатывая теорию районирования, профессор В.М. Сиденко предложил перейти от дорожно-климатического к дорожному районированию, представляя его как метод объединения однородных территорий по признакам, оказывающим влияние на проектирование, строительство или эксплуатацию автомобильных дорог [145]. Им рассмотрено два вида районирования: физическое и инженерное. *Физическое* дорожное районирование опирается на учение о ландшафте и на

зональные и азональные закономерности формирования природных территориальных комплексов. *Инженерное* же опирается на выявленную зависимость влияния компонентов географического комплекса на дорогу или строительный процесс. При этом учитывают и характер изменения элементов природно-территориального комплекса во времени и пространстве.

Ещё в 30-е гг. прошлого столетия проф. Г.Д. Дубелир [55] подчёркивал, что геофизические факторы (географическое положение района проложения трассы, временя года, рельеф местности, почвенные и гидрологические условия) в значительной мере определяют условия службы автомобильных дорог. Позднее проф. А.К. Бируля [22] отмечал, что закономерности изменения климатических условий, играющих основную роль в формировании географического ландшафта, определяют критерии в выработке принципов и методов проектирования и строительства дорог в различных географических районах.

Все факторы, от которых зависит устойчивость земляного полотна и дорожной одежды, канд. техн. наук Ю.Л. Мотылёв [105] разделил на четыре группы: *азональные*; *зональные*; *интразональные* и *региональные*.

Принцип разделения приведённых факторов определяет методы их учёта при проектировании и строительстве дорог.

Азональные факторы – постоянные, не зависящие от природных условий и не требующие зональной дифференциации. Их учитывают непосредственно в виде исходных численных данных или табличных расчетных величин.

К азональным факторам отнесены:

- постоянная нагрузка от собственного веса земляного полота и дорожной одежды;
- временная нагрузка от транспортных средств, которую характеризуют интенсивностью и составом движения;
- устойчивость и прочность дорожно-строительных материалов, на физико-механические свойства которых оказывают незначительное влияние или же не влияют вовсе условия увлажнения, следовательно,

эти материалы можно охарактеризовать одними и теми же расчетными показателями данных свойств независимо от района применения.

Однако азональные факторы не отражают особенности природно-климатических условий и лишь косвенно влияют на прочность и устойчивость земляного полотна и дорожных одежд автомобильных дорог.

Зональные факторы – факторы, изменения которых подчиняются географической закономерности. Прежде всего их учитывают расчётной схемой, отражающей в общем виде их влияние на показатели устойчивости земляного полотна и дорожной одежды. Дифференциация по зональным факторам предполагает, что факторы, не зависящие непосредственно от климата (рельеф местности, вид грунта или материала, конструкция земляного полотна и дорожной одежды), должны быть строго одинаковые.

К зональным факторам отнесены:

- климатические условия, которые характеризуют следующими показателями: средние, минимальные и максимальные температуры; количество и сезонное распределение осадков; испарение из почвы; высота снежного покрова; глубина и скорость промерзания грунтов и др.;
- факторы, которые определяют климатом и являются его следствиями: зональный почвенный тип; преобладающие уровень и режим грунтовых вод; характер растительного покрова и т. д.;
- факторы, которые в значительной мере определяют климатом: расчётные прочностные показатели связных грунтов и некоторых дорожно-строительных материалов, физико-механические свойства которых зависят от условий увлажнения.

Интразональные факторы – природные факторы, которые могут существенно изменяться в пределах территории каждой зоны, поэтому они не поддаются зональной дифференциации. С интразональными факторами сопряжены особенности строительства дорог на болотах и переувлажненных слабых грунтах; задачи обеспечения устойчивости откосов высоких насыпей и

глубоких выемок, борьбы с оползнями и другие. Степень влияния этих факторов и их изменений на устойчивость земляного полотна и дорожных одежд в разных зонах различна, но качественный характер этого влияния одинаков. Это позволяет дифференцировать данные факторы в пределах каждой зоны на основе общих принципов.

К интразональным факторам отнесены:

- рельеф местности, определяющий условия стока и водоотвода;
- местные колебания уровня грунтовых вод, связанные с условиями их питания (наличием рек или озёр) и особенностями микрорельефа;
- гранулометрический состав грунтов, в значительной мере определяющий их физико-механические свойства.

Региональные факторы носят местный, специфический характер и встречаются лишь в какой-либо зоне или в некоторых районах одной или нескольких зон; непосредственно связаны с зональными и интразональными факторами и обусловлены ими. Учёт этих факторов требует частных региональных решений, т. к. их трудно учесть в общих расчётных схемах. К ним нельзя применить принцип зональной дифференциации расчётных величин и нормативов.

Региональные факторы делят на природные и связанные с деятельностью человека.

К природным региональным факторам отнесены:

- распространение грунтов, находящихся в особом естественном состоянии, затрудняющем их использование как оснований сооружений или материала для их возведения (например, многолетнемёрзлые грунты);
- распространение грунтов особых разновидностей, отличающихся по своим свойствам от обычных грунтов того же гранулометрического состава из-за морфологических и генетических особенностей, а также наличия органических или минеральных примесей (например, засоленные грунты, просадочные лёссы);

- региональные геологические явления (например, селевые выносы в горных районах).

К региональным факторам, связанным с хозяйственной деятельностью человека, отнесены факторы, оказывающие значительное влияние на водный режим и устойчивость земляного полотна (например, искусственное орошение).

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 (рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 – Элементы информационной базы данных для целей дорожно-климатического районирования

К зональным признакам, принятым при формировании базы данных, относят показатели климата за период наблюдения 25–30 лет, которые характеризуют среднемноголетними значениями [73]. Такими признаками являются

среднегодовая температура воздуха, годовое количество осадков, высота снежного покрова, величина испарения с поверхности суши [60]; интразональными – рельеф местности, тип грунта, гранулометрический состав и характер распространения растительности; региональными – мощность толщ многолетнемёрзлых грунтов. Число факторов, характеризующих таксоны, может варьироваться в зависимости от того, для каких целей (проектирование, строительство или содержание автомобильных дорог) разрабатывают карты дорожно-климатического районирования.

Взяв за основу разделение территории Ямало-Ненецкого автономного округа по дорожно-климатическому районированию таксономическую систему «зона – подзона – дорожный район» в пределах административного образования территории исследования, выделение дорожных подзон охарактеризуем группой интразональных, а районов – региональных факторов. Азональные же факторы не отражают особенности природно-климатических условий и лишь косвенно влияют на прочность и устойчивость земляного полотна и дорожных одежд автомобильных дорог, поэтому в наших исследованиях они не учтены.

1.4 Методы прогнозирования влажности грунтов земляного полотна – составляющей информационной базы дорожно-климатического районирования территорий

При формировании информационной базы данных особое значение имеет выбор метода назначения расчетной влажности грунта земляного полотна. В настоящее время сложилось три основных подхода к определению расчётной влажности [59, 165, 166].

1. Натурные наблюдения за влажностью грунтов рабочего слоя земляного полотна на сети автомобильных дорог за счёт устройства стационарных постов наблюдения или на специализированных испытательных полигонах. Однако транспортная сеть на территории России развита неравномерно, из-за чего проведение мониторинга влажности возможно далеко не для всех территорий. Кроме того, результаты таких наблюдений не всегда могут быть доступны

проектным организациям. Выполнение крупномасштабных исследований на специализированных полигонах, сходных по масштабу с выполняемыми, например, на территории США [212], Японии [202] или Кореи [194], в России затруднительно ввиду очень высокой стоимости строительства и эксплуатации таких объектов [209].

2. Инженерные изыскания, предшествующие разработке проектной документации на строительство автомобильной дороги. В подобных случаях отбор проб грунта ненарушенной структуры, а также испытания по определению характеристик прочности и деформируемости ведут в ограниченный временной промежуток. Чаще всего это летний период, когда происходит уменьшение влажности (просыхание) грунтов земляного полотна, в то время как наибольшая влажность достигается к концу холодного периода (расчётный период года).

3. Прогнозирование расчётной влажности с применением методов математического моделирования. Наиболее полно исследования процесса накопления влаги в грунтах земляного полотна отражены в работах профессоров И.А. Золотаря, М.Б. Корсунского, Н.А. Пузакова, В.И. Рувинского, В.М. Сиденко и их учеников. Разработанные ими методы распространяются на территории с индивидуальным сочетанием признаков природно-территориального комплекса.

Основой разработанного проф. Н.А. Пузаковым метода «годо-станций» [126] являются сведения многолетних эпизодических наблюдений, выполняемых на нескольких станциях, расположенных в схожих грунтово-гидрологических условиях. Данный метод хорошо зарекомендовал себя в районах II ДКЗ европейской части России.

Проф. В.М. Сиденко разработал методы определения расчётной влажности грунтов земляного полотна, предназначенные для территории IV и V ДКЗ, на основе экспериментальных исследований [148], проведенных в степных районах УССР. Математический аппарат «расчётного метода» построен с использованием теории вероятностей. Для получения репрезентативной выборки необходимо иметь достаточно длительный (не менее 15 лет) статистический ряд натурных наблюдений за сезонным изменением влажности грунтов земляного полотна [21,

145]. При наличии короткого ряда наблюдений (от 5 до 7 лет) В.М. Сиденко рекомендует «метод корреляции» с целью искусственного увеличения ряда наблюдений. Для этого допускается применять сведения наблюдений за влажностью грунтов открытого поля на агрометеостанциях (АМС) [146]. Возможность применения такого подхода на примере региональных условий Нижнего Поволжья подтверждена в работах И.С. Алексикова, А.Н. Бадрудиновой, А.С. Любченко [1, 14, 99]. Использование «метода аналога» возможно при наличии эпизодических наблюдений продолжительностью 3–4 года, характеризующих среднемаксимальное увлажнение грунтов [148]. При этом для района с малым рядом наблюдений подбирают хорошо изученный аналог – АМС с долговременным рядом наблюдений и сходными климатическим и грунтово-гидрологическим условиями. Метод «открытого поля» предназначен для определения расчётной влажности грунтов земляного полотна при отсутствии наблюдений за её сезонным изменением. В этом случае В.М. Сиденко предложил применять сведения многолетних наблюдений за влажностью грунтов открытого поля на площадках АМС с учётом влияния конструкции дорожной одежды на протекание водно-теплового режима земляного полотна [148].

На основе исследований проф. В.М. Сиденко в работе Н.Е. Кокодеевой [86] разработана модель для оценки вероятности переувлажнения грунта относительно оптимальной влажности, что при проектировании автомобильных дорог позволяет оптимизировать решения по водоотводу, а также предложена гипотеза о параллельном перемещении эпюры влажности грунта земляного полотна под основанием дорожной одежды во время поднятия грунтовых вод с низкого до высокого уровня (для участков третьего типа местности по условиям увлажнения).

Проф. В.П. Носовым разработана физико-математическая модель водно-тепловых процессов для учёта изменений деформационных характеристик грунтов земляного полотна эксплуатируемх автомобильных дорог, которая позволяет получать возможную величину изменения влажности грунта на разных глубинах по задаваемым метеорологическим условиям при нестационарном протекании влагонакопления [109].

В работе [41] проф. М.Г. Горячевым предложена и теоретически обоснована «гипотеза задания и описания сезонного процесса влагонакопления в грунте рабочего слоя земляного полотна функцией простого гармонического колебания». Адекватность предложенной гипотезы проверена авторами [40] на основе экспериментальных работ В.П. Носова [109], В.М. Сиденко [147], В.Н. Шестакова [185], Е.В. Угловой [173] и собственных исследований водно-теплового режима земляного полотна, выполненных на автомобильных дорогах Московской области. Высокая сходимость натурных и расчётных данных получена для большинства природно-климатических и грунтово-гидрологических условий европейской части Российской Федерации, Украины, Беларуси и некоторых территорий Сибири [40]. В то же время широкий диапазон природных условий, принятый авторами гипотезы в своих исследованиях, и составы преобладающих в регионах глинистых грунтов (минералогия, гранулометрия) свидетельствуют о необходимости продолжения изучения процессов влагонакопления в земляном полотне тех или иных регионов.

Канд. техн. наук Н.Ф. Савко, основываясь на решении уравнения тепло- и массопереноса Г.М. Фельдмана [178], предложил метод прогнозирования влажности в зависимости от схемы увлажнения: для открытой системы (в зоне постоянного миграционного потока); для открытой системы с зоной влияния грунтовых вод; для закрытой системы с зоной иссушения грунта [136]. Однако эта модель не учитывает увлажнение дорожных конструкций атмосферными осадками, а период осеннего влагонакопления в годовом цикле водно-теплового режима земляного полотна игнорируется совсем. Ход промерзания дорожной конструкции автор предлагает устанавливать при допущении, что температура талого массива грунта ниже фронта промерзания равна температуре на глубине нулевых амплитуд, что не учитывает тепловой поток снизу.

На основе многолетних исследований водно-теплового режима сезоннопромерзающих грунтов земляного полотна участков автомобильных дорог в условиях глубокого залегания уровня грунтовых вод, выполненных на территории Юго-Востока Западной Сибири [57], проф. В.Н. Ефименко разработал

метод, который позволяет учитывать температурно-влажностный режим дорожных районов, выделенных в таксономической системе «зона – подзона – дорожный район». Предложенный метод прогнозирования расчётной влажности относится к группе косвенных, т. к. при его применении необходимы только расчётные значения метеорологических элементов, влияющих на влагонакопление в земляном полотне [58]. Адекватность применения этого метода в различных природно-климатических условиях подтверждена в работах [84, 162, 177]. Стоит также отметить, что данный метод был включен в отраслевые дорожные нормы ОДН 218.1.052-2002 [115].

Предложенные проф. В.И. Рувинским теория и метод расчёта влажности для II и III ДКЗ европейской части России учитывают две формы передвижения капиллярной воды в слоистых грунтах земляного полотна – собственно-капиллярная и капиллярно-подвешенная [133]. Первое происходит во время выпадения осадков, второе – в промежутках между дождями. Трудности с установлением влажности грунта при перемещении собственно-капиллярной воды, прежде всего, могут быть связаны с установлением исходных данных (значения удельных движущих сил менисков и коэффициентов просачивания воды, её температуры и продолжительности перемещения). При перемещении капиллярно-подвешенной воды дополнительно необходимы данные по интенсивности испарения или пучения грунта при неограниченном подтоке воды к поверхности испарения и к зоне промерзания соответственно. Отметим, что такие условия характерны для участков дорог, относящихся к 2-му или 3-му типу местности по характеру и степени увлажнения. По результатам своих исследований проф. В.А. Ярмолинский [191] отмечает, что теория водно-теплового режима В.И. Рувинского наиболее приемлема для природно-климатических условий Дальнего Востока. Разработанные В.И. Рувинским положения легли в основу пособия к СНиП 2.05.02–85 [119].

Изучение водно-теплового режима грунтов земляного полотна на объектах Ленинградской опытной станции, расположенной в северо-западной части II ДКЗ, позволило выявить его качественные характеристики [89]. По результатам этих

наблюдений проф. М.Б. Корсунским предложено прогнозировать влажность грунтов двумя вероятностными методами [88]. Первый метод базируется на косвенных измерениях и разработан применительно к участкам автомобильных дорог, расположенных в районах с сезонным промерзанием грунтов в неблагоприятных гидрологических условиях (3-й тип местности по характеру и степени увлажнения). При его применении необходимы сведения многолетних наблюдений за основными факторами, обусловливающими процесс влагонакопления в грунтах (уровень грунтовых вод, метеорологические элементы и др.) [88]. Второй метод следует применять при наличии достаточного объёма многолетних прямых измерений влажности грунтов земляного полотна. При этом величину средней многолетней осенней влажности грунтов земляного полотна М.Б. Корсунский предлагает определять по методу проф. И.А. Золотаря.

Математическая модель прогноза влагонакопления, разработанная проф. И.А. Золотарём, заключается в последовательном прогнозировании осенней и весенней влажности грунта рабочего слоя земляного полотна с учетом характера увлажнения земляного полотна; глубины расположения грунтовых вод осенью; возвышения бровки земляного полотна над уровнем грунтовых вод; коэффициента влагопроводности, характерного для территории грунта; продолжительности периода осеннего влагонакопления; особенностей конструкций дорожной одежды; характеристики скорости промерзания дорожной конструкции [76 , 77, 78]. Данный метод прогноза влагонакопления может быть применен и к районам распространения многолетнемерзлых грунтов (I дорожно-климатическая зона) [75, 80].

Испытания, выполненные на полигонах AASHTO (штат Иллинойс, США) [192, 201], MnRoad (штат Миннесота, США) [172, 199, 210], NCAT (штат Алабама, США) [200, 204], WesTrack (штат Невада, США) [203, 211], являются наиболее известными зарубежными работами, направленными на исследование состояния дорожных конструкций с учётом протекания водно-теплового режима грунтов земляного полотна, характерного для конкретной территории. Отдельно отметим работы, выполненные в Аризонском государственном университете (Arizona State University) группой учёных под руководством W.N. Houston и C.E. Zapata, которые

направлены на разработку вычислительной модели для количественной оценки воздействия окружающей среды на состояние дорожных одежд и сезонное изменение влажности грунтов земляного полотна в течение их жизненного цикла на основе экспериментальных исследований на полигоне AASHTO [212].

В заключение отметим, что для определения расчетной влажности грунта земляного полотна на территории ЯНАО можно применить метод, разработанный проф. И.А. Золотарем [76]. Он показал высокую сходимость результатов экспериментов и теоретических вычислений влажности грунтов земляного полотна, что подтверждено в исследованиях В.Н. Ефименко [57], С.В. Ефименко [69], Е.И. Кирякова [84], М.В. Бадиной [13], А.В. Сухорукова [166], В.М. Маркуц [103], а также стандартизацией его в нормах проектирования ГОСТ Р 71404–2024 [49].

1.5 Цель и задачи исследования

Обзор и анализ опубликованных научных исследований позволил сделать следующие выводы:

1. Действующие нормативные документы по проектированию автомобильных дорог не в полной мере учитывают региональные особенности природно-климатических условий отдельных территорий России, включая Ямало-Ненецкий автономный округ, результатом чего является некачественное проектирование транспортных сооружений, что может сказаться на продолжительности и эффективности эксплуатации автомобильных дорог в предполагаемые при их проектировании межремонтные периоды, а также объёмах непредвиденных затрат на приведение дорожных конструкций в требуемое по условиям движения состояние. Необходимым условием обеспечения требуемого уровня надёжности автомобильных дорог, эксплуатируемых в регионе исследования, является учёт при их проектировании элементов географического комплекса, определяющих водно-тепловой режим слоёв земляного полотна и дорожных одежд за счёт дифференциации в регионе

территорий, однородных по комплексу зональных, интразональных и региональных признаков.

2. Существующие методы районирования территорий не позволяют учесть всё многообразие характеризующих их природно-климатических особенностей. Отсутствие единых приёмов сбора и обработки информации, определяющей водно-тепловые процессы в слоях дорожной конструкции, слабая разработанность правил выбора элементов наблюдения и проведения границ, критериев однородности и целостности выделяемых районов затрудняют использование предложенных ранее схем дифференциации значительных по площади территорий. Результаты исследований, выполненных разными авторами, трудно поддаются сравнению или объединению.
3. Взяв за основу разделение территории Ямало-Ненецкого автономного округа по дорожно-климатическому районированию таксономическую систему «зона – подзона – дорожный район» в пределах административного образования территории исследования, выделение подзон охарактеризуем группой интразональных, а дорожных районов – региональных факторов. По мнению специалистов, азональные факторы не отражают особенности природно-климатических условий и лишь косвенно влияют на прочность и устойчивость земляного полотна и дорожных одежд автомобильных дорог, поэтому в наших исследованиях они не учтены.
4. Для прогноза влагонакопления в грунтах рабочего слоя земляного полотна автомобильных дорог Ямало-Ненецкого автономного округа принят метод проф. И.А. Золотаря, первоначально разработанный для районов распространения многолетнемёрзлых грунтов. Он позволяет наиболее полно учесть особенности природно-климатических условий региона исследования при определении расчетной влажности грунта в рабочем слое земляного полотна 2-го и 3-го типов местности по характеру и степени увлажнения.

На основе изложенного сформулирована **цель исследования** – 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.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЛАГОНАКОПЛЕНИЯ В ГРУНТАХ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

2.1 Развитие методов прогнозирования влажности грунтов земляного полотна

2.1.1 Анализ подходов к прогнозированию влагонакопления в грунтах земляного полотна

Основными расчётными характеристиками, которыми руководствуются при комплексном проектировании земляного полотна и дорожной одежды, являются [105]: характеристики природных условий; показатели условий движения; расчётные параметры, отражающие требования к дорожной одежде и условия её работы; показатели прочности (модуль упругости, угол внутреннего трения, сцепление) грунтов и дорожно-строительных материалов. Значения характеристик прочности и деформируемости грунтов земляного полотна, применяемых при проектировании дорожных одежд, в значительной мере определяет их влажность, что отмечают как российские [78, 127, 158 и др.], так и учёные ближнего [50, 147] и дальнего [192, 196, 205 и др.] зарубежья. Так, например, А.М. Кривисский рекомендует определять показатели прочности грунтов по графикам зависимости этих показателей от расчётной влажности [90]. Поэтому влажность грунта земляного полотна является одной из важнейших характеристик в составе информационной базы данных при выделении однородных таксономических единиц дорожно-климатического районирования [105, 180].

Наиболее сложные условия работы дорожных конструкций возникают во время сезонного промерзания и последующего оттаивания грунтов земляного полотна. Накопление избытка влаги происходит в процессе промерзания-оттаивания влажного грунта и увеличения объёма пор в результате образования линз льда и прослоек в изначально плотном грунте [127]. Вследствие непрерывной миграции влаги в зоне промерзания максимальное значение влажности в рабочем слое земляного полотна достигается к концу зимнего периода. В момент оттаивания

(весенний период года) рабочий слой земляного полотна имеет наибольшую сезонную влажность, при этом возможность проникания оттаивающей воды в нижние слои практически исключена из-за наличия мёрзлого слоя, вследствие чего период оттаивания является наиболее неблагоприятным, из-за чего влажность грунта рабочего слоя земляного полотна в период оттаивания следует принимать как расчётную. Поэтому 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 в данной работе принят аналитический метод, разработанный проф. И.А. Золотарём для Арктической зоны России [59, 61, 80]. Опыт исследований А.О. Афиногенова [8], В.Н. Ефименко [57], С.В. Ефименко [69], Е.И. Кирякова [84], М.В. Бадиной [13], А.В. Сухорукова [166], В.М. Маркуц [103], выполненных на автомобильных дорогах Западно-Сибирского региона, показывает, что данный метод может быть применен и в условиях сезоннопромерзающих грунтов. Суть метода заключается в последовательном прогнозировании осенней ($W_{\text{Р}}^{\text{ОС}}$) и весенней ($W_{\text{Р}}^{\text{ВЕС}}$) влажности грунта земляного полотна с учётом:

- характера увлажнения земляного полотна;
- возвышения верха земляного полотна над уровнем грунтовых вод (УГВ);
- глубины расположения грунтовых вод осенью;
- продолжительности периода осеннего влагонакопления $\tau_{\text{вл}}$, который устанавливают, учитывая метеорологические характеристики района;
- коэффициента влагопроводности грунта земляного полотна K_J;
- характеристики скорости промерзания дорожной конструкции;
- особенностей конструкции дорожной одежды.

Прогноз влажности грунта земляного полотна в изучаемом регионе выполнен для осеннего и зимнего (весеннего) периодов года, однако для прогноза весенней

влажности необходимо проследить весь цикл изменения влажности от осени до весны [75]. Особенности определения осенней ($W_{\text{Р}}^{\text{ОС}}$) и весенней ($W_{\text{Р}}^{\text{ВЕС}}$) влажности грунта земляного полотна рассмотрены подробно в пунктах 2.1.2 и 2.1.3.

2.1.2 Основы прогноза влагонакопления в грунтах земляного полотна к концу периода осеннего влагонакопления

Продолжительность осеннего влагонакопления $\tau_{\text{вл}}$ служит одной из исходных характеристик при прогнозировании осенней влажности грунтов земляного полотна. Начало периода осеннего влагонакопления характеризуют увеличением среднесуточного количества осадков, повышением относительной влажности воздуха, понижением температуры и увеличением облачности. Всё это в результате обусловливает преобладание осадков r над испарением E. 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 2.1) [75, 76].

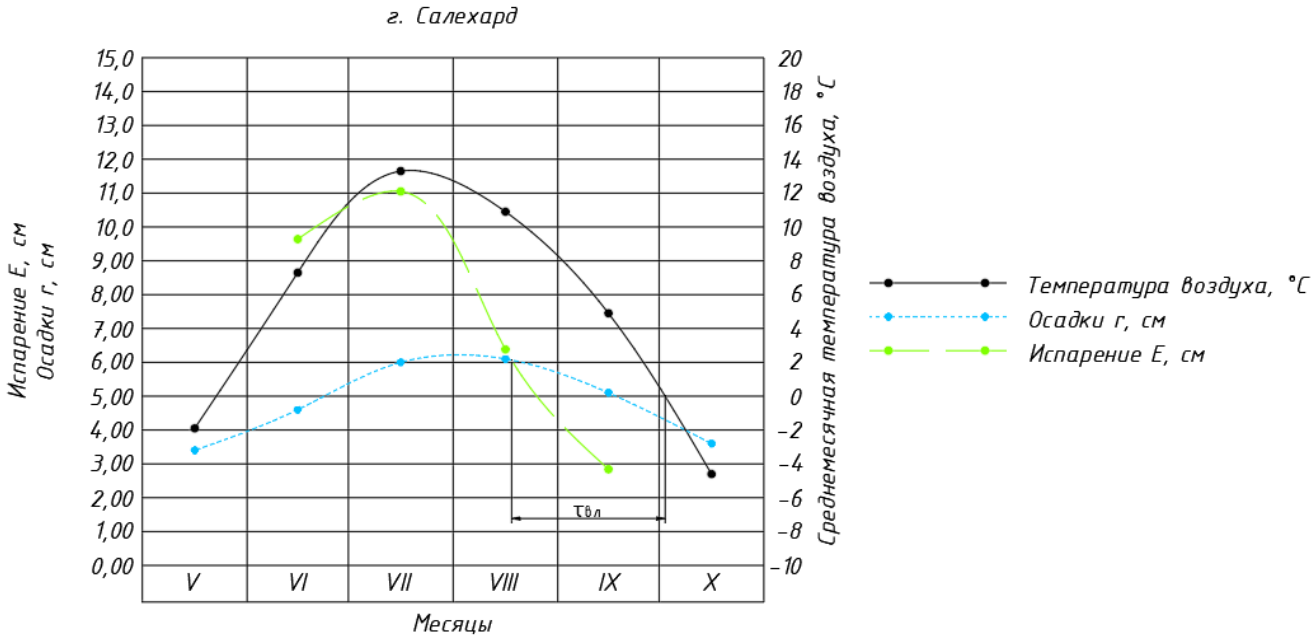


Рисунок 2.1 – График, поясняющий порядок установления продолжительности периода осеннего влагонакопления для г. Салехарда

Проф. И.А. Золотарь на основе теории турбулентной диффузии обосновал зависимость для расчета среднемесячной величины испарения [76, 79]:

$$E = \frac{25{,}5(1 - f_{200}) * U_{\text{ф}} \left(1 + \frac{Q_R - 1{,}8E}{U_{\text{ф}}^{2.5}}\right) * \exp(0{,}063 * \Theta_{200}) * \exp(0{,}063 * \frac{Q_R - 1{,}8E}{U_{\text{ф}}^{0{,}5}})}{7{,}49 + \ln[(1 + 1{,}8 * \frac{Q_R - 1{,}8E}{U_{\text{ф}}^{2.5}}) * U_{\text{ф}}]}, \quad (2.1)$$

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, ℃; Q_R – радиационный баланс.

Радиационный баланс Q_R можно измерить, воспользовавшись данными метеорологических станций или вычислив его величину, располагая данными об альбедо поверхности γ, суммарной радиации S_0 и эффективном излучении I_0 при безоблачном небе, а также при действительных условиях облачности в N баллов (S_N и I_Nсоответственно), температуре Θ_{200} и средней облачности n [166].

Величину Q_R вычисляют по формуле

$$Q_R = 3{,}34 * S_N - I_N, \quad (2.2)$$

где S_N – суммарная радиация при действительных условиях облачности, определяемая по формуле (2.3); I_N – эффективное излучение при действительных условиях облачности, определяемое по формуле (2.4):

$$S_N = S_0 * \big(1 - (1 - k)\big) * n, \quad (2.3)$$

где n – среднемесячная облачность N баллов, выражаемая в долях единиц; k – коэффициент, показывающий, какая доля солнечной радиации, поступающей на верхнюю границу облаков, доходит до земной поверхности при наличии полной облачности.

$$I_N = I_0 * (1 - c * n), \quad (2.4)$$

где c – коэффициент, зависящий от географической широты местности.

В итоге радиационный баланс может быть вычислен по формуле

$$Q_R = 3{,}34 * \big[S_0 * \big(1 - (1 - k)\big) * n\big] - I_0 * (1 - c * n). \quad (2.5)$$

На основании схем, характеризующих последовательность вычисления величины испарения [70], сотрудниками кафедры «Автомобильные дороги»

ТГАСУ был разработан оригинальный программный продукт [140], который позволяет установить величины испарения с поверхности грунтового основания для опорных географических пунктов на территории исследования. Установление продолжительности периодов осеннего влагонакопления в работе выполнено графоаналитическим методом (см. рисунок 2.1). Для действующих метеостанций (рисунок 2.2), расположенных на территории Ямало-Ненецкого автономного округа, установлены даты начала и конца периода $\tau_{вл}$ (таблица 2.1).

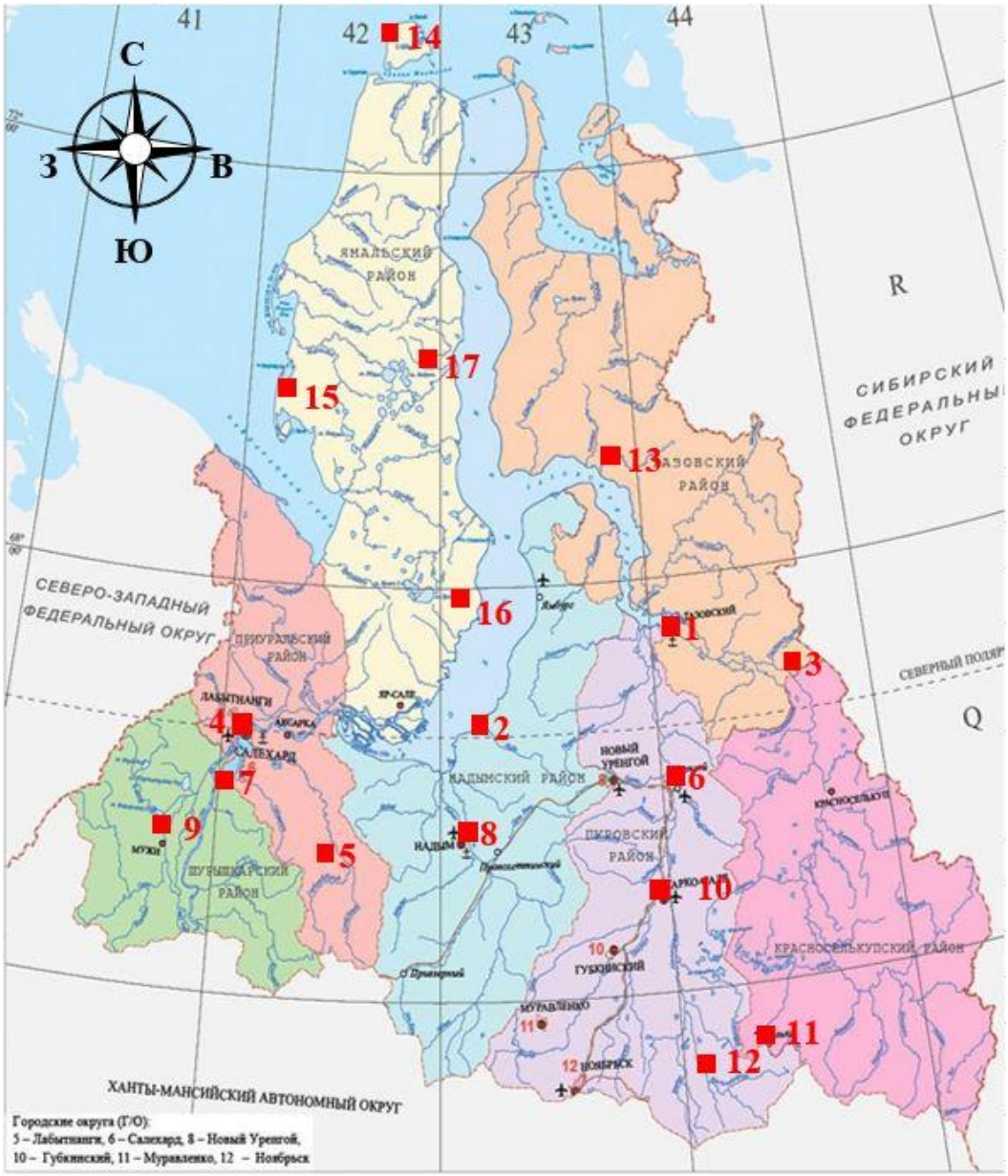


Рисунок 2.2 – Карта-схема расположения действующих метеостанций на территории ЯНАО

Таблица 2.1 – Среднемноголетние периоды осеннего влагонакопления для территории ЯНАО

№ п/п	Метеостанция	Дата начала периода осеннего влагонакопления	Дата окончания периода осеннего влагонакопления	Период осеннего влагонакопления $\tau_{вл}$, ч
1	Тазовское	20 авг	29 сен	960
2	Ныда	10 авг	02 окт	1258
3	Сидоровск	16 авг	29 сен	1068
4	Салехард, ГМО	17 авг	01 окт	1091
5	Полуй	14 авг	01 окт	1164
6	Уренгой	14 авг	01 окт	1149
7	Питляр	16 авг	04 окт	1184
8	Надым	15 авг	02 окт	1167
9	Мужи	14 авг	05 окт	1255
10	Тарко-Сале	13 авг	03 окт	1238
11	Толька	09 авг	04 окт	1336
12	Халесовая	09 авг	04 окт	1357
13	Антипаюта	19 авг	29 сен	967
14	Им. Попова	19 авг	01 окт	1001
15	Марресаля	11 авг	05 окт	1331
16	Новый Порт	15 авг	02 окт	1180
17	Сеяха	12 сен	01 окт	458

При прогнозировании расчетной осенней влажности ($W_{\text{Р}}^{\text{ОС}}$) грунтов земляного полотна с учётом местных грунтово-гидрогеологических и мерзлотных условий принимают две основные возможные схемы: одностороннего увлажнения сверху и двустороннего увлажнения (сверху и снизу).

Величину $W_{\text{Р}}^{\text{ОС}}$ вычисляют по формулам (2.6), (2.7) в зависимости от значения критерия осеннего влагонакопления $F_{OH} = \frac{K_1 * \tau_{вл}}{H_B^2}$:

- при $F_{OH} < 0{,}25$

$$W_{\text{Р}}^{\text{ОС}} = 0{,}56 + 0{,}27 * \left\{ \begin{array}{c} \left(1 + \frac{H_в}{H_\alpha}\right) * \text{erfc}\left[\left(1 + \frac{H_\alpha}{H_в}\right) * \frac{1}{2\sqrt{F_{OH}}}\right] + \left(1 - \frac{H_в}{H_\alpha}\right) \times \\ \times \text{erfc}\left[\left(1 - \frac{H_\alpha}{H_в}\right) \cdot \frac{1}{2\sqrt{F_{OH}}}\right] + \frac{2\sqrt{F_{OH}}}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{H_в}{H_\alpha} \times \\ \times \left\{\exp\left[-\frac{1}{4 \cdot F_{OH}} * \left(1 - \frac{H_\alpha}{H_в}\right)^2\right] - \exp\left[-\frac{1}{4 \cdot F_{OH}} * \left(1 + \frac{H_\alpha}{H_в}\right)^2\right]\right\} \end{array} \right\}, \quad (2.6)$$

- при $F_{OH} > 0{,}25$

$$W_{\text{Р}}^{\text{ОС}} = 0{,}56 + 0{,}27 * \left[1 - \frac{8}{\pi^2} * \left(\frac{H_в}{H_\alpha}\right) * \exp\left(-\pi^2 \frac{F_{OH}}{4}\right) * \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{H_\alpha}{H_в}\right)\right], \quad (2.7)$$

где $H_{в}$ – удаление низа дорожной одежды от уровня грунтовых вод, см; $H_{а}$ – глубина активной зоны, см; $K_1 = \frac{F_{ОН} * H_B^2}{\tau_{вл}}$ – коэффициент влагопроводности, см/ч.

Для определения осенней влажности грунтов земляного полотна в работе [166] была разработана оригинальная программа для ЭВМ [142]. Результаты определения величины осенней влажности для вновь выделенных на территории Ямало-Ненецкого автономного округа дорожных районов представлены в разд. 5.3.

2.1.3 Особенности прогноза зимнего влагонакопления в грунтах земляного полотна автомобильных дорог

Как было отмечено в п. 2.1.2, прогноз влажности грунта земляного полотна заключается в последовательном определении осенней ($W_{\text{Р}}^{\text{ОС}}$) и весенней ($W_{\text{Р}}^{\text{ВЕС}}$) влажности, которую принимают как расчетную при последующем определении характеристик прочности и деформируемости. В работе [54] представлен алгоритм прогноза влагонакопления в виде последовательных операций прогноза расчетной весенней влажности грунтов земляного полотна (рисунок 2.3).

Весеннее оттаивание грунтов земляного полотна при *благоприятных* условиях иногда сопровождается уменьшением влажности вследствие испарения влаги, при *неблагоприятных* же климатических условиях и неудовлетворительном эксплуатационном содержании происходит дальнейшее увлажнение грунта земляного полотна. Подобные условия содержания автомобильной дороги недопустимы, но в то же время рассчитывать на уменьшение влажности грунта верхнего слоя земляного полотна при прогнозе расчетной $W_{\text{Р}}^{\text{ВЕС}}$ не следует. Учитывая вышесказанное, значение $W_{\text{Р}}^{\text{ВЕС}}$ принимают равным средней влажности грунта в промерзшем земляного полотне $W_{\text{Р}}^{\text{ЗИМ}}$, т. е. $W_{\text{Р}}^{\text{ВЕС}} = W_{\text{Р}}^{\text{ЗИМ}}$[75].



Рисунок 2.3 – Последовательность прогноза расчётной осенней и весенней влажности грунтов земляного полотна с применением модифицированного алгоритма проф. И.А. Золотаря [70]

Величину средней влажности грунта в промёрзшем земляном полотне $W_{ср}^{ЗИМ}$ вычисляют из соотношения [75, 76]:

$$W_р^{ЗИМ} = W_h + (W_р^{ОС} - W_h) * C_0, \quad (2.8)$$

где W_h – влажность (по жидкой фазе) грунта в зоне льдовыделения после первичного его промерзания при температуре 0,5–1,0 °С в долях единицы (таблица 2.2 [87, 108]); C_0 – коэффициент, учитывающий миграцию влаги при промерзании грунта, определяют по формуле [75, 76]:

$$C_0 = \frac{1}{U_1 * \mathrm{erfc}(U_1) * \sqrt{\pi}} * \exp(-U_1^2), \quad (2.9)$$

где параметр $U_1 = \frac{\alpha}{2\sqrt{K_1}}$, α – характеристика скорости промерзания грунта; $\mathrm{erfc}(U_1)$ – функция ошибок, определяемая по формуле [75, 76]:

$$\mathrm{erfc}(U_1) = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} * \int_{e}^{U_1} e^{-t^2} dt. \qquad (2.10)$$

Таблица 2.2 – Значения влажности по жидкой фазе грунта в зоне льдовыделения

Вид грунта	W_h, д.е.
Песок пылеватый	0,03 – 0,04
Супесь тяжёлая пылеватая	0,09 – 0,10
Суглинок лёгкий пылеватый	0,12 – 0,13
Суглинок тяжёлый пылеватый	0,13 – 0,14

Из вышеприведенного следует, что для установления $W_{\text{р}}^{\text{зим}}$ предварительно должна быть определена характеристика скорости промерзания α, что более подробно рассмотрим в разделе 2.2.

Для определения весенней (зимней) влажности грунтов земляного полотна была разработана оригинальная программа для ЭВМ [143]. Результаты определения величины весенней (зимней) влажности для вновь выделенных на территории Ямало-Ненецкого автономного округа дорожных районов представлены в разделе 5.3.

2.2 Определение характеристик глубины и скорости промерзания грунта земляного полотна

Вопросам определения глубины промерзания посвящены работы В.А. Кудрявцева [92], И.И. Леоновича [97], В.С. Лукьянова [98], Н.А. Пузакова [126], В.М. Сиденко [147], А.Я. Тулаева [171] и др. Отдельно считаем необходимым выделить работы проф. А.Л. Исакова и его учеников, направленные на математическое моделирование процесса промерзания грунтов земляного полотна железных дорог в оригинальной программной среде Freeze 1 и Freeze 2 [81, 82], а также многолетние исследования С.А. Кудрявцева, И.И. Сахарова, В.Н. Парамонова [93], посвящённые вопросам численной реализации теплофизических задач и задач напряженно-деформированного состояния при промерзании и оттаивании грунтов. Однако отмеченные методы определения глубины промерзания позволяют решать территориальные инженерные задачи и не позволяют учитывать многообразие признаков природно-

территориального комплекса отдельных регионов.

Одной из первых попыток дать приближенный метод расчёта промерзания грунта земляного полотна с учётом миграции влаги в ходе процесса была сделана проф. И.А. Золотарём [76] как развитие метода В.С. Лукьянова [98], основанного на учёте постоянного осреднённого потока тепла снизу, определяемого на основе натурных наблюдений. К основным недостаткам рассматриваемого метода относят то, что скорость промерзания снижается по мере продвижения изотермы льдовыделения в теле земляного полотна. Согласно данному методу определение характеристики скорости промерзания α необходимо производить с учётом времени промерзания всех слоёв дорожной одежды по формуле [76]:

$$\alpha = \frac{h_{\text{пр}}}{\sqrt{\tau}}, \tag{2.11}$$

где $h_{\text{пр}}$ – величина промерзания всей дорожной конструкции; τ – время промерзания на величину $h_{\text{пр}}$.

До начала промерзания грунта земляного полотна должны промерзнуть слои дорожной одежды, что необходимо учитывать при расчете величины α. Расчёты промерзания ведут с помощью формулы [76]:

$$h_i = \frac{\tau_i}{Q_i + 0{,}5c_i(a\tau_i^2 + b\tau_i)} \times \\ \times \sqrt{\lambda_i \left(bQ_i + \frac{2aQ_i + b^2c_i}{3}\tau_i + \frac{abc_i}{2}\tau_i^2 + \frac{a^2c_i}{5}\tau_i^3 \right)}, \tag{2.12}$$

где h_i – глубина i-го слоя дорожной одежды за время τ; Q_i, c_i, λ_i – теплофизические характеристики слоя; a, b – климатические коэффициенты, вычисляемые из следующих зависимостей [76]:

$$a = -\frac{4\theta_{\min}}{\tau_{\text{пр}}^2}, \tag{2.13}$$

$$b = \frac{4\theta_{\min}}{\tau_{\text{пр}}}, \tag{2.14}$$

где $\theta_{\min}$ – минимальная среднемесячная температура воздуха за зимний период; $\tau_{\text{пр}}$ – продолжительность периода промерзания дорожной конструкции, ч, который

принимают из соотношения [76]:

$$\tau_{пр} = 8760 - \tau_{от}, \quad (2.15)$$

где $\tau_{от}$ – продолжительность периода оттаивания дорожной конструкции, ч, принимаемая как длительность между датами наступления температуры воздуха 0°С весной и осенью (таблица 2.3); 8760 – продолжительность года, ч.

Таблица 2.3 – Среднемноголетние периоды оттаивания и промерзания дорожной конструкции для территории ЯНАО

№ п/п	Метеостанция	Дата начала периода оттаивания	Дата окончания периода оттаивания	Период оттаивания $\tau_{от}$, ч	Период промерзания $\tau_{пр}$, ч
1	Тазовское	01 июн	29 сен	2874	5886
2	Ныда	28 май	02 окт	3043	5717
3	Сидоровск	25 май	29 сен	3076	5684
4	Салехард, ГМО	21 май	01 окт	3190	5570
5	Полуй	17 май	01 окт	3282	5478
6	Уренгой	22 май	01 окт	3152	5608
7	Питляр	14 май	04 окт	3447	5313
8	Надым	18 май	02 окт	3292	5468
9	Мужи	12 май	05 окт	3503	5257
10	Тарко-Сале	17 май	03 окт	3342	5418
11	Толька	12 май	04 окт	3469	5291
12	Халесовая	14 май	04 окт	3429	5331
13	Антипаюта	29 май	29 сен	2954	5806
14	Им. Попова	12 июн	01 окт	2625	6135
15	Марресаля	02 июн	05 окт	2996	5764
16	Новый Порт	28 май	02 окт	3059	5701
17	Сеяха	03 июн	01 окт	2868	5892

Скорость промерзания необходимо определять с учетом времени промерзания всех слоев дорожной одежды, поэтому до расчета промерзания грунта земляного полотна необходимо привести слои дорожной одежды к грунту земляного полотна (в тепловом отношении) по формуле [76]:

$$\left(\sum h_i\right)_{зп} = \frac{h_1 * H_{зп}}{H_1} + \frac{h_2 * H_{зп}}{H_2} + \cdots + \frac{h_n * H_{зп}}{H_n}, \quad (2.16)$$

где $H_{зп}$ – глубина промерзания грунта земляного полотна за период промерзания $\tau_{пр}$; H_1, H_2 ... – глубина промерзания соответствующих материалов слоев за период промерзания $\tau_{пр}$.

Величины $H_{зп}, H_1, H_2$ ... устанавливают по формуле (2.12) при

соответствующих значениях Q_i, c_i, λ_i.

Для упрощения модели назначения характеристики скорости промерзания с сохранением точности в работе применена методика определения глубины промерзания многослойной аэродромной конструкции, приведённая в [120, 154]. Согласно этой методике глубину промерзания конструкции $h_{\text{пр}}$ определяют по формуле (2.17) [120, 154]:

$$h_{\text{пр}} = 1{,}9 * \sqrt{\frac{2 * \lambda_f \Theta_{\text{тр}} \tau_{\text{пр}}}{\eta_f}} + \sum_{i=1}^{n} t_i * \left(1 - \sqrt{\frac{\lambda_f \eta_{fi}}{\lambda_{fi} \eta_f}}\right), \quad (2.17)$$

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; 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, определяемое по формулам (2.18), (2.19).

Количество тепла η_f, η_{fi}, выделяемое при фазовых переходах и охлаждении, определяют следующим образом [120, 154]:

$$\eta_f = 0{,}5 * \Theta_{\text{тр}} C_f + 334 * \rho_d * (w - w_w), \quad (2.18)$$

$$\eta_{fi} = 0{,}5 * \Theta_{\text{тр}} C_{fi} + 334 * \rho_{di} * (w_i - w_{wi}), \quad (2.19)$$

где C_f, C_{fi} – объёмная теплоёмкость соответственно грунта земляного полотна и i-го слоя дорожной одежды, кДж/(м^3*°С); ρ_d, ρ_{di} – плотность соответственно грунта земляного полотна и i-го слоя дорожной одежды, кг/м^3; принимают по данным инженерно-геологических изысканий; w, w_i – влажность соответственно грунта земляного полотна и i-го слоя дорожной одежды, д.е.; принимают по данным инженерно-геологических изысканий; w_w, w_{wi} – влажность грунта или материала за счет содержания незамерзшей воды, д.е.; определяют по формуле [120, 154]:

$$w_w = k_w w_p, \quad (2.20)$$

где w_p – влажность грунта на границе раскатывания, принимаемая по результатам инженерно-геологических изысканий; k_w – коэффициент, принимаемый по таблице 2.4 [120, 154].

Таблица 2.4 – Значения коэффициента k_w

Грунты	Число пластичности	k_w
Пески и супеси	$I_p \leq 0{,}02$	0
Супеси	$0{,}02 < I_p \leq 0{,}07$	0,35
Суглинки	$0{,}07 < I_p \leq 0{,}13$	0,50
	$0{,}12 < I_p \leq 0{,}17$	0,55
Глины	$I_p > 0{,}17$	0,65

Как видно из выражения (2.17), для определения глубины промерзания дорожной конструкции необходимо знать теплофизические характеристики, в частности коэффициент теплопроводности грунта земляного полотна и материалов слоёв дорожной одежды. В настоящее время необходимые теплофизические характеристики принимают из справочной литературы [112 ,134], однако значения, например, коэффициента теплопроводности (λ) приведены в диапазоне температур –20 °С и +20 °С, что не соответствует фактическому диапазону температур максимального влагонакопления в грунтах. Следует отметить, что значения коэффициента теплопроводности, представленные в справочной литературе, установлены при постоянных значениях влажности, плотности и температуры грунта, хотя эти показатели подвержены изменениям в годовом цикле водно-теплового режима дорожных конструкций. Известно [32, 198], что наиболее интенсивное влагонакопление в промерзающих грунтах происходит при температуре –3,5 °С – 0 °С в зависимости от степени их засоленности, поэтому нами выполнено экспериментальное исследование по определению коэффициента теплопроводности характерных грунтов земляного полотна для территории Ямало-Ненецкого автономного округа. В разделе 3.4 подробно описан алгоритм проведенного испытания для изучения зависимости коэффициента теплопроводности от влажности, плотности и температуры грунта, в разделе 4.3 представлены результаты экспериментального определения коэффициента теплопроводности.

Возможность реализации изложенного выше метода определения расчётной глубины промерзания рассмотрена в статье [17]. Для этого найдена фактическая глубина промерзания дорожных конструкций на оборудованных датчиками объёмной влажности и температуры TEROS 11/12 постах наблюдений (см. раздел 3.1), далее для этих же постов наблюдений теоретически установлена глубина промерзания эксплуатируемых конструкций по формуле (2.17). Разница между фактическими и теоретическими значениями глубины промерзания дорожной конструкции составила 2,3 %, что свидетельствует о возможности использования представленного в [120, 154] способа расчёта глубины промерзания дорожной конструкции при прогнозировании расчетной влажности грунтов земляного полотна на территории исследования. Результаты определения характеристик глубины и скорости промерзания дорожной конструкции представлены в разделе 4.2.

2.3 Выводы по главе 2

1. В качестве базового метода прогнозирования расчётной влажности рабочего слоя земляного полотна в работе принят усовершенствованный метод проф. И.А. Золотаря для Арктической зоны России. Его применение позволяет наиболее полно учитывать температурно-влажностный режим отдельных дорожных районов на территории исследования. Разработана оригинальная программа для ЭВМ с использованием интегрированной среды Code:Blocks (свидетельство № 2026615861) для определения весенней (зимней) влажности рабочего слоя земляного полотна.
2. Для назначения скорости промерзания дорожной конструкции на территории исследования при прогнозировании весенней (зимней) влажности предложен метод определения глубины промерзания многослойной аэродромной конструкции. Достоверность результатов данного способа подтверждена сравнением фактических и теоретических значений глубины промерзания дорожной конструкции для ряда опорных

пунктов на территории исследования (разница между ними составила 2,3 %). Применение представленного метода позволило усовершенствовать модель проф. И.А. Золотаря, сохранив при этом точность определения характеристик.

3. Коэффициент теплопроводности, представленный в ОДМ 218.2.061-2015, определен для талого ($\lambda = 1{,}8$ Вт/(м $*$ К)) и мерзлого ($\lambda = 2{,}2$ Вт/(м $*$ К)) песка пылеватого плотностью 1750 кг $*$ м$^{\mathbf{3}}$, значения же влажности, при которых определен коэффициент, не указаны. Такие показатели, как влажность, плотность и температура грунта, подвержены изменениям в годовом цикле водно-теплового режима дорожных конструкций. Согласно же руководству по определению физических, теплофизических и механических характеристик мёрзлых грунтов, коэффициент теплопроводности талого и мерзлого песка назначается по суммарной влажности и объемному весу грунта, однако вид песка абсолютно не учтён. Это вызвало необходимость экспериментального исследования величины коэффициента теплопроводности песка пылеватого как наиболее распространенного на территории исследования грунта земляного полотна.

3. МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ ПОЛЕВЫХ И ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СВОЙСТВ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ, ПРЕОБЛАДАЮЩИХ ПРИ СООРУЖЕНИИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА ТЕРРИТОРИИ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1 Характеристика участков автомобильных дорог, выбранных для полевых наблюдений на территории Ямало-Ненецкого автономного округа

В 2021 г. на территории Ямало-Ненецкого автономного округа были выбраны участки автомобильных дорог с последующим оборудованием на них стационарных постов наблюдений (рисунок 3.1). Согласно требованиям ОДМ 218.4.033–2017 [113], посты наблюдений необходимо оборудовать на дефектных участках, однако для выполнения работ по уточнению дорожно-климатического районирования важно, чтобы участки соответствовали требованиям к эксплуатационному состоянию [48] и не имели значительных дефектов.

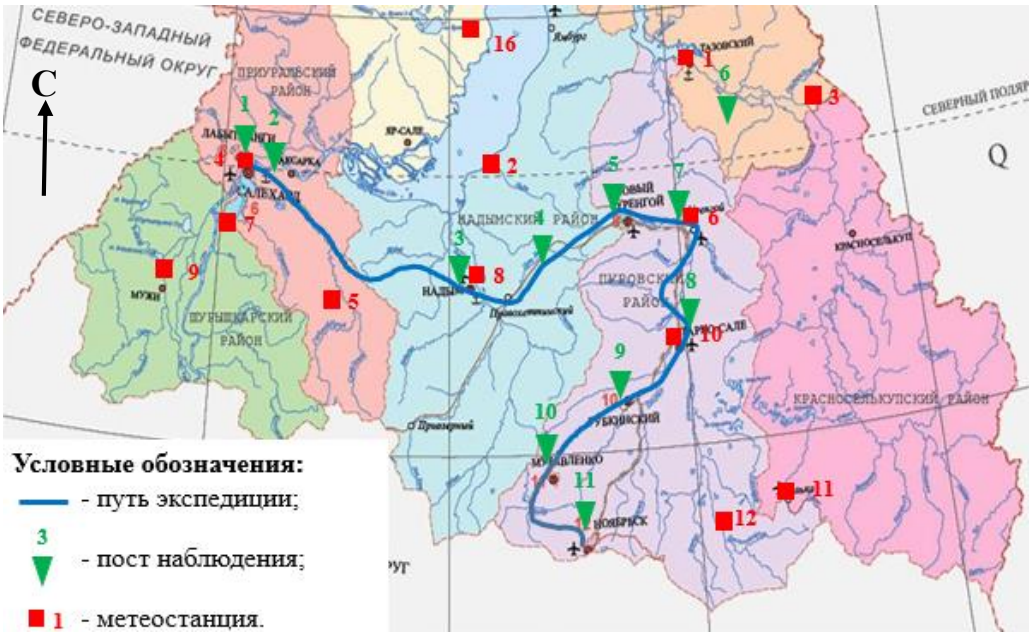


Рисунок 3.1 – Карта-схема расположения постов наблюдения за эксплуатируемыми участками автомобильных дорог

Выбор участков автомобильных дорог для оборудования постов мониторинга за водно-тепловым режимом грунтов земляного полотна проходил следующим образом:

1. Изучение проектов и паспортов автомобильных дорог с последующим предварительным назначением участков размещения стационарных постов.
2. Анализ климатических, грунтовых и гидрологических условий для местности выбранных участков, а также оценка удаленности действующих метеорологических станций сети Росгидромета.
3. Уточнение соответствия предварительно выбранных участков действующим строительным нормам и правилам на проектирование и строительство.
4. Фактическая оценка состояния дорожных одежд и земляного полотна на постах наблюдения на предмет соответствия конструктивным решениям, имеющим наибольшее распространение в районе исследования.

Для всех постов наблюдения выполнено вскрытие слоёв дорожной одежды с целью установления существующих конструктивных решений (рисунок 3.2), отбора проб грунтов земляного полотна для лабораторных исследований и проведения штамповых испытаний. В таблице 3.1 отражены перечень и краткая характеристика выбранных участков.



Рисунок 3.2 – Измерение толщин конструктивных слоёв дорожной одежды на участке автомобильной дороги «Сургут – Салехард», участок «Надым – Салехард» КМ 1016+000

Таблица 3.1 – Перечень и характеристика участков автомобильных дорог, назначенных для отбора проб грунтов

№ п/п	Титул автомобильной дороги	Направление	Место-положение поста, КМ +	Конструкция дорожной одежды, см	Грунт земляного полотна	Тип местности по характеру и степени увлажнения	Значение рабочей отметки *Н*р, м	Дорожная подзона согласно СП 34.13330.2021
1	Подъезд к п. Горнокнязевск	Прямое	1+695	а/бетон – 15 щебень – 19 песок – 16 ЩПС – 62	Песок пылеватый	2	1,48	I_3
2	Подъезд к п. Харсаим	Прямое	3+000	ЩПС – 22	Песок пылеватый	2	2,28	I_3
3	Сургут – Салехард, участок Надым – Салехард КМ 1000 – КМ 1060	Прямое	1016+000	а/бетон – 13,5 ЩПС – 35,5	Песок пылеватый	2	1,96	I_3
4	Сургут – Салехард, участок Пангоды – Правохеттинский	Прямое	874+000	а/бетон – 17 щебень – 28	Песок среднезернистый	2	1,67	I_3
5	Сургут – Салехард, участок Новый Уренгой – ж.-д. ст. Ныда	Прямое	772+000	а/бетон – 16 щебень – 37	Песок пылеватый	2	1,23	I_1
6	Коротчаево – Новозаполярный	Прямое	125+000	а/бетон – 16 щебень – 8 ц/б плита – 16 СНМ – 0,02	Песок пылеватый	2	1,72	I_1
7	Подъезд к п. Лимбяяха	Прямое	2+000	а/бетон – 6 ц/б плита – 18 пескоцемент – 26	Песок среднезернистый	2	2,28	I_1

Продолжение таблицы 3.1

№ п/п	Титул автомобильной дороги	Направление	Место-положение поста, КМ +	Конструкция дорожной одежды, см	Грунт земляного полотна	Тип местности по характеру и степени увлажнения	Значение рабочей отметки Нр, м	Дорожная подзона согласно СП 34.13330.2021
8	Подъезд к г. Тарко-Сале	Прямое	5+000	а/бетон – 11 ц/б плита – 12	Песок мелкий	2	1,60	I_3
9	Сургут – Салехард, участок Объезд г. Губкинский	Прямое	465+000	а/бетон – 11 щебень – 26	Песок пылеватый	2	1,89	I_3
10	Подъезд к п. Ханымей	Прямое	5+000	а/бетон – 8,5 ц/б плита – 14 монтажный слой песка – 10	Песок мелкий	2	1,13	I_3
11	Ноябрьск – Вынгапуровский	Прямое	8+000	а/бетон – 6 ЩПС – 7 старый а/бетон – 7 щебень – 10	Песок пылеватый	2	1,70	I_3

Таким образом, на сети автомобильных дорог ЯНАО оборудовано 11 стационарных постов наблюдений. В основном на выбранных участках преобладает капитальный тип покрытий – асфальтобетон с толщиной от 6 до 17 см; тип местности по характеру и степени увлажнения – 2; земляное полотно возведено из песка, причем преимущественно из пылеватого.

3.2 Методы и приборы для проведения полевых обследований автомобильных дорог

На выбранных участках автомобильных дорог (см. раздел 3.1) проведены полевые испытания, которые включали в себя:

- визуальное обследование состояния участков стационарных наблюдений;
- измерение геометрических параметров автомобильной дороги;
- 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.

При отсутствии или редком и незначительном проявлении дефектов покрытия приступали к измерению ширины и величины поперечных уклонов проезжей части и обочин, определению крутизны откосной части и высоты насыпи. При наличии водоотводных канав выполняли измерение их продольного уклона и габаритов.

Инструментальные измерения геометрических параметров участков автомобильных дорог выполнены с использованием рулетки измерительной металлической STABILA BM 42 (сертификат о калибровке средства измерений № 4016/202) и рейки дорожной универсальной КП-231С (свидетельство о поверке № С-ВУ/06-07-2021/76224970).

Для определения высотных отметок поперечного профиля выбранных участков автомобильных дорог выполнена их геодезическая съёмка с применением

нивелира Leica NA720 (выписка из Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений) и выдвижной геодезической рейки (сертификат о калибровке средства измерений № 5112/202).

В соответствии с требованиями государственной системы обеспечения единства измерений и Федерального закона 102-ФЗ об обеспечении единства измерений [174] применяемые средства измерения и оборудование имеют действующие свидетельства о проверке на соответствие точности измерений и свидетельства об аттестации, полученные в государственных региональных центрах стандартизации, метрологии и испытаний (приложение В).

При отборе проб грунтов земляного полотна для лабораторных исследований их влажностных свойств и калибровочных испытаний на обследуемых участках автомобильной дороги разрабатывали шурфы вдоль кромки проезжей части. Образцы проб грунта отбирали в активной зоне земляного полотна.

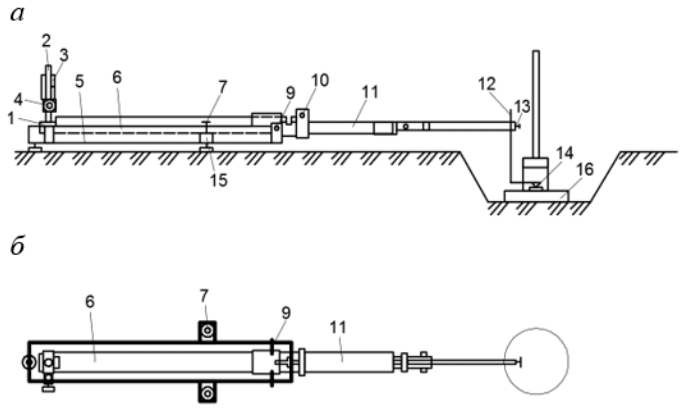
Отбор грунта производили ручным способом с помощью устройства, которое позволяет не нарушать сложение и влажность отбираемого образца (рисунок 3.3). Оно состоит из режущего кольца диаметром 200 мм и высотой 180 мм, оголовка с направляющей штангой и погружающим молотом массой 2 кг. Размеры режущего кольца подобраны таким образом, чтобы обеспечить возможность отбора образцов для всего комплекса лабораторных исследований. Угол режущей кромки и толщина стенки позволяют проводить отбор с минимальным влиянием на сложившееся в земляном полотне состояние грунта.

Для установления влажности грунта рабочего слоя земляного полотна на постах наблюдения производили механизированное бурение скважин с последующим отбором проб. Отбор, упаковка, транспортировка и хранение образцов и монолитов грунтов из тела земляного полотна выполнены в соответствии с требованиями ГОСТ 12071–2014 [42] для определения разновидности грунта и его физико-механических свойств. Испытания образцов грунтов выполнены в лабораторных условиях согласно требованиям ГОСТ 5180–2015 [47]. Результаты лабораторных испытаний представлены в разделе 3.3.



Рисунок 3.3 – Отбор пробы грунта земляного полотна в режущее кольцо на автомобильной дороге «Сургут – Салехард»,
участок «Надым – Салехард» КМ 1016+000

Определение модуля упругости выполнено на поверхности грунта рабочего слоя земляного полотна согласно требованиям [117], с применением статического жёсткого штампа диаметром 330 мм. Схема установки для штамповых испытаний приведена на рисунке 3.4.



1 – пробка; 2 – стойка для индикатора; 3 – индикатор; 4 – держатель индикатора; 5 – швеллер; 6 – заднее плечо рычага; 7 – подъёмные винты; 8 – соединительная муфта; 9 – опорный винт; 10 – стяжной болт; 11 – переднее плечо рычага; 12 – измерительная игла; 13 – винт, закрепляющий иглу; 14 – подпятник, предохраняющий врезание измерительной иглы в дорожное покрытие; 15 – поперечная опорная балка; 16 – штамп.

Рисунок 3.4 – Схема установки для штамповых испытаний прогибомером МАДИ-ЦНИЛ: *а* – вид сбоку; *б* – вид сверху

Результаты определения модуля упругости штамповыми испытаниями приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Результаты определения модуля упругости

№ п/п	Титул автомобильной дороги, КМ+	Разновидность грунта земляного полотна	Модуль упругости на поверхности грунта рабочего слоя земляного полотна, МПа
1	Подъезд к п. Горнокнязевск КМ 1+695	Песок пылеватый	52,33
2	Подъезд к п. Харсаим КМ 3+000	Песок пылеватый	92,98
3	Сургут – Салехард, участок Надым – Салехард км 1000 – км 1060 КМ+1016+000	Песок пылеватый	114,80
4	Сургут – Салехард, участок Пангоды – Правохеттинский КМ 874+000	Песок среднезернистый	90,00
5	Сургут – Салехард, участок Новый Уренгой – ж.-д. ст. Ныда КМ 772+000	Песок пылеватый	69,44
6	Подъезд к п. Лимбяяха КМ 2+000	Песок среднезернистый	90,00
7	Подъезд к г. Тарко-Сале КМ 5+000	Песок мелкий	84,59
8	Сургут – Салехард, участок Объезд г. Губкинский КМ 465+000	Песок пылеватый	130,80
9	Подъезд к п. Ханымей КМ 5+000	Песок мелкий	106,10
10	Ноябрьск – Вынгапуровский КМ 8+000	Песок пылеватый	63,56

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 компании METER корпорации Decagon Devices (рисунок 3.5). При регистрации влажности с помощью этих датчиков применяется диапазон частот 70 МГц, что снижает к минимуму эффект неоднородности свойства грунтов и его засолённость на показания датчиков.

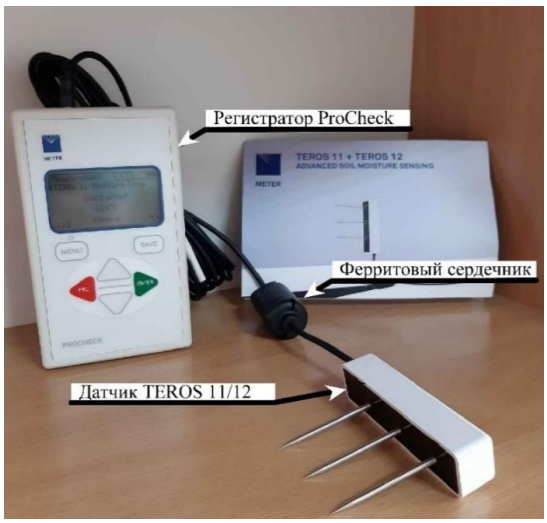


Рисунок 3.5 – Внешний вид регистратора ProCheck и датчика TEROS 11/12

Участки автомобильных дорог для мониторинга соответствуют требованиям СП 34.13330.2021 [157], СП 313.1325800.2017 [156] и ГОСТ Р 71404–2024 [49]. На выбранных участках автомобильных дорог по кромке проезжей части разрабатывали шурф глубиной до низа дорожной одежды (h). По центру шурфа выполнено бурение скважины диаметром 50 мм мотобуром (рисунок 3.6).



Рисунок 3.6 – Вскрытие дорожной конструкции:
а – разработка шурфа; *б* – бурение скважины мотобуром

Датчики объёмной влажности и температуры TEROS 11/12 установлены на глубине 50, 100 и 150 см от низа дорожной одежды для оценки теплофизических свойств грунтов земляного полотна. Расположение датчиков охватывает активную зону земляного полотна автомобильной дороги. После установки датчиков TEROS 11/12 выполнялась маркировка термоусадочной трубкой разъёмов датчиков для подключения к регистратору и засыпка шурфа с послойным уплотнением грунта. Датчики подключены к регистратору данных ZL6 компании METER с помощью выведенных на откосную часть проводов (рисунок 3.7). В регистраторах установлено время считывания и сохранения измерений объёмной влажности и температуры, производится один раз каждые 6 часов, далее каждые сутки в 4:00 – 5:00 утра передают информацию на облачный сервис zentracloud.com. Облачный сервис позволяет отслеживать изменения заряда

элементов питания и выводить информацию по изменению водно-теплового режима грунтов земляного полотна на постах мониторинга.

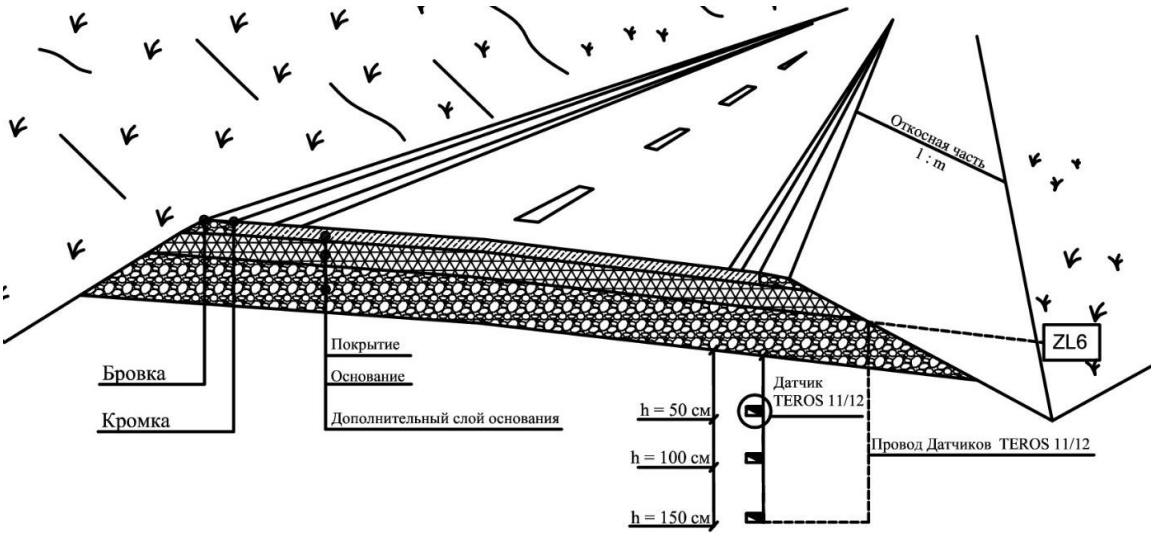


Рисунок 3.7 – Схема оборудования стационарных постов наблюдения за водно-тепловым режимом грунтов земляного полотна

В местах установки датчиков был отобран грунт с каждого экспериментального участка для последующего выполнения калибровочных испытаний.

3.3 Методы и приборы лабораторных исследований состава и свойств песчаных грунтов

Лабораторное определение состава и физических свойств грунтов проводили на образцах ненарушенной структуры, отобранных в соответствии с ГОСТ 12071–2014 [42].

Состав грунтов определён с помощью гранулометрического анализа пипеточным методом в соответствии с ГОСТ 12536–2014 [43]. Разделение частиц грунта выполнено ситовым анализом и при различной скорости их падения в воде в процессе отмучивания. При отмучивании содержание фракции определено путём взятия пробы пипеткой из суспензии с определенной глубины с последующим выпариванием и взвешиванием осадка на аналитических весах. Результаты анализа представлены в таблице 3.3, где указано рассчитанное процентное содержание в

Таблица 3.3 – Физико-механические свойства грунтов земляного полотна на постах наблюдения

Пост наблюдения	Место отбора пробы грунта	Описание грунта	Плотность, г/см3			Естественная влажность, %	Пористость, %	Коэффициент пористости	Степень влажности	Полная влагоемкость, %	Гранулометрический состав					
											Размер фракции, мм; содержание %					
			Частиц грунта	Влажного грунта	Сухого грунта						0,50 – 0,25	0,25 – 0,10	0,10 – 0,05	0,05 – 0,01	0,01 – 0,005	менее 0,005
			ρ_S	ρ	ρ_d	W_e	n	e	S_r	W_{sat}						
1	Горнокнязевск	Песок пылеватый	2,67	1,5	1,42315	5,4	46,6985	0,87612	0,16457	32,8135	0,25	25,77	72,35	1,33	0,14	0,16
2	Харсаим	Песок пылеватый	2,61	1,38	1,33851	3,1	48,7162	0,94993	0,08517	36,396	31,35	25,34	41,13	1,55	0,17	0,46
3	Надым	Песок пылеватый	2,60	1,81	1,69476	6,8	34,8171	0,53414	0,331	20,544	17,75	34,68	31,49	12,58	1,79	1,71
4	Пангоды	Песок средней крупности	2,65	1,75	1,66034	5,4	37,3456	0,59606	0,24008	22,4927	70,23	16,26	4,44	6,22	2,21	0,64
5	Новый Уренгой	Песок пылеватый	2,57	1,79	1,68233	6,4	34,5397	0,52764	0,31173	20,5308	43,31	27,06	24,02	3,47	0,65	1,49
6	Новозаполярный	Песок пылеватый	2,64	1,47	1,37255	7,1	48,0095	0,92343	0,20298	34,9784	25,32	35,9	30,8	6,76	0,48	0,74
7	Лимбяяха	Песок средней крупности	2,66	1,53	1,47826	3,5	44,4263	0,79941	0,11646	30,0531	62,61	17,84	16,49	1,96	0,45	0,65
8	Тарко-Сале	Песок мелкий	2,65	1,44	1,38063	4,3	47,9006	0,91941	0,12394	34,6947	70,93	19,98	5,69	2,16	0,84	0,4
9	Губкинский	Песок пылеватый	2,67	1,66	1,57795	5,2	40,9009	0,69207	0,20061	25,9203	44,15	23,59	23,8	6,34	0,93	1,19
10	Муравленко	Песок мелкий	2,61	1,46	1,42578	2,4	45,3724	0,83058	0,07542	31,8228	85,41	3,24	6,27	3,92	1,02	0,14
11	Ноябрьск	Песок пылеватый	2,61	1,71	1,54193	10,9	40,9222	0,69268	0,41071	26,5396	35,68	17,69	18,1	20,76	3,13	4,64

грунте фракций диаметром 0,50–0,25; 0,25–0,10; 0,10–0,05; 0,05–0,01; 0,01–0,005; менее 0,005.

Природная влажность грунта определена весовым способом с последующей сушкой в сушильном шкафу при температуре 105 °С [47]. После каждого высушивания бюкс с грунтом охлаждали до температуры помещения и взвешивали. Высушивание проводилось до получения разности масс грунта с бюксом при двух последующих взвешиваниях не более чем 0,02 г. По двум определениям выводили среднее значение влажности грунта с точностью до 0,1 % с последующим округлением до 1 % [46].

Плотность грунта земляного полотна определена методом режущего кольца [47]. Кольцо-пробоотборник плавно, без перекосов вдавливали в грунт, излишки грунта вокруг кольца удаляли. Поверхность грунта зачищали, кольцо накрывали стеклянной пластинкой и подхватывали снизу плоской лопаткой. Кольцо с грунтом и пластинками взвешивали и рассчитывали плотность с точностью до 0,01. Для каждой пробы производили два параллельных определения. Расхождение результатов не должно превышать 0,02 г/см^3 [46].

Плотность минеральных частиц грунта земляного полотна определена пикнометрическим методом в соответствии с ГОСТ 5180–2015 [47]. Пробу грунта в воздушно-сухом состоянии растирали пестиком и просеивали через сито с диаметром 2 мм. Навеска грунта помещалась в пикнометр, заливалась дистиллированной водой и кипятилась для удаления воздуха на песчаной бане. После кипячения пикнометр охлаждали и взвешивали на технических весах. На основании полученных данных вычислена плотность частиц грунта по двум параллельным определениям с допустимым расхождением не более 0,02 г/ см^3 [46].

Расчёты плотности абсолютно сухого грунта (скелета), пористости, коэффициента пористости, степени влажности и полной влагоемкости осуществляли по соответствующим формулам, изложенным в рекомендациях [45].

3.4 Экспериментальные исследования величины коэффициента теплопроводности грунтов земляного полотна

При исследовании теплофизических свойств грунтов был применен метод планирования эксперимента. Этот метод позволяет получить результаты требуемой достоверности и надёжности при минимальных затратах ресурсов, а также представить полученную информацию в удобной форме [160]. В качестве основных действующих факторов при планировании эксперимента были выбраны: x_1 – весовая влажность грунта; x_2 – плотность сухого грунта; x_3 – температура грунта. Принятые факторы с соответствующими уровнями их изменения приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Условия планирования эксперимента

Факторы	Код	Единица измерения	Используемые уровни		
			–1	0	+1
Песок пылеватый					
Весовая влажность грунта	x_1	д.е.	0,010	0,050	0,090
Плотность сухого грунта	x_2	$^{г}/_{см^3}$	1,758	1,828	1,898
Температура грунта	x_3	°C	0	–2,5	–5

В качестве исследуемого параметра (показателя цели) принят коэффициент теплопроводности грунта – λ, Вт/(м*К). В связи с многофакторностью решаемой задачи применена матрица эксперимента типа ПФЭ 3^3. Центр и уровни плана определены на основании предварительных экспериментов [16].

Лабораторные исследования по определению теплофизических характеристик выполнены для образцов грунта, отбор которых произведён на постах наблюдения. Согласно лабораторным испытаниям наиболее распространенным видом грунта при возведении земляного полотна на территории исследования является песок пылеватый, доля которого составляет 72,7 % от общего количества отобранных проб (см. таблицу 3.3). Для проведения эксперимента выбрано 3 вида образцов пылеватого песка с разным гранулометрическим составом (в частности, количеством пылеватых частиц) – Новый Уренгой (29,63), Ноябрьск (46,63) и Горнокнязевск (73,98).

Анализируя показания с датчиков для выбранных постов наблюдений (см. раздел 3.2), определены максимальные и минимальные значения объёмной

влажности грунтов, после чего по формуле (3.1) осуществлен переход от объёмной влажности к весовой (таблица 3.5):

$$W_{\text{вес}} = W_{\text{об}}/\rho_{\text{сух.гр.}}, \quad (3.1)$$

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

Значения плотности сухого грунта являются результатами испытаний по определению физико-механических свойств отобранных проб грунтов (см. раздел 3.3).

Таблица 3.5 – Результаты определения максимальных и минимальных значений влажности грунта

Пост наблюдения	Горнокнязевск, № 1	Новый Уренгой, № 5	Ноябрьск, № 11
$\rho_{\text{сух.гр}}$, г/см^3	1,4231	1,6823	1,5419
$W_{\text{об,max}}$, д.е.	0,122	0,151	0,103
$W_{\text{вес,max}}$, д.е.	**0,086**	**0,090**	**0,067**
$W_{\text{об,min}}$, д.е.	0,031	0,018	0,031
$W_{\text{вес,min}}$, д.е.	**0,013**	**0,010**	**0,012**

Для значения «+1» выбрано максимальное из максимальных значений; для значения «–1» – минимальное значение из минимальных; для значения «0» – среднее значение из средних.

Согласно ГОСТ 22733–2016 [44] определены максимальная плотность и оптимальная влажность грунтов земляного полотна. Результаты проведенных испытаний позволяют обосновать выбор фактора «плотность сухого грунта». Для значения «+1» выбраны минимальное из максимальных значений; для значения «–1» – минимальное значение из минимальных; для значения «0» – среднее значение из средних.

В результате проведенных пробных испытаний по оценке влияния температурного режима в образцах грунта на изменение коэффициента теплопроводности при постоянных значениях его влажности и плотности для дальнейших исследований были назначены следующие значения температуры: –5 °С (значение «–»), –2,5°С (значение «0») и 0°С (значение «+») [144]. В этом диапазоне температур грунта возможна интенсивная миграция влаги [32, 198].

Число опытов (N), необходимое для реализации всех возможных сочетаний факторов, находят по формуле [100]:

$$N = n^k, \quad (3.2)$$

где k – число факторов; n – число уровней.

Для одного образца грунта $k = 3;\ n = 3$, тогда количество опытов будет равно:

$$N = 3^3 = 27 \text{ опытов.}$$

Матрица планирования эксперимента представлена в таблице 3.6.

Определение теплофизических параметров производят с помощью прибора измерения TEMPOS (рисунок 3.8) и подключаемого к нему с помощью кабеля DB15 зонда SH-3.

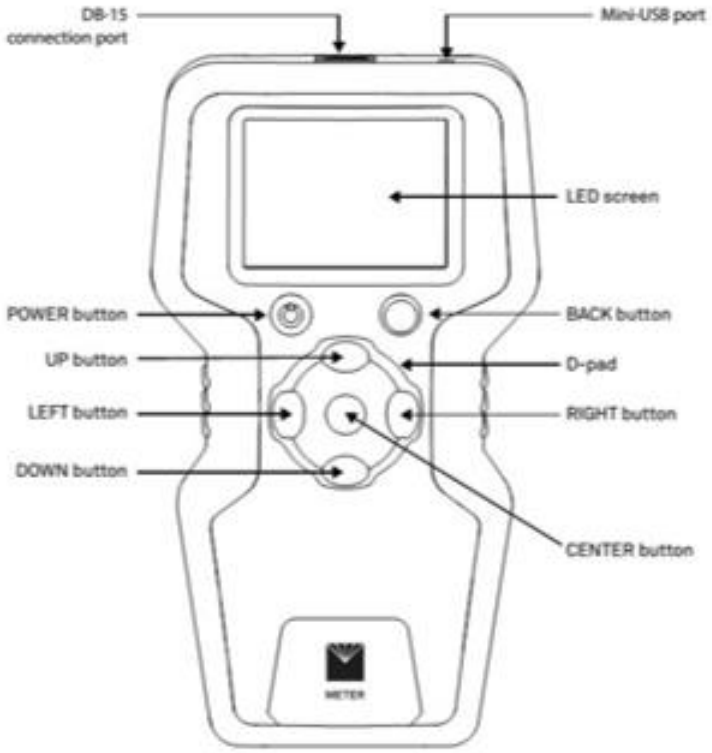


Рисунок 3.8 – Схема контроллера TEMPOS

Зонд с двумя щупами SH-3 измеряет объёмную теплоёмкость (C), температуропроводность (D) и теплопроводность (K) (рисунок 3.9).

Таблица 3.6 – Матрица планирования эксперимента

№	x_1	x_2	x_3	λ	№	x_1	x_2	x_3	λ	№	x_1	x_2	x_3	λ
	Новый Уренгой (29,63)				**Ноябрьск (46,63)**					**Горнокнязевск (73,98)**				
1	0,01	1,758	–5	0,571	**28**	0,01	1,758	–5	0,7473	**55**	0,01	1,758	–5	0,2572
2	0,01	1,758	**–2,5**	0,577	**29**	0,01	1,758	**–2,5**	0,7401	**56**	0,01	1,758	**–2,5**	0,2569
3	0,01	1,758	*0*	0,5815	**30**	0,01	1,758	*0*	0,7489	**57**	0,01	1,758	*0*	0,2591
4	0,01	**1,828**	–5	0,6274	**31**	0,01	**1,828**	–5	1,915	**58**	0,01	**1,828**	–5	0,2783
5	0,01	**1,828**	**–2,5**	0,6255	**32**	0,01	**1,828**	**–2,5**	1,912	**59**	0,01	**1,828**	**–2,5**	0,2794
6	0,01	**1,828**	*0*	0,6297	**33**	0,01	**1,828**	*0*	2,357	**60**	0,01	**1,828**	*0*	0,2817
7	0,01	*1,898*	–5	0,644	**34**	0,01	*1,898*	–5	3,203	**61**	0,01	*1,898*	–5	0,2804
8	0,01	*1,898*	**–2,5**	0,643	**35**	0,01	*1,898*	**–2,5**	3,206	**62**	0,01	*1,898*	**–2,5**	0,2781
9	0,01	*1,898*	*0*	0,646	**36**	0,01	*1,898*	*0*	3,602	**63**	0,01	*1,898*	*0*	0,2811
10	**0,05**	1,758	–5	0,6474	**37**	**0,05**	1,758	–5	0,8058	**64**	**0,05**	1,758	–5	0,9621
11	**0,05**	1,758	**–2,5**	0,6355	**38**	**0,05**	1,758	**–2,5**	0,7846	**65**	**0,05**	1,758	**–2,5**	1,106
12	**0,05**	1,758	*0*	0,6497	**39**	**0,05**	1,758	*0*	0,8042	**66**	**0,05**	1,758	*0*	0,975
13	**0,05**	**1,828**	–5	2,625	**40**	**0,05**	**1,828**	–5	2,04	**67**	**0,05**	**1,828**	–5	1,216
14	**0,05**	**1,828**	**–2,5**	2,432	**41**	**0,05**	**1,828**	**–2,5**	1,998	**68**	**0,05**	**1,828**	**–2,5**	1,347
15	**0,05**	**1,828**	*0*	3,086	**42**	**0,05**	**1,828**	*0*	2,506	**69**	**0,05**	**1,828**	*0*	1,239
16	**0,05**	*1,898*	–5	3,3	**43**	**0,05**	*1,898*	–5	3,11	**70**	**0,05**	*1,898*	–5	1,176
17	**0,05**	*1,898*	**–2,5**	3,152	**44**	**0,05**	*1,898*	**–2,5**	3,234	**71**	**0,05**	*1,898*	**–2,5**	1,295
18	**0,05**	*1,898*	*0*	3,7	**45**	**0,05**	*1,898*	*0*	3,592	**72**	**0,05**	*1,898*	*0*	1,180
19	*0,09*	1,758	–5	0,624	**46**	*0,09*	1,758	–5	0,8253	**73**	*0,09*	1,758	–5	1,743
20	*0,09*	1,758	**–2,5**	0,663	**47**	*0,09*	1,758	**–2,5**	0,826	**74**	*0,09*	1,758	**–2,5**	1,516
21	*0,09*	1,758	*0*	0,626	**48**	*0,09*	1,758	*0*	0,8056	**75**	*0,09*	1,758	*0*	2,005
22	*0,09*	**1,828**	–5	2,528	**49**	*0,09*	**1,828**	–5	2,579	**76**	*0,09*	**1,828**	–5	2,165
23	*0,09*	**1,828**	**–2,5**	2,436	**50**	*0,09*	**1,828**	**–2,5**	2,88	**77**	*0,09*	**1,828**	**–2,5**	2,146
24	*0,09*	**1,828**	*0*	2,814	**51**	*0,09*	**1,828**	*0*	2,614	**78**	*0,09*	**1,828**	*0*	2,549
25	*0,09*	*1,898*	–5	3,2	**52**	*0,09*	*1,898*	–5	2,91	**79**	*0,09*	*1,898*	–5	2,148
26	*0,09*	*1,898*	**–2,5**	3,036	**53**	*0,09*	*1,898*	**–2,5**	3,16	**80**	*0,09*	*1,898*	**–2,5**	2,055
27	*0,09*	*1,898*	*0*	3,416	**54**	*0,09*	*1,898*	*0*	2,817	**81**	*0,09*	*1,898*	*0*	2,369

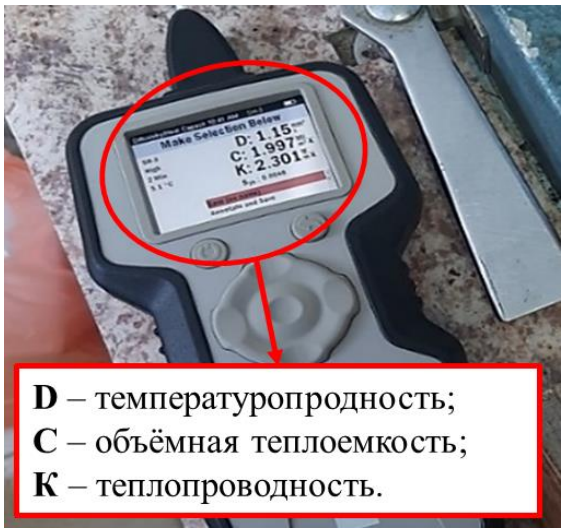


Рисунок 3.9 – Вид контроллера с выведенными результатами измерений

Время измерения теплофизических характеристик составляет 2 мин: в течение первых 30 с происходит нагрев щупов, далее наблюдается остывание (рисунок 3.10). Измерения температуры контроллером выполняют в течение полутора минут с интервалом снятия показаний, равным 1 с. Для большей точности необходимо сохранять параллельность между щупами зонда.

а *б*



Рисунок 3.10 – Вид контроллера в ходе измерения теплофизических характеристик грунта земляного полотна: *а* – нагрев щупов; *б* – остывание щупов

Испытания грунта осуществляют в следующем порядке [144]:

1. Испытуемый грунт доводят до определенной влажности.

   Определяют влажность грунта по формуле [47]:

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m} 100\ \%, \qquad (3.3)$$

   где m_1 – масса влажного грунта с бюксом, г; m_0 – масса высушенного грунта с бюксом, г; m – масса пустого бюкса, г.

   Если полученная влажность получилась больше требуемой для эксперимента (см. таблицу 3.6), то следует грунт досушить в сушильном шкафу при температуре (105 ± 2) °С. Если же влажность меньше требуемой – грунт следует доувлажнить. Количество воды (Q, г) для доувлажнения образца грунта рассчитывают по формуле [44]:

$$Q = \frac{m'_p}{1 + 0{,}01 * W_g} \times 0{,}01 * (W_{\text{треб}} - W), \qquad (3.4)$$

   где m'_p – масса отобранной пробы, г; $W_{\text{треб}}$ – требуемая влажность, %.

2. Образец грунта уплотняют методом стандартного уплотнения (рисунок 3.11) [44]:
   - в собранную форму загружают слой грунта толщиной 50–60 мм и слегка уплотняют рукой его поверхность, после чего проводят уплотнение 40 ударами груза по наковальне с высоты 300 мм, зафиксированной на направляющей штанге. Аналогичную операцию проводят с каждым из трёх слоёв грунта, последовательно загружаемых в форму. Перед загрузкой второго и третьего слоёв поверхность предыдущего уплотненного слоя взрыхляют ножом на глубину 1–2 мм. Перед укладкой третьего слоя на форму устанавливают насадку;
   - после уплотнения третьего слоя снимают насадку и срезают выступающую часть грунта заподлицо с торцом формы;

- взвешивают цилиндрическую часть формы с уплотненным грунтом (m_i) и вычисляют плотность грунта ($\rho, \frac{г}{см^3}$) с точностью 0,01 $\frac{г}{см^3}$ по формуле

$$\rho = \frac{m_i - m_c}{V}, \quad (3.5)$$

где m_i – масса цилиндрической части формы с уплотненным грунтом, г; m_c – масса цилиндрической части формы без грунта, г; V – вместимость формы, $см^3$.

Если плотность получилась больше или меньше требуемой для эксперимента (см. таблицу 3.6), то количество ударов соответственно следует уменьшить или увеличить.

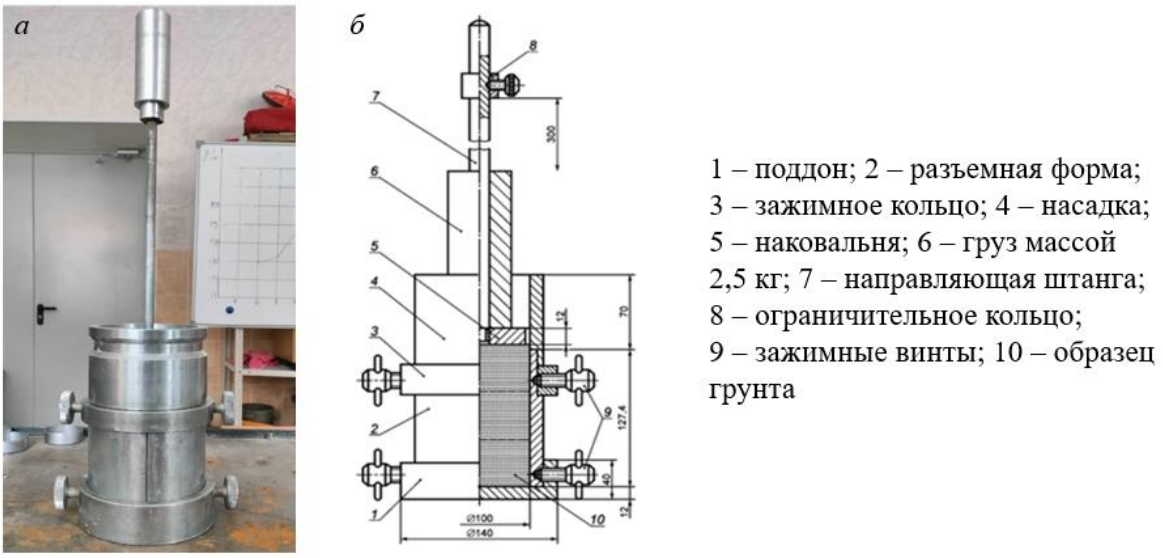


Рисунок 3.11 – Вид установки для испытания грунта методом стандартного уплотнения: *а* – общий вид прибора СОЮЗДОРНИИ; *б* – схема прибора СОЮЗДОРНИИ

3. Устанавливают зонд SH-3 в образец грунта.

В подготовленный образец грунта зонд вставляют так, чтобы щупы были полностью погружены в грунт. Для контроля температуры в образце грунта используют дополнительный датчик температуры (рисунок 3.12).



Рисунок 3.12 – Образец грунта в морозильной камере

4. Образец грунта промораживают в морозильной камере.

   Форму с грунтом помещают в морозильную камеру (рисунок 3.12). На протяжении всего испытания в морозильной камере поддерживается отрицательная температура (рисунок 3.13).

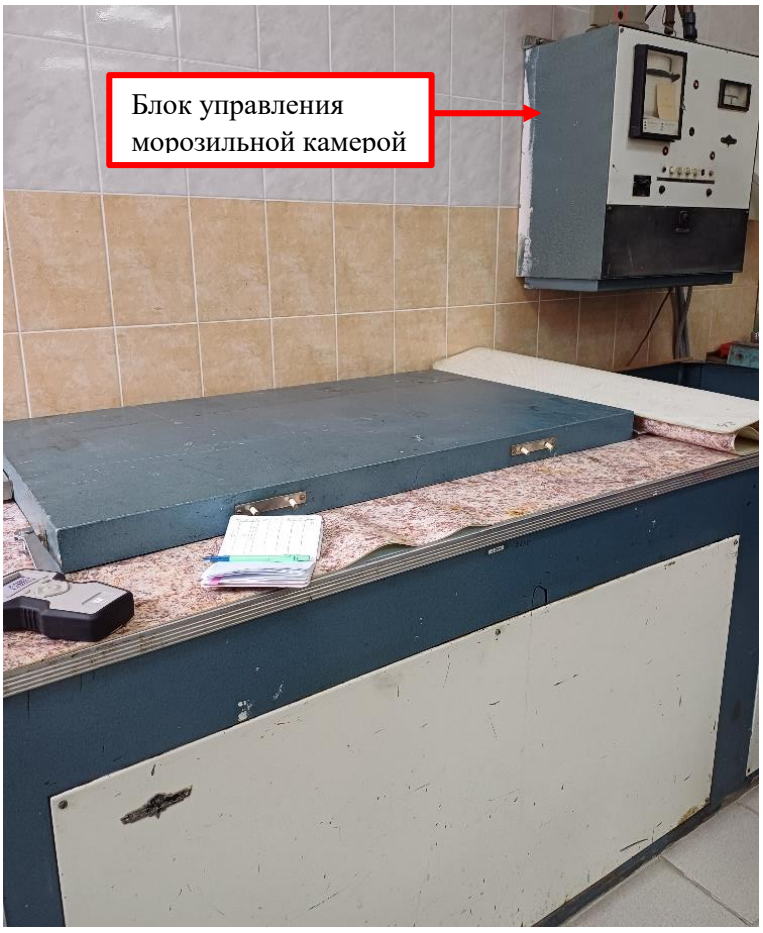


Рисунок 3.13 – Общий вид морозильной камеры HCL 260/270

5. Измеряют коэффициент теплопроводности с помощью контроллера TEMPOS.

   Измерения проводят при достижении грунтом назначенных температур (см. таблицу 3.6). Чтобы начать измерения, на экране снятия показаний нужно нажать кнопку Start. По окончании измерений в верхней строке появляется слово «COMPLETE!», после чего на экране отображаются значения, рассчитанные прибором с помощью алгоритмов (см. рисунок 3.9).

Следует отметить, что отклонения результатов лабораторных экспериментов для образцов грунтов в серии испытаний от средних значений не превышают 10 %. Это свидетельствует о достаточной степени надёжности полученных результатов. Анализ результатов экспериментального определения коэффициента теплопроводности грунтов от различных факторов представлен в разделе 4.3.

3.5 Выводы по главе 3

1. На территории ЯНАО оборудовано 11 стационарных постов наблюдения, отвечающих требованиям нормативных документов. На оборудованных постах в течение трёх годовых циклов водно-теплового режима (с 01.08.2021 г. по 31.07.2024 г.) выполнен мониторинг сезонных изменений влажности рабочего слоя земляного полотна. Наблюдения позволили накопить статистический материал для сопоставления экспериментальных и прогнозируемых значений влажности грунтов.
2. Осуществлено визуальное и инструментальное обследование участков автомобильных дорог. Произведено вскрытие слоёв дорожной одежды с целью установления существующих конструктивных решений, отбора монолитов грунта земляного полотна для лабораторных и калибровочных исследований и проведения штамповых испытаний. Установлено, что в 37 % случаев дорожные одежды включают слои основания из сборного цементобетона. Фактические значения модуля упругости на поверхности грунта рабочего слоя земляного полотна находятся в пределах 52 МПа до

131 МПа. Применяемые при испытаниях приборы и оборудование имели свидетельства о поверке, выданные региональными центрами стандартизации и метрологии, что способствовало обеспечению качества и достоверности получаемых результатов.

3. Лабораторные исследования по установлению состава и свойств грунтов рабочего слоя земляного полотна выполнены в соответствии с требованиями действующих государственных стандартов в лабораториях Томского государственного архитектурно-строительного университета. Достаточные объёмы проб образцов грунтов и количество серий их испытаний установлены с применением методов математической статистики при уровне надёжности 0,95. Преобладающим видом грунта, слагающего земляное полотно обследованных титулов автомобильных дорог на территории ЯНАО, является песок пылеватый (72,7 % от общего количества проб).
4. Испытания по исследованию коэффициента теплопроводности песка пылеватого реализованы с применением прибора TEMPOS и подключаемого к нему зонда SH-3. При исследовании теплофизических свойств песка пылеватого назначены три основных фактора: весовая влажность грунта с шагом 0,04 д.е., плотность сухого грунта с шагом 0,07 г/см^3 и температура грунта с шагом 2,5 °С. Выбор факторов обоснован их изменчивостью в годовом цикле водно-теплового режима. Составлена матрица планирования эксперимента, позволяющая получить результаты требуемой достоверности и надёжности при минимальных затратах ресурсов. Количество опытов для одного образца грунта составляет 27.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЛУБИН И СКОРОСТИ ПРОМЕРЗАНИЯ-ОТТАИВАНИЯ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

4.1 Оценка климатических условий района исследований за период наблюдений за влажностью и температурой грунтов земляного полотна

Среди метеорологических переменных, учитываемых при дорожно-климатическом районировании территории исследования, большое значение имеют показатели температуры воздуха и количество осадков. Учитывая влияние этих показателей на водно-тепловой режим грунтов земляного полотна автомобильных дорог, считаем целесообразным их учет при формировании информационной базы данных для дорожно-климатического районирования территории Ямало-Ненецкого автономного округа. Сведения о показателях климата в основном заимствованы из справочной литературы [6, 107] в виде среднемесячных значений, установленных за период 25–30 лет наблюдений [73].

Сеть действующих на территории ЯНАО метеостанций располагается от 63°22′48″ с. ш. (метеостанция Халясавэй) до 73°19′49″ с. ш. (метеостанция им. Попова) и 64°43′12″ в. д. (метеостанция Мужи) до 82°17′14″ в. д. (метеостанция Сидоровск) (см. рисунок 2.2, таблица 4.1). Основной анализ климата выполнен для всех действующих на территории исследования метеостанций, оценка изменчивости показателей выполнена для четырех наиболее близко расположенных к установленным постам наблюдения (см. раздел 3.1, рисунок 3.1) метеостанций – Салехард (посты № 1, 2), Надым (посты № 3, 4), Тарко-Сале (посты № 5, 7–11), Тазовское (пост № 6). Наблюдения осуществлены в период с 1 августа 2021 г. по 31 июля 2024 г.

В целом самым холодным месяцем за период наблюдений (01.08.2021 г. – 31.07.2024 г.) является январь, однако за первый год наблюдений (01.08.2021 г. – 31.07.2022 г.) таким месяцем оказался декабрь. На большей части территории

самым жарким месяцем за весь период наблюдений является июль, в некоторых же населенных пунктах температура воздуха в августе оказалась выше.

Таблица 4.1 – Перечень действующих метеостанций на территории ЯНАО

№ п/п	Наименование метеостанции	Географическая широта	Ближайший населенный пункт
1	Тазовское	67°28'	п. Тазовский
2	Ныда	66°37′	с. Ныда
3	Сидоровск	66°36′	п. Сидоровск
4	Салехард	66°31′	г. Салехард
5	Полуй	66°26′	п. Полуй
6	Уренгой	65°67′	пгт Уренгой
7	Питляр	65°41′	с. Питляр
8	Надым	65°31′	г. Надым
9	Мужи	65°24′	с. Мужи
10	Тарко-Сале	64°54′	г. Тарко-Сале
11	Толька	63°59′	с. Толька
12	Халесовая	63°23′	с. Халясавэй
13	Антипаюта	69°05′	с. Антипаюта
14	Им. Попова	73°20′	находится на о. Белый
15	Марресаля	69°43′	с. Сеяха
16	Новый Порт	67°41′	с. Новый Порт
17	Сеяха	70°10′	с. Сеяха

На территории Ямало-Ненецкого автономного округа осадков выпадало в среднем за период 01.08.2021 г. – 31.07.2022 г. от 8 мм в с. Новый Порт до 61 мм в с. Толька, за период 01.08.2022 г. – 31.07.2023 г. – от 14 мм в с. Новый Порт до 59 мм в г. Тарко-Сале, за период 01.08.2023 г. – 31.07.2024 г. – от 19 мм в с. Новый Порт до 68 мм в с. Мужи.

По мнению ряда специалистов [27], неоднородность климатических показателей территории Российской Федерации вызвана тем, что на фоне глобального повышения температуры воздуха имеются районы, где потепление не происходит или, наоборот, наблюдается похолодание. Изменение климатических условий касается и Арктической зоны. Погодные условия отдельного периода наблюдения характеризуются степенью отклонения этих параметров от их климатических стандартных норм. Значения среднемесячных температур 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. [39,

135]. Среднемесячные температура воздуха и сумма осадков за период с 1 августа 2021 г. по 31 июля 2024 г. взяты из архива погоды ЯНАО [6].

Изменение среднемесячной температуры воздуха за полный и зимний период мониторинга 01.08.2021 – 31.07.2024 для четырёх метеостанций представлено в таблице 4.2. Анализируя данные таблицы, можно сделать вывод о том, что в основном за весь период наблюдений среднемесячная температура воздуха превышает среднемноголетнюю норму. В зимний период на территории округа наблюдался один или два холодных месяца, однако среднезимняя температура воздуха оставалась выше нормы. Отдельно следует отметить метеостанцию Тазовское, для которой январь 2023 г. и июнь 2024 г., по сравнению с многолетней нормой, оказались очень холодными.

Для оценки изменчивости количества атмосферных осадков вычислены абсолютные и относительные отклонения от многолетних значений, а также среднеквадратическое отклонение средней многолетней месячной величины элемента.

Величину абсолютного отклонения от нормы устанавливают по формуле [50]:

$$\Delta = x_i - \bar{x}, \tag{4.1}$$

где x_i – среднее значение климатического элемента за отдельные годы; $\bar{x}$ – среднемноголетнее значение элемента (климатическая норма).

Для определения относительного отклонения применяли формулу [50]:

$$m = \frac{\Delta}{\sigma}, \tag{4.2}$$

где σ – среднеквадратическое отклонение средней многолетней месячной величины метеорологического элемента, рассчитываемое по формуле [163]:

$$\sigma = \frac{1}{n} * \sqrt{\sum_{n}^{i} (x_i - \bar{x})^2}, \tag{4.3}$$

где n – число наблюдений; $\sum(x_i - \bar{x})$ – сумма всех отклонений от средней многолетней величины.

Таблица 4.2 – Ход изменения среднемесячной температуры воздуха на территории ЯНАО за период 01.08.2021–31.07.2024

	Среднемесячная температура воздуха, °С												Среднезим. темп. воздуха, °С	Сумма градусов дней мороза за зиму, градусо-сутки
	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Надым													
Норма (01.01.1991–31.12.2020)	12,4	5,7	**-3,3**	**-15,5**	**-21**	**-22,6**	**-22,3**	**-13,7**	**-8,2**	0,7	10,7	15,9	**-15,23**	**-3214,00**
01.08.2021–31.07.2022	*15,1*	*6,1*	***-0,3***	***-14,8***	***-23,4***	***-18,7***	***-16,0***	***-13,2***	***-4,2***	*7,6*	*13,6*	*16,1*	***-12,9***	***-2741,6***
Отклонение от нормы	2,7	0,4	**3,0**	**0,7**	**-2,4**	**3,9**	**6,3**	**0,5**	**4,0**	6,9	2,9	0,2	2,3	472,40
01.08.2022–31.07.2023	*14,2*	*5,9*	***1,1***	***-17,7***	***-20,0***	***-22,3***	***-13,2***	***-11,5***	***-8,5***	*4,8*	*10,5*	*19,2*	***-13,2***	***-2789,3***
Отклонение от нормы	1,8	0,2	**4,4**	**-2,2**	**1,0**	**0,3**	**9,1**	**2,2**	**-0,3**	4,1	-0,2	3,3	2,1	424,70
01.08.2023–31.07.2024	*14,7*	*8,5*	***0,2***	***-10,6***	***-20,5***	***-24,1***	***-17,4***	***-16,9***	***-8,8***	*-0,9*	*11,3*	*17,2*	***-14,0***	***-2969,5***
Отклонение от нормы	2,3	2,8	**3,5**	**4,9**	**0,5**	**-1,5**	**4,9**	**-3,2**	**-0,6**	-1,6	0,6	1,3	1,2	244,50
	Салехард													
Норма (01.01.1991–31.12.2020)	11,4	5,3	**-3**	**-15,3**	**-20,6**	**-23,2**	**-22,9**	**-14,9**	**-9,1**	**-0,5**	9,5	14,8	**-13,69**	**-3301,40**
01.08.2021–31.07.2022	*14,0*	*5,6*	***-1,0***	***-14,5***	***-22,4***	***-20,6***	***-17,6***	***-13,1***	***-5,2***	***4,6***	*12,4*	*15,9*	***-11,2***	***-2711,30***
Отклонение от нормы	2,6	0,3	**2,0**	**0,8**	**-1,8**	**2,6**	**5,3**	**1,8**	**3,9**	5,1	2,9	1,1	2,5	590,10
01.08.2022–31.07.2023	*14,4*	*5,8*	***1,3***	***-13,9***	***-19,4***	***-18,4***	***-16,0***	***-13,8***	***-7,8***	***4,8***	*9,5*	*17,7*	***-10,4***	***-2509,50***
Отклонение от нормы	3,0	0,5	**4,3**	**1,4**	**1,2**	**4,8**	**6,9**	**1,1**	**1,3**	5,3	0,0	2,9	3,3	791,90
01.08.2023–31.07.2024	*15,0*	*8,7*	***-0,1***	***-11,8***	***-18,4***	***-23,8***	***-17,2***	***-17,3***	***-10,5***	***-2,4***	*8,9*	*15,7*	***-12,7***	***-3072,60***
Отклонение от нормы	3,6	3,4	**2,9**	**3,5**	**2,2**	**-0,6**	**5,7**	**-2,4**	**-1,4**	-1,9	-0,6	0,9	1,0	228,80

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Тазовское													
Норма (01.01.1991–31.12.2020)	11,4	4,4	**-5,9**	**-18,2**	**-23,4**	**-25,5**	**-25,4**	**-19**	**-13,6**	**-4**	7,3	14,5	**-16,88**	**-4077,00**
01.08.2021–31.07.2022	*13,2*	*5,7*	***-1,4***	***-16,3***	***-25,5***	***-20,6***	***-19,1***	***-17,5***	***-8,3***	***2,6***	*13,5*	*15,5*	***-13,3***	***-3207,20***
Отклонение от нормы	1,8	1,3	**4,5**	**1,9**	**-2,1**	**4,9**	**6,3**	**1,5**	**5,3**	6,6	6,2	1,0	3,6	869,80
01.08.2022–31.07.2023	*12,6*	*4,1*	***0***	***-19,6***	***-21,2***	***-30,4***	***-15,2***	***-15,8***	***-13,5***	***0,3***	*9,7*	*17,3*	***-16,5***	***-3498,70***
Отклонение от нормы	1,2	-0,3	**5,9**	**-1,4**	**2,2**	**-4,9**	**10,2**	**3,2**	**0,1**	4,3	2,4	2,8	0,4	578,30
01.08.2023–31.07.2024	*13,7*	*6,8*	***-1,0***	***-14,5***	***-20,6***	***-24,0***	***-19,1***	***-21,2***	***-12,7***	***-4,1***	*-6,3*	*15,6*	***-14,7***	***-3548,70***
Отклонение от нормы	2,3	2,4	**4,9**	**3,7**	**2,8**	**1,5**	**6,3**	**-2,2**	**0,9**	-0,1	-13,6	1,1	2,2	528,30
	Тарко-Сале													
Норма (01.01.1991–31.12.2020)	12,9	5,7	**-3,7**	**-16,2**	**-22,1**	**-23,9**	**-22,9**	**-14,4**	**-8,5**	0,5	11,4	16,5	**-15,96**	**-3369,30**
01.08.2021–31.07.2022	*15,2*	*6,4*	***-0,3***	***-14,4***	***-24,3***	***-18,2***	***-16,6***	***-13,6***	***-4,5***	*8,5*	*15,0*	*16,6*	***-13,1***	***-2780,2***
Отклонение от нормы	2,3	0,7	**3,4**	**1,8**	**-2,2**	**5,7**	**6,3**	**0,8**	**4,0**	8,0	3,6	0,1	2,8	589,10
01.08.2022–31.07.2023	*13,8*	*5,9*	***0,9***	***-19,1***	***-19,9***	***-26,7***	***-13,8***	***-11,4***	***-9,0***	*4,2*	*11,4*	*19,4*	***-14,1***	***-2999,5***
Отклонение от нормы	0,9	0,2	**4,6**	**-2,9**	**2,2**	**-2,8**	**9,1**	**3,0**	**-0,5**	3,7	0,0	2,9	1,8	369,80
01.08.2023–31.07.2024	*14,5*	*8,2*	***0,4***	***-11,1***	***-20,6***	***-23,8***	***-18,1***	***-16,2***	***-8,7***	*-0,1*	*12,1*	*17,9*	***-14,0***	***-2967,0***
Отклонение от нормы	1,6	2,5	**4,1**	**5,1**	**1,5**	**0,1**	**4,8**	**-1,8**	**-0,2**	-0,6	0,7	1,4	1,9	402,30

Примечания: 1. Зимний период выделен полужирным начертанием букв.

2. Критерий аномалий температуры воздуха разной интенсивности согласно рекомендациям Всемирной Метеорологической Организации:

– норма (для месяца от –1 до 1 °С, сезона от –0,7 до 0,7 включительно °С);

– тёплый (для месяца от 1 до 4 °С, сезона от 0,7 до 3 °С);

– очень тёплый (для месяца более 4 °С, сезона более 3 °С);

– холодный (для месяца от –4 до –1 °С, сезона от –3 до –0,7 °С);

– очень холодный (для месяца менее –4 °С, сезона менее –3 °С).

Абсолютное отклонение, находящееся в пределах величины σ, является нормальным. В случае когда значения m находятся в пределах от –1 до +1 (включительно), отклонение считают нормальным, т. е. в период наблюдений не зафиксировано аномалий. Значения m, находящиеся в пределах от –1 до –2 (включительно) и от +1 до +2 (включительно), указывают на слабую аномалию метеорологического элемента в рассматриваемый период. Для сильных метеорологических аномалий относительное отклонение m меньше –2 и больше +2.

Изменение среднемесячного количества осадков за полный период мониторинга 01.08.2021–31.07.2024 для четырёх метеостанций представлено в таблице 4.3. Анализируя представленные данные, можно сделать вывод о том, что количество выпавших осадков в период исследований значительно превышает норму. В норме оказались 29,9 % среднемесячных значений, 34,7 % пришлось на слабые аномалии (меньше нормы) и 35,4 % – на сильные аномалии (значительно больше нормы). В Надыме (65°32′ с. ш. 72°31′ в. д.) за три года количество осадков за июль, август, октябрь и февраль (за исключением 02.2024 г.) меньше нормы, в остальные месяцы в основном количество осадков в норме или выше неё. В Салехарде (66°32′ с. ш. 66°38′ в. д.) количество осадков в августе (за исключением 08.2021 г.), ноябре (за исключением 11.2024 г.), марте (за исключением 03.2023 г.), мае, апреле и июле (за исключением 04.2024 г. и 07.2024 г.) меньше нормы, в остальное время в основном количество осадков в норме или выше неё. Основная часть аномально маленького среднемесячного количества осадков пришлась на Тазовский (67°28′ с. ш. 78°43′ в. д.) – в 2023 г. 10 месяцев количество осадков было ниже нормы (5 из которых – аномально ниже), остальные 2 месяца значения оставались в пределах нормы. Тарко-Сале (64°55′ с. ш. 77°46′ в. д.) примечателен тем, что за период наблюдений количество осадков за месяц оставалось в норме, ниже и превышало её практически в равных долях (36,1 %, 33,3 % и 30,6 % соответственно). На всей территории южной части округа в мае, июле, ноябре и декабре 2023 года, а также в феврале и июне 2024 года количество осадков было ниже нормы, в сентябре 2022 года – превысило норму, в сентябре 2023 года – в норме.

Таблица 4.3 – Ход изменения среднемесячного количества осадок на территории ЯНАО за период 01.08.2021–31.07.2024

	Осадки, мм											
	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Надым											
Норма (01.01.1991–31.12.2020)	73	50	59	39	29	26	21	28	33	39	66	68
01.08.2021–31.07.2022	*34*	*58*	*43*	*43*	*42*	*37*	*19*	*21*	*29*	*26*	*55*	*32*
Абсолютное отклонение от нормы Δ	-39	8	-16	4	13	11	-2	-7	-4	-13	-11	-36
Относительное отклонение от нормы m	-2,2	1,8	-2,3	0,5	2,0	1,2	-1,1	-1,2	-0,8	-2,5	-1,0	-2,6
01.08.2022–31.07.2023	*53*	*54*	*48*	*24*	*16*	*49*	*21*	*44*	*28*	*41*	*60*	*54*
Абсолютное отклонение от нормы Δ	-20	4	-11	-15	-13	23	0	16	-5	2	-6	-14
Относительное отклонение от нормы m	-1,1	0,9	-1,6	-2,0	-2,0	2,6	0,0	2,7	-1,0	0,4	-0,5	-1,0
01.08.2023–31.07.2024	*44*	*60*	*52*	*56*	*23*	*33*	*16*	*28*	*46*	*47*	*35*	*52*
Абсолютное отклонение от нормы Δ	-29	10	-7	17	-6	7	-5	0	13	8	-31	-16
Относительное отклонение от нормы m	-1,7	2,2	-1,0	2,2	-0,9	0,8	-2,8	0,0	2,7	1,6	-2,8	-1,1
σ	17,52	4,47	6,88	7,67	6,45	8,81	1,80	5,82	4,83	5,13	11,15	13,94
	Салехард											
Норма (01.01.1991–31.12.2020)	67	46	48	61	27	24	21	23	28	43	57	61
01.08.2021–31.07.2022	*54*	*55*	*47*	*34*	*45*	*30*	*21*	*26*	*19*	*21*	*47*	*18*
Абсолютное отклонение от нормы Δ	-13	9	-1	-27	18	6	0	3	-9	-22	-10	-43
Относительное отклонение от нормы m	-0,8	1,6	-0,1	-1,4	2,2	0,8	0,0	1,1	-1,4	-2,4	-0,9	-2,2
01.08.2022–31.07.2023	*24*	*51*	*40*	*10*	*11*	*45*	*25*	*16*	*17*	*32*	*81*	*25*
Абсолютное отклонение от нормы Δ	-43	5	-8	-51	-16	21	4	-7	-11	-11	24	-36
Относительное отклонение от нормы m	-2,6	0,9	-1,1	-2,6	-2,0	2,8	2,1	-2,6	-1,7	-1,2	2,2	-1,9
01.08.2023–31.07.2024	*48*	*32*	*69*	*55*	*27*	*28*	*17*	*20*	*41*	*30*	*38*	*49*
Абсолютное отклонение от нормы Δ	-19	-14	21	-6	0	4	-4	-3	13	-13	-19	-12
Относительное отклонение от нормы m	-1,2	-2,4	2,8	-0,3	0,0	0,5	-2,1	-1,1	2,0	-1,4	-1,8	-0,6
σ	16,26	5,79	7,50	19,34	8,03	7,40	1,89	2,73	6,42	9,27	10,73	19,12

Продолжение таблицы 4.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Тазовское											
Норма (01.01.1991–31.12.2020)	67	51	56	44	46	44	42	46	43	38	51	53
01.08.2021–31.07.2022	*68*	*62*	*54*	*31*	*41*	*32*	*21*	*29*	*25*	*30*	*17*	*32*
Абсолютное отклонение от нормы Δ	1	11	-2	-13	-5	-12	-21	-17	-18	-8	-34	-21
Относительное отклонение от нормы m	0,1	2,6	-0,3	-1,6	-0,5	-1,2	-2,4	-2,0	-1,5	-2,4	-2,4	-2,7
01.08.2022–31.07.2023	*70*	*47*	*42*	*23*	*26*	*22*	*38*	*49*	*19*	*42*	*66*	*47*
Абсолютное отклонение от нормы Δ	3	-4	-14	-21	-20	-22	-4	3	-24	4	15	-6
Относительное отклонение от нормы m	0,2	-0,9	-1,9	-2,5	-1,8	-2,3	-0,5	0,4	-2,0	1,2	1,1	-0,8
01.08.2023–31.07.2024	*10*	*56*	*73*	*41*	*20*	*29*	*27*	*27*	*62*	*34*	*30*	*60*
Абсолютное отклонение от нормы Δ	-57	5	17	-3	-26	-15	-15	-19	19	-4	-21	7
Относительное отклонение от нормы m	-3,0	1,2	2,3	-0,4	-2,4	-1,5	-1,7	-2,2	1,6	-1,2	-1,5	0,9
σ	19,03	4,24	7,37	8,29	11,06	9,74	8,71	8,56	11,84	3,27	14,23	7,64
	Тарко-Сале											
Норма (01.01.1991–31.12.2020)	67	51	56	44	46	44	42	46	43	38	51	53
01.08.2021–31.07.2022	*22*	*83*	*87*	*50*	*42*	*51*	*21*	*35*	*67*	*19*	*64*	*35*
Абсолютное отклонение от нормы Δ	-45	32	31	6	-4	7	-21	-11	24	-19	13	-18
Относительное отклонение от нормы m	-2,0	2,8	2,9	0,7	-0,6	1,7	-2,2	-0,9	2,3	-2,3	0,8	-1,1
01.08.2022–31.07.2023	*114*	*42*	*64*	*24*	*30*	*40*	*37*	*82*	*63*	*29*	*97*	*88*
Абсолютное отклонение от нормы Δ	47	-9	8	-20	-16	-4	-5	36	20	-9	46	35
Относительное отклонение от нормы m	2,1	-0,8	0,7	-2,2	-2,5	-1,0	-0,5	2,9	1,9	-1,1	2,7	2,1
01.08.2023–31.07.2024	*50*	*41*	*56*	*61*	*36*	*35*	*24*	*45*	*46*	*51*	*31*	*24*
Абсолютное отклонение от нормы Δ	-17	-10	0	17	-10	-9	-18	-1	3	13	-20	-29
Относительное отклонение от нормы m	-0,8	-0,9	0,0	1,9	-1,6	-2,2	-1,9	-0,1	0,3	1,6	-1,2	-1,8
σ	22,42	11,57	10,67	8,98	6,43	4,03	9,37	12,55	10,46	8,24	17,27	16,30

Примечание:
– норма ($-1 \leq m \leq +1$);
– слабая аномалия ($+1 > m \geq +2$);
– сильная аномалия ($m > +2$);
– слабая аномалия ($-2 \leq m < -1$);
– сильная аномалия ($m < -2$).

За период наблюдений ежегодно специалисты кафедры «Автомобильные дороги» ТТАСУ выполняли визуальную оценку состояния дорожного покрытия на оборудованных участках автомобильных дорог, согласно которой новых дефектов ни на одном из участков выявлено не было. На рисунках 4.1, 4.2 в качестве примера приведены общие виды участка автомобильной дороги «Подъезд к п. Горнокнязевск» КМ 1+695 в прямом и обратном направлении соответственно.



Рисунок 4.1 – Общий вид участка автомобильной дороги «Подъезд к п. Горнокнязевск» КМ 1+695 в прямом направлении

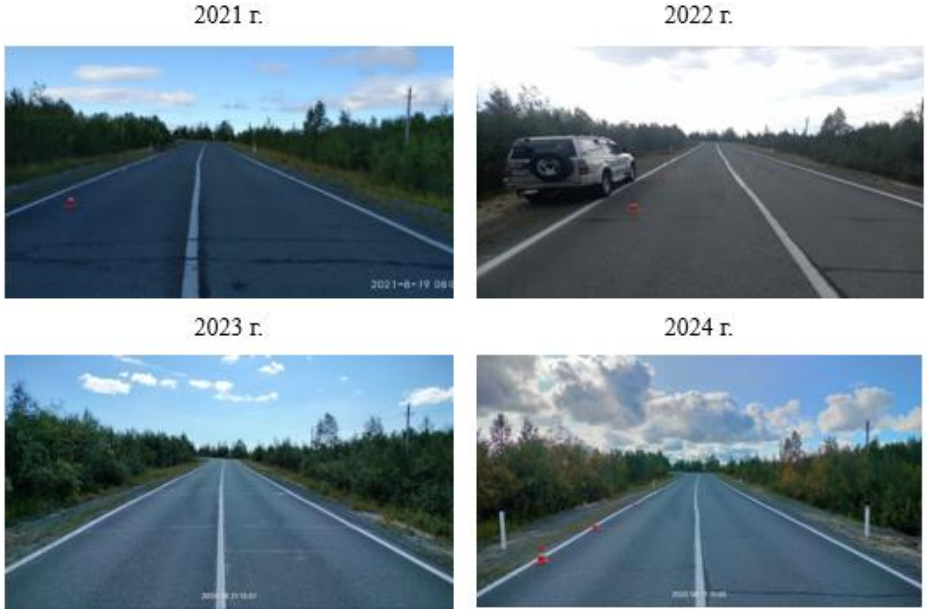


Рисунок 4.2 – Общий вид участка автомобильной дороги «Подъезд к п. Горнокнязевск» КМ 1+695 в обратном направлении

Также в период наблюдений выполняли геодезическую съёмку нивелиром Leica NA720 для оценки вертикальных перемещений высотных отметок поперечного профиля дорожного покрытия на стационарных постах. Критических вертикальных перемещений на поверхности дорожного покрытия в период проведения мониторинга зафиксировано не было. На рисунке 4.3 приведен поперечный профиль дорожной конструкции на посту № 1 (участок автомобильной дороги «Подъезд к п. Горнокнязевск» КМ 1+695).

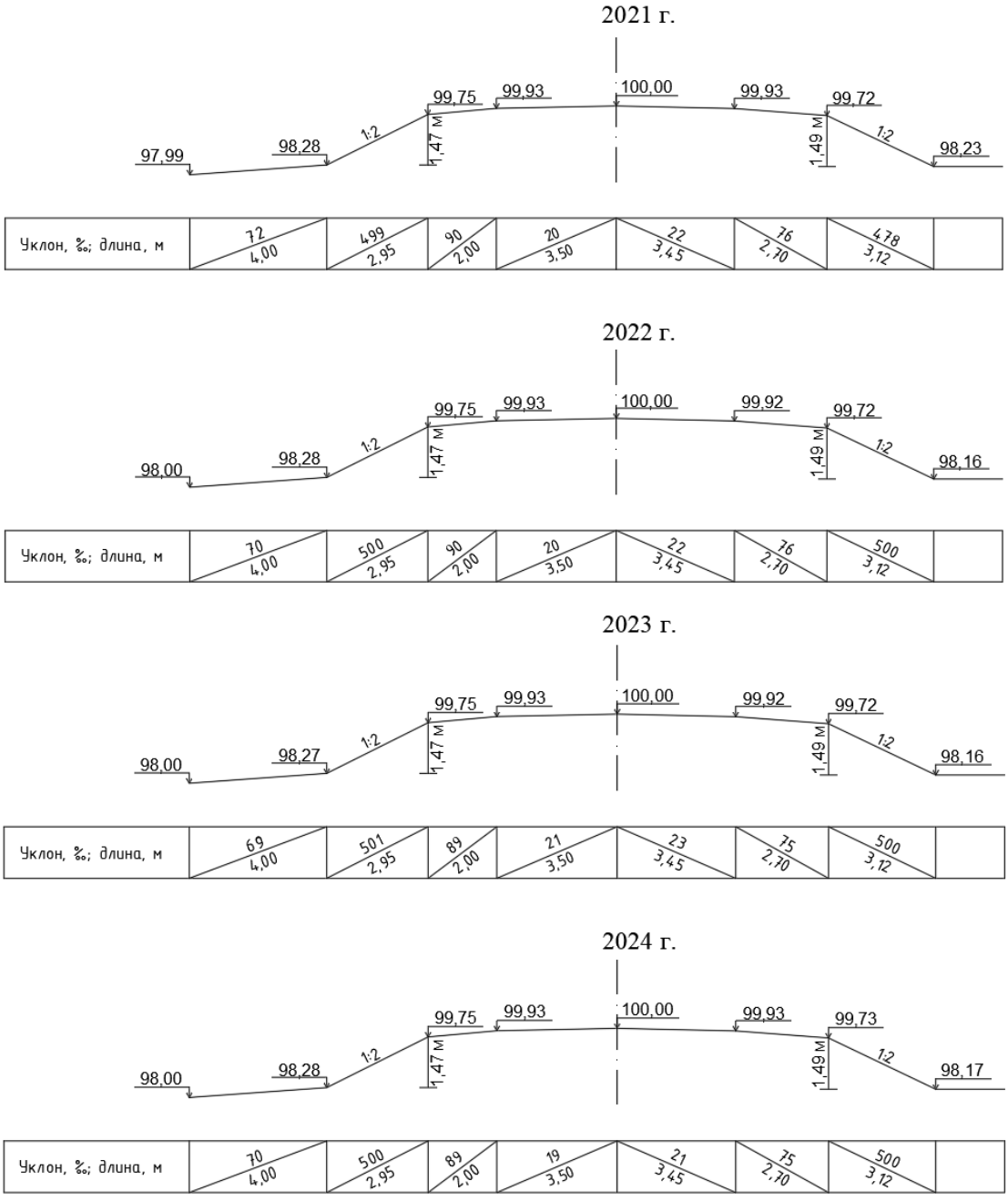


Рисунок 4.3 – Поперечный профиль дорожной конструкции участка автомобильной дороги «Подъезд к п. Горнокнязевск» КМ 1+695

При сопоставлении среднемесячных значений температуры воздуха за период с 01.08.2021 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 % – 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.

4.2 Результаты определения характеристик глубины и скорости промерзания грунта земляного полотна

Согласно положениям, изложенным в разделе 2, при прогнозировании весенней влажности грунта земляного полотна необходимы сведения о характеристиках глубины и скорости промерзания грунта земляного полотна. Определение перечисленных характеристик выполнено для вновь выделенных дорожных районов (см. раздел 5.2) – 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.

В разделе 2.2 предложен метод определения расчётной глубины промерзания, приведённый в работах [120, 154]. Согласно данному методу, при расчёте глубины промерзания, формула (2.17), необходимо знать конструкцию дорожной одежды. В работе конструкция дорожной одежды (рисунок 4.4, таблица 4.4) назначена и

рассчитана согласно действующим нормам [49, 156] для самой северной подзоны – I_1. В качестве грунта земляного полотна принят песок пылеватый, как наиболее распространенный грунт для возведения земляного полотна на территории исследования (см. таблицу 3.3) с расчетными характеристиками [49, 156]: $W_{от} = 0{,}6$; $E_{гр} = 84$ МПа; $\varphi_{дин} = 12°$; $c = 0{,}005$.

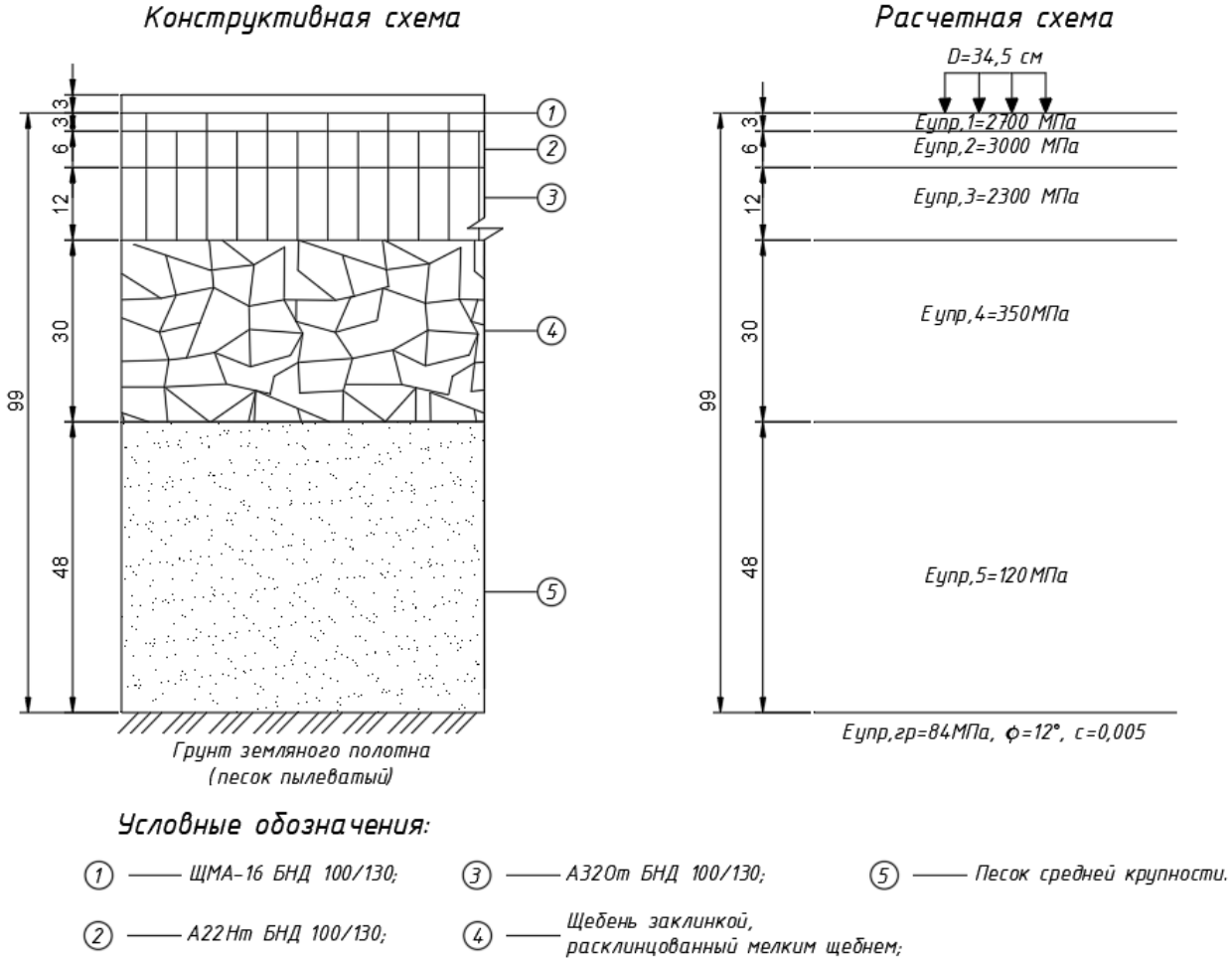


Рисунок 4.4 – Конструктивная и расчётная схемы дорожной одежды

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 [49, 154] и представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Расчетные характеристики материалов дорожной одежды

№	Материал слоя	h, см	Расчёт по допускаемому упругому прогибу E, МПа	Расчёт по условию сдвигоустойчивости E, Мпа	Расчёт на растяжение при изгибе				Удельное сцепление $c/c_{ст}$, МПа	Угол внутреннего трения, $\varphi/\varphi_{ст}$	Плотность сухого материала ρ_d, кг/м^3	Суммарная влажность w, д.е.	Коэффициент теплопроводности λ_f, Вт/(м*°С)	Объемная теплоемкость C_f, кДж/(м^3*°С)
					E, МПа	m	α	R_0, МПа						
1	ЩМА-16 БНД 100/130	6 (3)	2700	1450	4700	5	5,4	9,3			2200	0,03	1,4	3390
2	А 22Нт БНД 100/130	6	3000	1600	5200	5	5,4	9,3			2200	0,03	1,4	3390
3	А 32От БНД 100/130	12	2300	1250	4450	4,5	5,4	8,8			2200	0,03	1,4	3390
4	Щебень заклинкой, расклинцованный мелким щебнем	30	350	350	350						1800	0,1	2,35	1675
5	Песок средней крупности	48	120	120	120				$\frac{0,002}{0,004}$	$\frac{27}{32}$	1600	0,3	2,75	2345

Примечание. Теплофизические характеристики материалов слоёв дорожной одежды приняты согласно справочным материалам [154]

Для определения глубины промерзания дорожной конструкции в выделенных районах выбраны следующие опорные пункты: Тазовский (I.P.1), Салехард (I.P.2) и Тарко-Сале (I.P.3). Абсолютная средняя температура на поверхности покрытия ($\Theta_{тр}$) за период промерзания ($\tau_{пр}$) принята равной средней температуре воздуха за тот же период. Продолжительности периодов промерзания определены графоаналитическим методом в разделе 2.2 (см. таблицу 2.3). Абсолютная средняя температура на поверхности покрытия для Тазовского составила 17,9 °С, для Салехарда – 14,8 °С, для Тарко-Сале – 15,2 °С. Физико-механические характеристики грунта земляного полотна назначены по результатам лабораторных исследований (см. раздел 3.3), теплофизические характеристики установлены согласно эмпирической зависимости по формуле (4.9), полученной на основе проведенных экспериментальных исследований (см. раздел 3.4, раздел 4.3) – $\lambda_{I.P.1} = 0{,}88 \frac{Вт}{м*°С}$; $\lambda_{I.P.2} = 0{,}57 \frac{Вт}{м*°С}$; $\lambda_{I.P.3} = 0{,}20 \frac{Вт}{м*°С}$.

С учетом вышеизложенного глубина промерзания дорожной конструкции для района I.P.1 составила

$$\boldsymbol{h}_{пр(\mathbf{I.P.1})} = 1{,}9 * \sqrt{\frac{2 * 0{,}88 * 17{,}9 * 5887}{54112}} +$$

$$+\left(0{,}21 * \left(1 - \sqrt{\frac{0{,}88 * 52406}{1{,}4 * 54112}}\right) + 0{,}30 * \left(1 - \sqrt{\frac{0{,}88 * 75122}{2{,}35 * 54112}}\right) + 0{,}48 \times\right.$$

$$\left. \times \left(1 - \sqrt{\frac{0{,}88 * 154602}{2{,}75 * 54112}}\right)\right) = \mathbf{3{,}67}\ м;$$

для района I.P.2

$$\boldsymbol{h}_{пр(\mathbf{I.P.2})} = 1{,}9 * \sqrt{\frac{2 * 0{,}57 * 14{,}8 * 5468}{57139}} +$$

$$+\left(0{,}19*\left(1-\sqrt{\frac{0{,}57*52406}{1{,}4*57139}}\right)+0{,}30*\left(1-\sqrt{\frac{0{,}57*75122}{2{,}35*57139}}\right)+0{,}48\times\right.$$

$$\left.\times\left(1-\sqrt{\frac{0{,}88*154602}{2{,}75*54112}}\right)\right)=\mathbf{2,56}\text{ м;}$$

для района I.Р.3

$$\boldsymbol{h}_{\text{пр(I.Р.3)}}=1{,}9*\sqrt{\frac{2*0{,}2*15{,}2*5418}{34678}}+$$

$$+\left(0{,}19*\left(1-\sqrt{\frac{0{,}2*52406}{1{,}4*34678}}\right)+0{,}30*\left(1-\sqrt{\frac{0{,}2*75122}{2{,}35*34678}}\right)0{,}48\times\right.$$

$$\left.\times\left(1-\sqrt{\frac{0{,}88*154602}{2{,}75*54112}}\right)\right)=\mathbf{2,00}\text{ м.}$$

Согласно методу проф. И.А. Золотаря [58], для определения характеристики α необходимо знать не только величину промерзания всей дорожной конструкции, но и время промораживания конструкции на величину $h_{\text{пр}}$, формула (2.11). В работе время промерзания на найденные величины $h_{\text{пр}}$ определены экспериментально с помощью данных, полученных на постах мониторинга: I.Р.1 – $\tau = 3024$ ч; I.Р.2 – $\tau = 1872$ ч; I.Р.3 – $\tau = 1632$ ч. Тогда величина характеристики скорости промерзания для района I.Р.1 $\alpha = 6{,}7$ см/ч; для района I.Р.2 $\alpha = 5{,}9$ см/ч; для района I.Р.3 $\alpha = 5{,}0$ см/ч.

Таким образом, при определении характеристик скорости и глубины промерзания дорожной конструкции в работе назначена конструкция дорожной одежды, общая толщина которой составила 102 см. Используя метод, представленный в работах [120, 154], назначены величины $h_{\text{пр}}$ и α для вновь выделенных районов на территории ЯНАО.

4.3 Исследование влияния влажности, плотности и температуры грунта земляного полотна на его коэффициент теплопроводности

В целях получения результатов требуемой достоверности и надежности при минимальных затратах ресурсов использованы планы испытаний, построенные по законам планирования эксперимента (см. раздел 3.4). По полученным в ходе эксперимента данным (см. таблицу 3.6) построены графики зависимости коэффициента теплопроводности от температуры грунта при постоянных значениях плотности сухого грунта (рисунки 4.5–4.7).

Из графиков, приведенных на рисунках 4.5–4.7, видно, что при минимальной весовой влажности грунта (менее 2 %) коэффициент теплопроводности не меняется с изменением температуры грунта, однако имеет прямую зависимость от вида и плотности сухого грунта. При увеличении влажности грунта (более 2 %) уравнение регрессии переходит из линейного типа в квадратное, в котором свободный член зависит от влажности и плотности образца грунта [16]. Также из рисунков 4.5–4.7 видно, что количество пылеватых частиц в грунте наряду с другими факторами (влажность, плотность и температуры грунта) существенно влияет на значение 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 (см. таблицу 3.3).

Построим график зависимости коэффициента теплопроводности грунта от плотности сухого грунта при весовой влажности $w = 0{,}01$ д. е. (рисунок 4.8), т. е. при относительной влажности грунта $0{,}06$. Как уже было отмечено, в таком случае зависимость является линейной, поэтому уравнение регрессии имеет вид $\lambda = k * \rho_{\text{сух.гр.}}$, где k – коэффициент, зависящий от типа грунта. Для определения численного значение коэффициента k для пылеватого песка с количеством пылеватых частиц свыше 70 % необходимо найти отношение коэффициента теплопроводности грунта к его плотности: $k = \lambda/\rho_{\text{сух.гр}}$ (таблица 4.5).

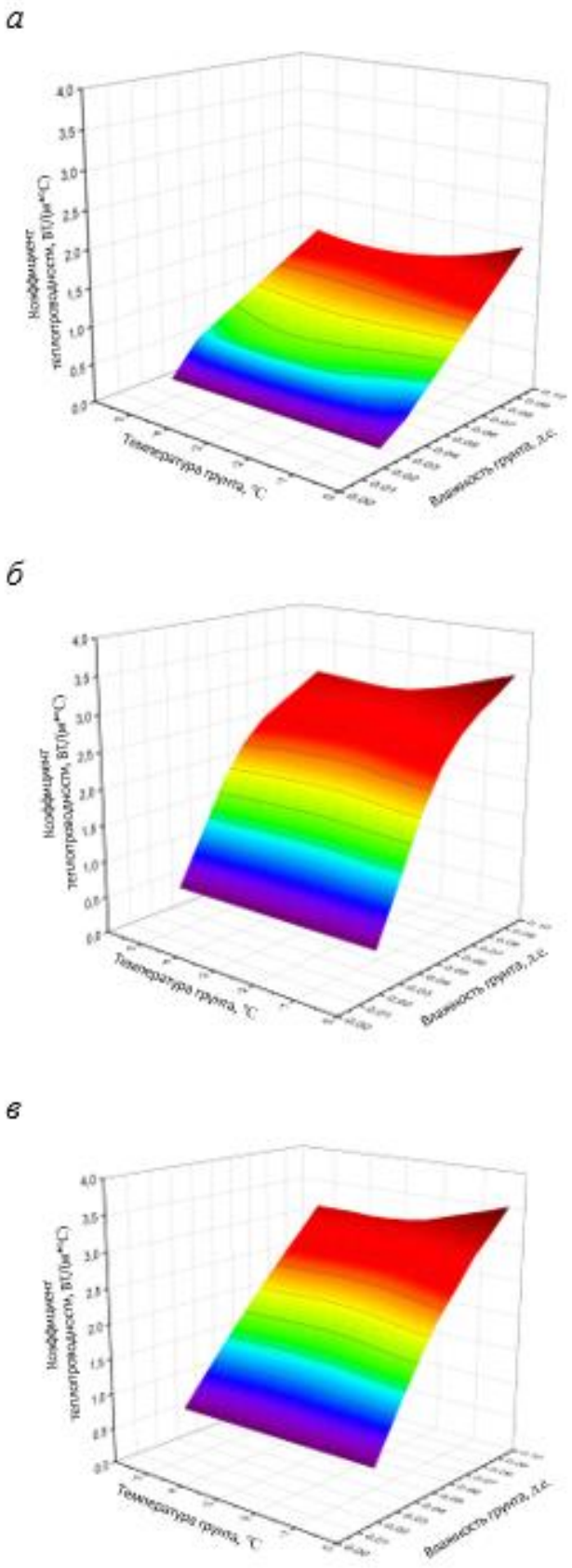


Рисунок 4.5 – Зависимость значений коэффициента теплопроводности от температуры грунта при значении плотности сухого грунта ρ = 1,758 г/см^3 для образцов грунта: *а* – Горнокнязевск; *б* – Новый Уренгой; *в* – Ноябрьск

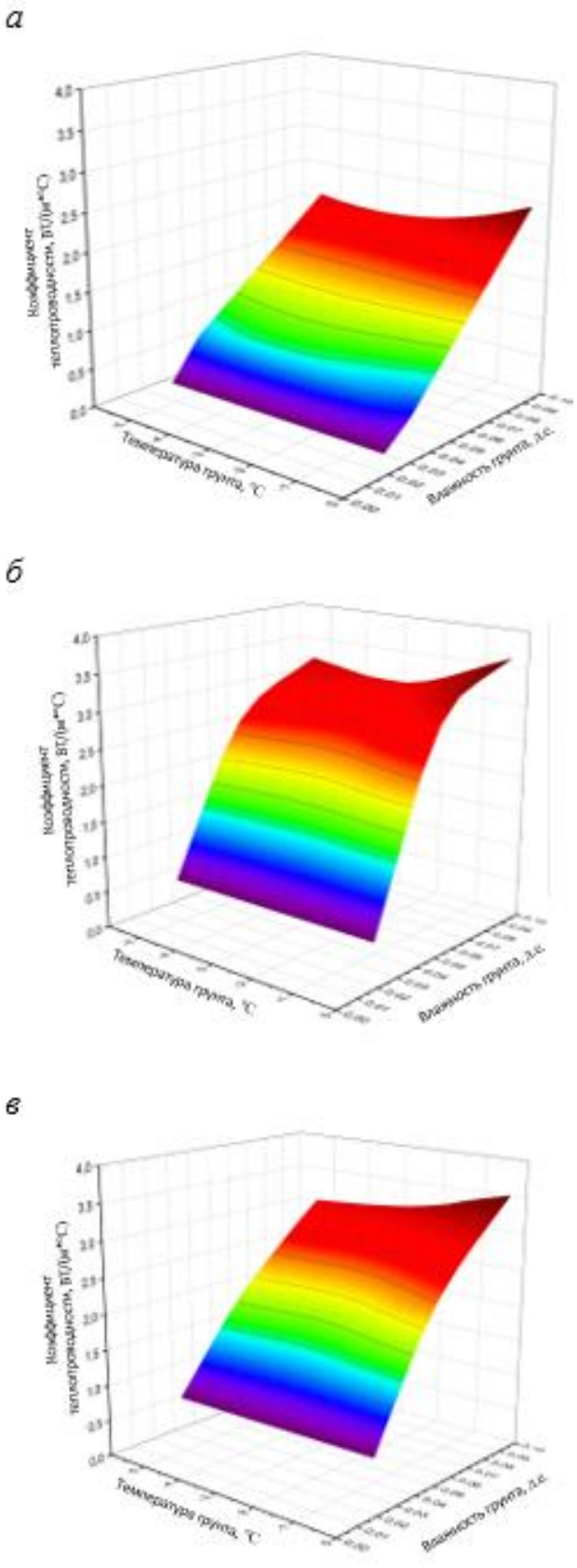


Рисунок 4.6 – Зависимость значений коэффициента теплопроводности от температуры грунта при значении плотности сухого грунта ρ = 1,828 г/см^3 для образцов грунта: *а* – Горнокнязевск; *б* – Новый Уренгой; *в* – Ноябрьск

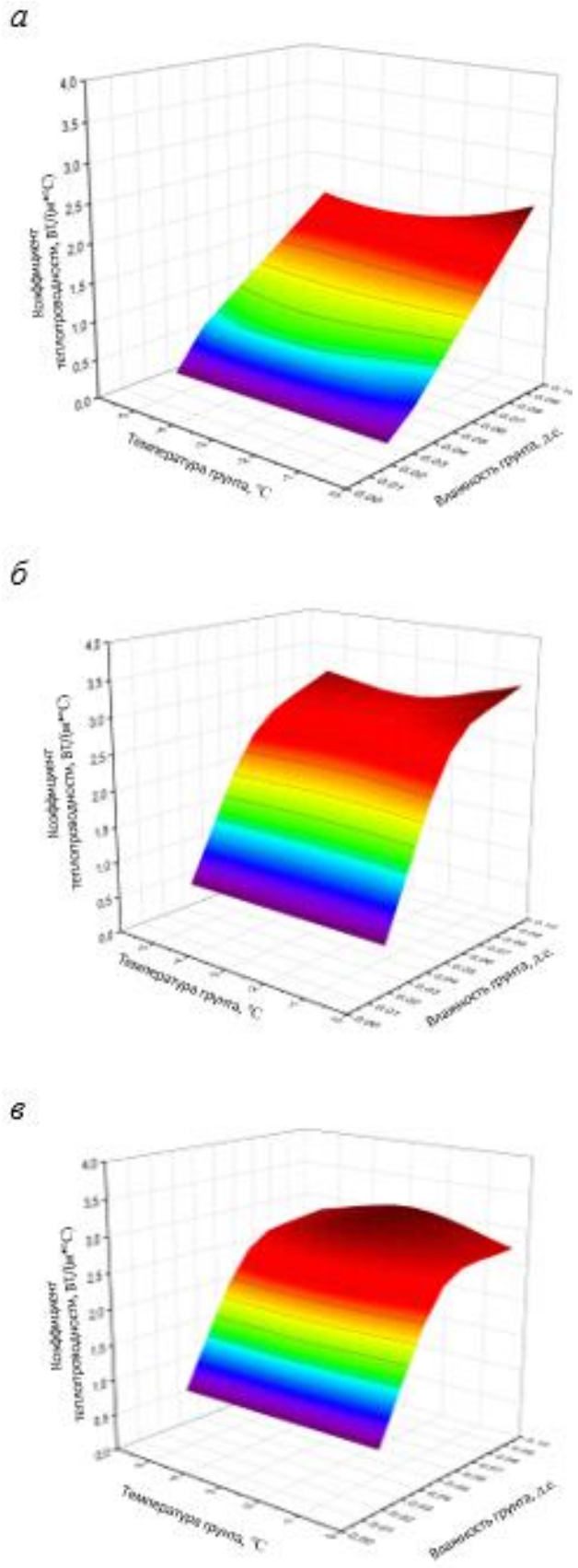


Рисунок 4.7 – Зависимость значений коэффициента теплопроводности от температуры грунта при значении плотности сухого грунта ρ = 1,898 г/см^3 для образцов грунта: *а* – Горнокнязевск; *б* – Новый Уренгой; *в* – Ноябрьск

Таблица 4.5 – Определение численного значения коэффициента k

w, д.е.	$\rho_{сух.гр.}$, г/см^3	t, °С	λ, Вт/(м*К)	k
0,01	1,758	–5	0,2572	0,1463
		–2,5	0,2569	0,1461
		0	0,2591	0,1474
	1,828	–5	0,2783	0,1522
		–2,5	0,2794	0,1528
		0	0,2817	0,1541
	1,898	–5	0,2804	0,1477
		–2,5	0,2781	0,1465
		0	0,2811	0,1481
			Среднее значение	*0,1490*

По результатам расчета видно, что коэффициент k для всех случаев по значению близок к 0,15, т. е. уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$\lambda = 0{,}15 * \rho_{сух.гр}, \tag{4.4}$$

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

Численным коэффициентом, определяющим надежность аппроксимации, является коэффициент детерминации R^2 [159]:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(\lambda_i - \widehat{\lambda_i})^2}{\sum(\lambda_i - \bar{\lambda})^2}, \tag{4.5}$$

где λ_i – фактическое значение коэффициента теплопроводности, определенное экспериментально; $\widehat{\lambda_i}$ – значение коэффициента теплопроводности, предсказанное моделью; $\bar{\lambda}$ – среднее значение коэффициента теплопроводности.

Коэффициент детерминации для уравнения (4.4) 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 песка пылеватого с количеством пылеватых частиц свыше 70 %.

Также определены границы доверительного интервала при доверительной вероятности $\alpha = 0{,}95$ методом коэффициентов Стьюдента. Для определения доверительного интервала (см. формулу 4.6) необходимо найти коэффициент

Стьюдента t_{an}, определяемый по таблицам в зависимости от доверительной вероятности и количества степеней свободы [159, 197, 206], и среднюю квадратичную погрешность среднего арифметического $S_{n\bar{x}}$ (см. формулу 4.7).

$$\Delta x = t_{an} * S_{n\bar{x}}; \tag{4.6}$$

$$S_{n\bar{x}} = \frac{S_n}{\sqrt{n}}, \tag{4.7}$$

где n – число измерений; S_n – стандартное отклонение:

$$S_n = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum (x_i - \bar{x})^2}, \tag{4.8}$$

где $\bar{x}$ – среднее арифметическое значение случайной величины.

На рисунке 4.8 отображены значения коэффициента теплопроводности, полученные в ходе эксперимента, при разных температурах; график функции (4.4) и границы доверительного интервала (пунктирные линии).

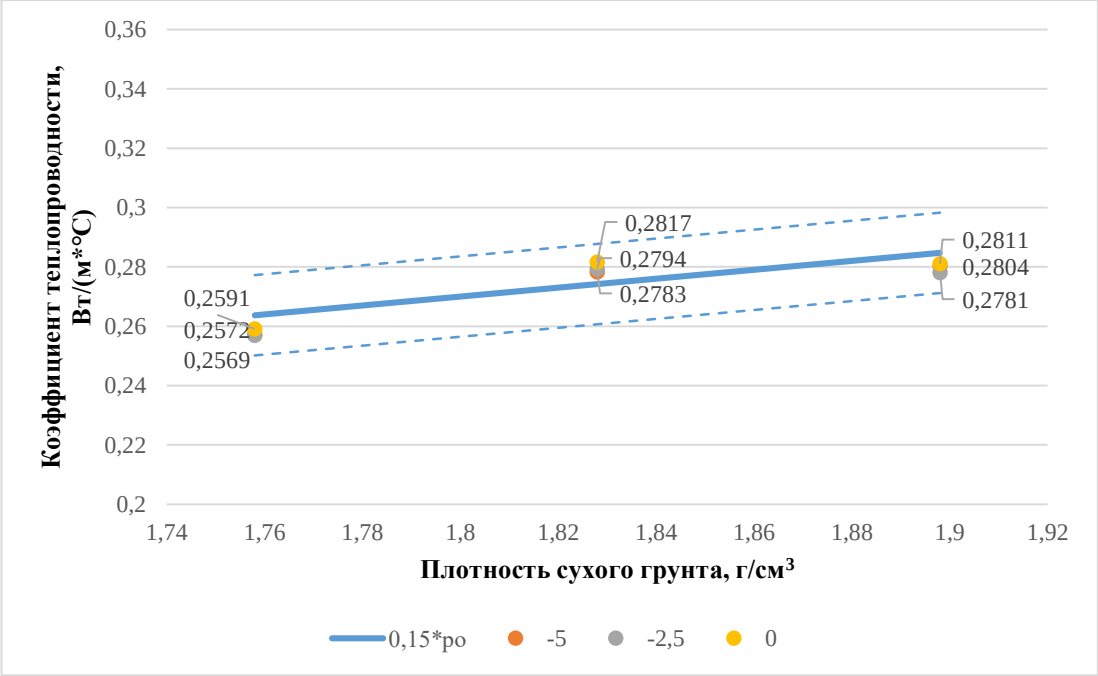


Рисунок 4.8 – Зависимость коэффициента теплопроводности грунта от плотности сухого грунта при весовой влажности $w = 0{,}01$ д.е.

Анализируя вышесказанное, можно сделать вывод о том, что при минимальной весовой влажности (менее 2 %) песка пылеватого с количеством

пылеватых частиц свыше 70 % коэффициент теплопроводности имеет прямую зависимость от его плотности, формула (4.4).

Как было отмечено ранее, 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 [16] (см. рисунки 4.5–4.7). Графоаналитическим способом с помощью программных продуктов Microsoft Excel и Wolfram Mathematica определено уравнение регрессии

$$\lambda = (1{,}4w - 0{,}09) * t^2 + (8{,}93w - 0{,}55) * t + c, \quad (4.9)$$

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

$$c = (-620{,}18w + 12{,}517) * \rho_{\text{сух.гр}}^2 + (2287{,}9w - 46{,}006) * \rho_{\text{сух.гр}} - \\ -2076{,}7w + 41{,}833. \quad (4.10)$$

На рисунках 4.9, 4.10 отображены значения коэффициента теплопроводности, полученные в ходе эксперимента, графики функции (4.9) при разных влажности грунта и плотности сухого грунта и границы доверительного интервала (пунктирные линии). Все экспериментальные данные лежат в границах доверительного интервала, из чего следует вывод о том, что уравнение (4.9) можно принять для дальнейших расчетов при прогнозировании весенней влажности грунтов земляного полотна.

Проверка показала, что при уровне значимости 5 % табличное значение распределения ($F_{0,05}^T = 2{,}0$) превышает расчётные значения критерия ($F = 1{,}24$). Значимость коэффициентов регрессии оценивалась с помощью критерия Стьюдента [160]. В таблицу 4.6 сведены результаты расчетов.

Таблица 4.6 – Проверка адекватности математической модели

Значения критерия Кохрена		Значения критерия Фишера	
Опытное	Теоретическое	Опытное	Теоретическое
0,65	0,82	1,24	2,0

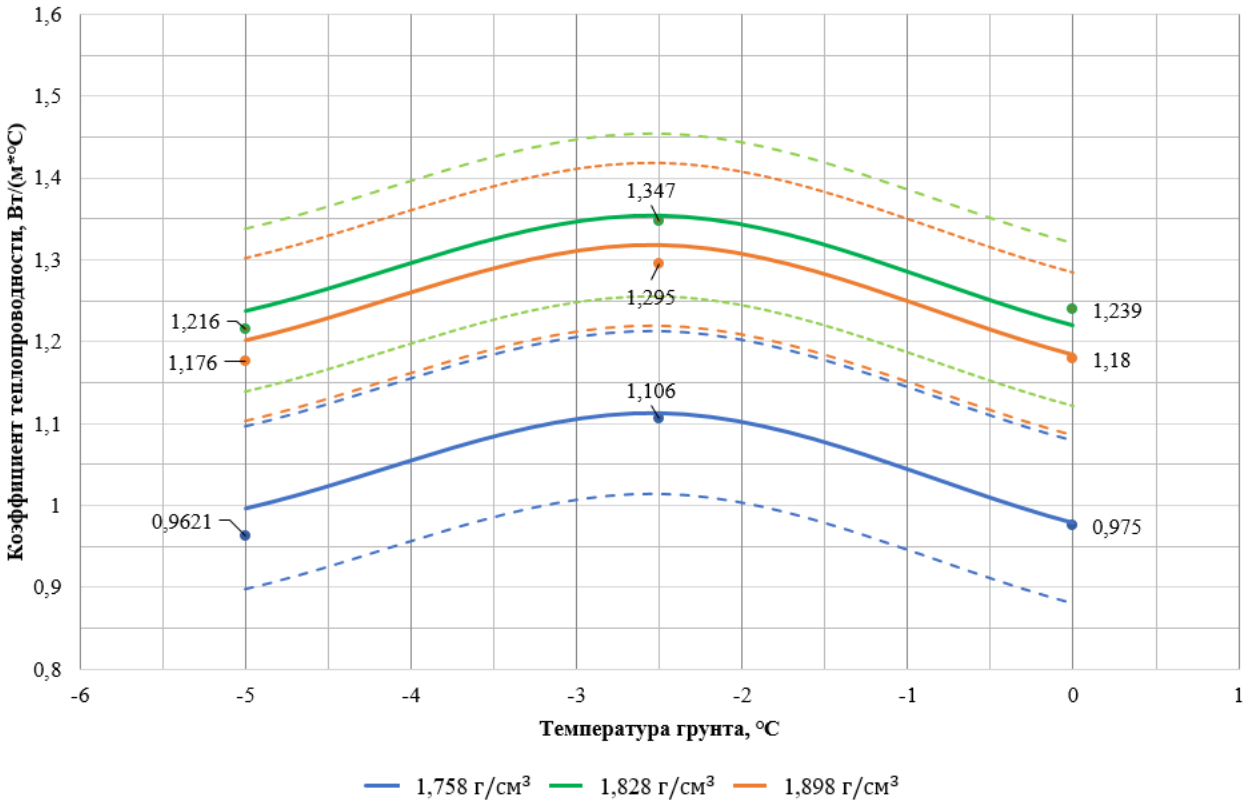


Рисунок 4.9 – Зависимость коэффициента теплопроводности грунта от его температуры при весовой влажности $w = 0{,}05$ д.е.

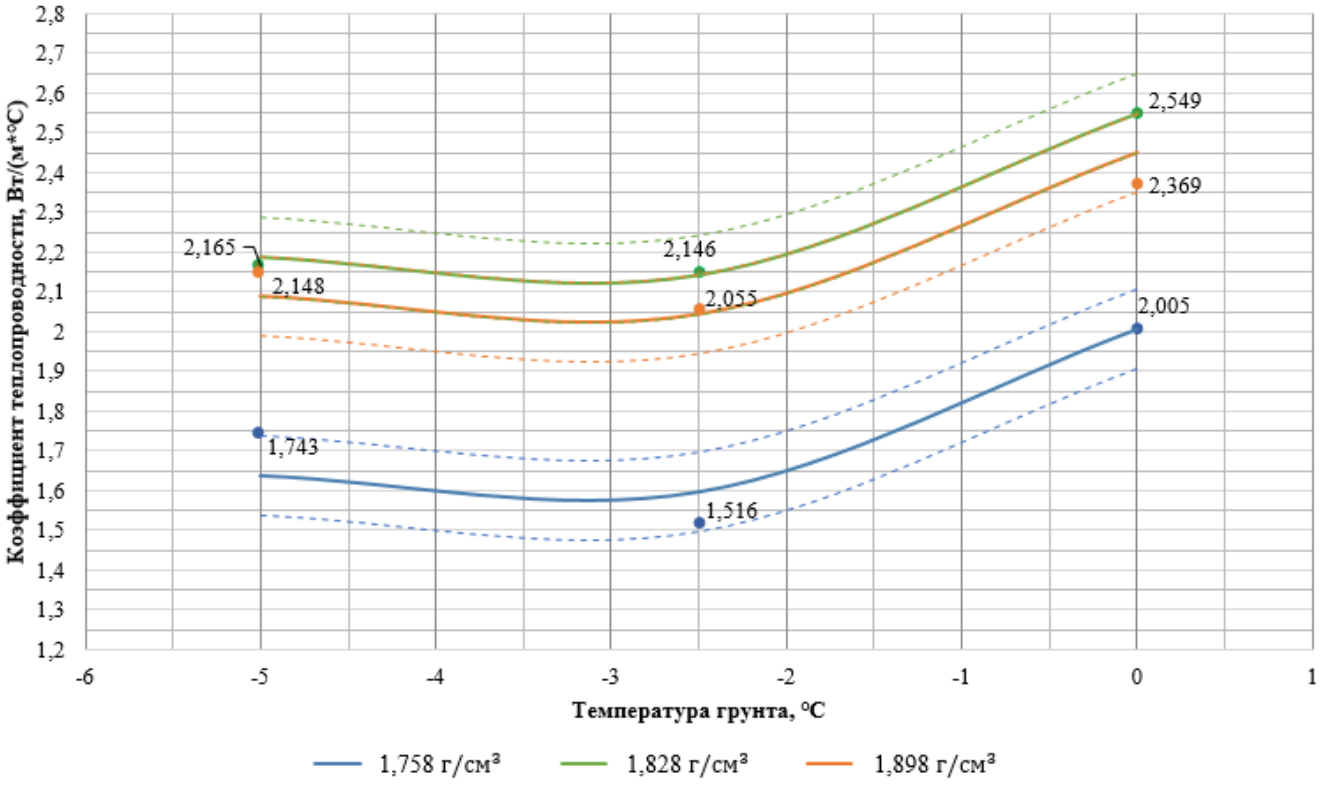


Рисунок 4.10 – Зависимость коэффициента теплопроводности грунта от его температуры при весовой влажности $w = 0{,}09$ д.е.

Коэффициент детерминации для уравнения (4.9) составил $R^2 = 0{,}87$, 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 %.

Анализируя вышеизложенное, можно сделать вывод о том, что предложенная зависимость, формула (4.9), адекватно описывает зависимость коэффициента теплопроводности от температуры грунта, его весовой влажности и плотности сухого грунта для песка пылеватого с количеством пылеватых частиц свыше 70 %.

4.4 Выводы по главе 4

1. Определены характеристики глубины и скорости промерзания грунта земляного полотна для дорожных районов I.Р1, I.Р.2 и I.Р.3. Для района со сплошным распространением ММГ (I.Р.1) глубина промерзания составила $h_{\text{пр}} = 3{,}67$ м, скорость промерзания $\alpha = 6{,}7$ см/ч; для района с прерывистым распространением ММГ (I.Р.2) $h_{\text{пр}} = 2{,}56$ м, $\alpha = 5{,}92$ см/ч; для района с островным распространением ММГ (I.Р.3) $h_{\text{пр}} = 2{,}0$ м, $\alpha = 5{,}0$ см/ч. В северной части округа промерзание происходит с большей скоростью, что свидетельствуют о влиянии широтной зональности.
2. По справочным данным, коэффициент теплопроводности пылеватого песка составляет $\lambda = 2{,}20$ Вт/(м $*$ К), однако результаты эксперимента (см. таблицу 3.6, рисунки 4.5–4.7) свидетельствуют о том, что близкий по значению коэффициент теплопроводности будет в тех случаях, если количество пылеватых частиц в грунте будет ≈ 30 %, влажность грунта 5 %, а плотность сухого грунта ≈ 1,76 г/см^3 или если количество пылеватых частиц в грунте будет ≈ 75 %, влажность грунта 9 %, а плотность сухого грунта ≈ 1,8–1,9 г/см^3. Анализ результатов проведенного эксперимента свидетельствует о необходимости учёта влажности, плотности и

температуры грунта при определении значения его коэффициента теплопроводности.

3. Установлены корреляционные зависимости коэффициента теплопроводности для песка пылеватого с количеством пылеватых частиц свыше 70 % с высокой степенью соответствия трендовой модели, что подтверждено близкими к единице значениями коэффициента детерминации (0,81–0,87).

5. ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УЧЁТУ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИРОДНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ТЕРРИТОРИИ ЯНАО

5.1 Формирование информационной базы данных для дорожно-климатического районирования территории ЯНАО

Предложенная в работе [70] (рисунок 5.1) схема работ по детализации дорожно-климатического районирования территории исследования с применением таксономической системы «зона – подзона – дорожный район» включает в себя 2 стадии. *Первая* стадия направлена на выделение однородных территорий в административных образованиях России в таксономической системе «зона – подзона – дорожный район». На *второй* стадии выполняют назначение расчётных показателей свойств и состояния грунтов земляного полотна с учётом элементов природно-территориального комплекса, характеризующих дорожный район.



Рисунок 5.1 – Схема работ, направленных на обеспечение качества проектирования транспортных сооружений за счёт учёта природно-климатических условий отдельных территорий России [70]

Автомобильная дорога в криолитозоне испытывает не только механические, но и температурные воздействия, особенно это касается объектов, расположенных

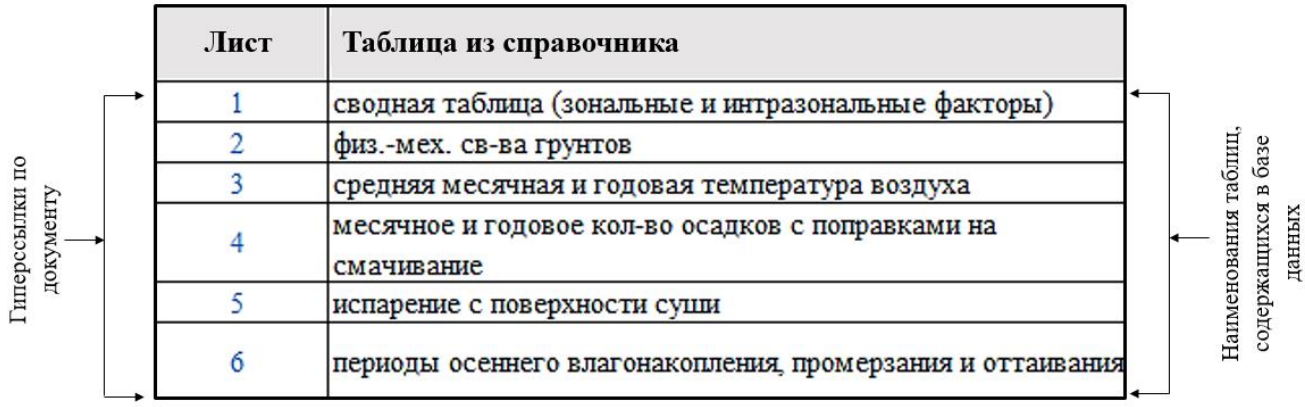
в резко континентальном климате [36, 37, 72]. При этом, как показано в исследованиях канд. техн. наук М.Г. Чахлова [128, 184], ключевые риски для дорожной конструкции связаны с механизмами криогенного влагопереноса в грунтах при промерзании. Поэтому для обеспечения надежного функционирования автомобильных дорог в течение всего их жизненного цикла необходимо располагать информацией о признаках 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, именно поэтому этап формирования информационной базы данных входит в обе стадии данной методологии. Принципы формирования информационной базы данных для целей дорожно-климатического районирования описаны в разделе 1.3.

Согласно рисунку 1.6 в базы данных входят характеристики, которые являются результатами полевых, лабораторных исследований и математического моделирования, а также характеристики, принятые по справочным материалам. При детализации дорожно-климатического районирования территории Ямало-Ненецкого автономного округа в качестве опорных пунктов принят ряд населенных пунктов в округе, при назначении которых учитывали наличие в районе исследования гидрометеорологических станций (см. раздел 3.1).

База данных, содержащая сведения о признаках геокомплекса, характерных для территории ЯНАО, представлена в виде книги Excel [61, 140].

Первый лист выступает своеобразным содержанием информационной базы данных и носит информационных характер. Здесь представлены: «содержание» информационной базы данных, позволяющее перейти на нужный лист с помощью гиперссылок (рисунок 5.2); карта ЯНАО, на которой отмечены действующие в настоящее время метеостанции и посты наблюдения, оборудованные датчиками температуры и влажности грунта (является обобщенной картой рисунков 3.1 и 4.1);

таблицы с кратким описанием расположения метеостанций и описанием месторасположения установленных датчиков и привязкой их к метеостанциям.



Лист	Таблица из справочника
1	сводная таблица (зональные и интразональные факторы)
2	физ.-мех. св-ва грунтов
3	средняя месячная и годовая температура воздуха
4	месячное и годовое кол-во осадков с поправками на смачивание
5	испарение с поверхности суши
6	периоды осеннего влагонакопления, промерзания и оттаивания

Рисунок 5.2 – «Содержание» информационной базы данных

Второй лист содержит сводную таблицу зональных (среднегодовая температура воздуха; годовое количество осадков; испарение с поверхности суши; расчетная влажность грунта, тип растительности) и интразональных (тип грунта; рельеф местности; гранулометрический состав грунта) признаков геокомплекса территории исследования (таблица 5.1).

Физико-механические свойства грунтов, представленные в базе данных, определены в лабораторных условиях для отобранных проб грунтов земляного полотна автомобильных дорог в соответствии с ГОСТ 12536–2014 [33], ГОСТ 22733–2016 [34], ГОСТ 25100–2020 [35], ГОСТ 30416–2020 [36], ГОСТ 5180–2015 [37]. Установлено, что наиболее распространенным видом грунта при возведении земляного полотна на территории исследования является песок пылеватый, его доля составляет 72,9 % от общего количества отобранных проб (см. раздел 3.3, таблица 3.3).

Климатические характеристики за период наблюдения 25–30 лет, которые характеризуются среднемноголетними значениями, приняты для назначенных опорных пунктов (см. таблицу 4.1) по справочным материалам [6, 107, 155]. К таким характеристикам, входящим в базу данных, относятся: средняя месячная и годовая температура воздуха; месячное и годовое количество осадков; а также дополнительные климатические характеристики, необходимые при расчёте

Таблица 5.1 – Зональные и интразональные признаки геокомплекса территории ЯНАО

№ п/п	Метеостанция	Зональные факторы					Интразональные факторы				
									Гранулометрический состав		
		Среднегодовая температура воздуха, °С	Годовое количество осадков, см	Испарение с поверхности суши, г/(см²*год)	Расчётная влажность грунта, д.ед	Типы растительности	Тип грунта	Рельеф местности	Песчаная фракция (0,50–0,05)	Пылеватая фракция (0,05–0,005)	Глинистая фракция (0,005– <0,001)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Тазовское	–9,1	36,3	28,19	0,545	Лесотундра	Песок пылеватый	Равнинный	92,02	7,24	0,74
2	Ныда	– 7,6	42,9	27,72	-	Лесотундра	Песок ср. крупности	Равнинный	90,93	8,43	0,64
3	Сидоровск	– 8,4	41,6	30,89	0,541	Лесотундра	Песок пылеватый	Равнинный	92,02	7,24	0,74
4	Салехард	– 7,0	41,1	29,91	0,521	Лесотундра	Песок пылеватый	Равнинный	98,37	1,47	0,16
					0,520		Песок пылеватый		97,82	1,72	0,46
5	Полуй	– 6,3	46,3	29,6	0,517	Северная тайга	Песок пылеватый	Равнинный	83,92	14,37	1,71
6	Уренгой	– 7,8	45,3	31,63	0,518	Лесотундра северная тайга	Песок пылеватый	Равнинный	94,39	4,12	1,49
					-		Песок ср. крупности		96,94	2,41	0,65
7	Питляр	– 5,5	47,2	38,44	0,488	Северная тайга	Песок пылеватый	Равнинный	98,37	1,47	0,16
					0,487		Песок пылеватый		97,82	1,72	0,46
8	Надым	– 6,4	48,4	29,27	0,511	Северная тайга	Песок пылеватый	Равнинный	83,92	14,37	1,71
					-		Песок ср. крупности		90,93	8,43	0,64
9	Мужи	– 4,9	47,1	37,08	0,491	Северная тайга	Песок пылеватый	Равнинный	98,37	1,47	0,16
					0,492		Песок пылеватый		97,82	1,72	0,46

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	Тарко-Сале	– 6,5	49,8	29,71	-	Северная тайга, средняя тайга	Песок мелкий	Равнинный	96,60	3,00	0,40
					0,489		Песок пылеватый		91,54	7,27	1,19
					-		Песок мелкий		94,92	4,94	0,14
11	Толька	– 3,7	56,5	36,76	0,481	Северная тайга, средняя тайга	Песок пылеватый	Равнинный	71,47	23,89	4,64
12	Халесовая	– 5,6	54,0	36,61	0,487	Средняя тайга	Песок пылеватый	Равнинный	71,47	23,89	4,64
13	Антипаюта	– 8,4	28,2	26,39	0,545	Южная тундра	Песок пылеватый	Равнинный	92,02	7,24	0,74
14	Им. Попова	– 8,9	24,0	14,39	0,543	Арктическая тундра	Песок пылеватый	Равнинный	92,02	7,24	0,74
15	Марресаля	– 6,71	32,8	17,79	0,540	Типичная тундра	Песок пылеватый	Равнинный	92,02	7,24	0,74
16	Новый Порт	– 7,12	40,6	27,07	0,541	Южная тундра	Песок пылеватый	Равнинный	92,02	7,24	0,74
17	Сеяха	– 8,41	22,5	22,19	0,553	Типичная тундра	Песок пылеватый	Равнинный	92,02	7,24	0,74

испарения с поверхности суши (относительная влажность воздуха, средняя облачность, скорость ветра, суммарная радиация при безоблачном небе).

Величина испарения с суши для опорных пунктов на территории исследования, необходимая для определения начала периода осеннего влагонакопления, рассчитана при помощи зависимости проф. И.А. Золотаря (см. формулу 2.1) [76, 79] (см. п. 2.1.1). Даты начала и окончания периодов осеннего влагонакопления, оттаивания и промерзания, а также продолжительности этих периодов определены графоаналитическим методом (см. таблицу 2.1, 2.3).

Расчётная влажность грунта земляного полотна, представленная в базе данных, определена по алгоритму, описанному в разделе 2, с применением разработанной оригинальной программы [143] (см. раздел 5.3).

Согласно представленным в разделе 1.3 принципам была сформирована информационная базы данных для целей дорожно-климатического районирования, включающая в себя зональные (среднегодовая температура воздуха; годовое количество осадков; испарение с поверхности суши; расчетная влажность грунта, тип растительности) и интразональные (тип грунта; рельеф местности; гранулометрический состав грунта) признаки природно-территориального комплекса территории Ямало-Ненецкого автономного округа.

5.2 Результаты дорожно-климатического районирования территории Ямало-Ненецкого автономного округа

При уточнении дислокации границ элементов таксономической системы «зона – подзона – дорожный район» на отдельных территориях исследователи применяют метод наложения картографических схем распространения признаков географического комплекса (см. раздел 1.2) [145]. В рассматриваемой системе приняты таксоны:

- «дорожный район» – соответствует однородной территории, которую можно охарактеризовать типичными, свойственными только ей климатом, рельефом местности и геологией [61]. В пределах территории

дорожного района однотипные дорожные конструкции должны иметь близкие значения прочности и устойчивости;

- «подзона» – соответствует территории, которая обладает однородными признаками вертикальной зональности орографии или геоморфологии [19];
- «зона» – соответствует территории, вытянутой в широтном направлении приблизительно по климатическим поясам. Этот таксон объединяет соподчиненные блоки «район» и «подзона» в систему, которая характеризует земную поверхность с однородным распределением влаги и тепла, обуславливающих развитие определённых типов растительности и почв [7, 70].

Ямало-Ненецкий автономный округ входит в состав Западной Сибири. В работе [70] территория Западной Сибири разделена на четыре дорожно-климатические зоны с учётом зональных признаков, характеризующих природно-территориальный комплекс (рисунок 5.3). Распространение границы I–II дорожно-климатических зон обосновано авторами работ [12, 70] исходя из анализа карты-схемы мерзлотных зон [37] и других картографических материалов [34, 75]. Она проходит между параллелями с юга 56° с. ш. на север до 62° с . ш. через опорные пункты: Пионерный – Ханты-Мансийск – Нефтеюганск – Стрежевой – Белый Яр – Канск. Для территорий Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого автономных округов, а также Томской области и Красноярского края граница I–II ДКЗ расположена севернее линии, проходящей через точку пересечения границ административных образований: Республика Коми, Ханты-Мансийский автономный округ (ХМАО) и Свердловская область и населённые пункты Тимкапауль – Пионерский – Мансийский – Нялинское – Зенково – Селиярово – Сытомино – Лямина – Барсово – Банный – Шпаково – Локосово – Покур – Мегион – Нижневартовск (ХМАО) – Стрежевой – Молодёжный – Центральный – Максимкин Яр (Томская область) – устье р. Олёнки – Айдара – Большой Кантат – Россійка – Мокруша – Канск (Красноярский край) [70].

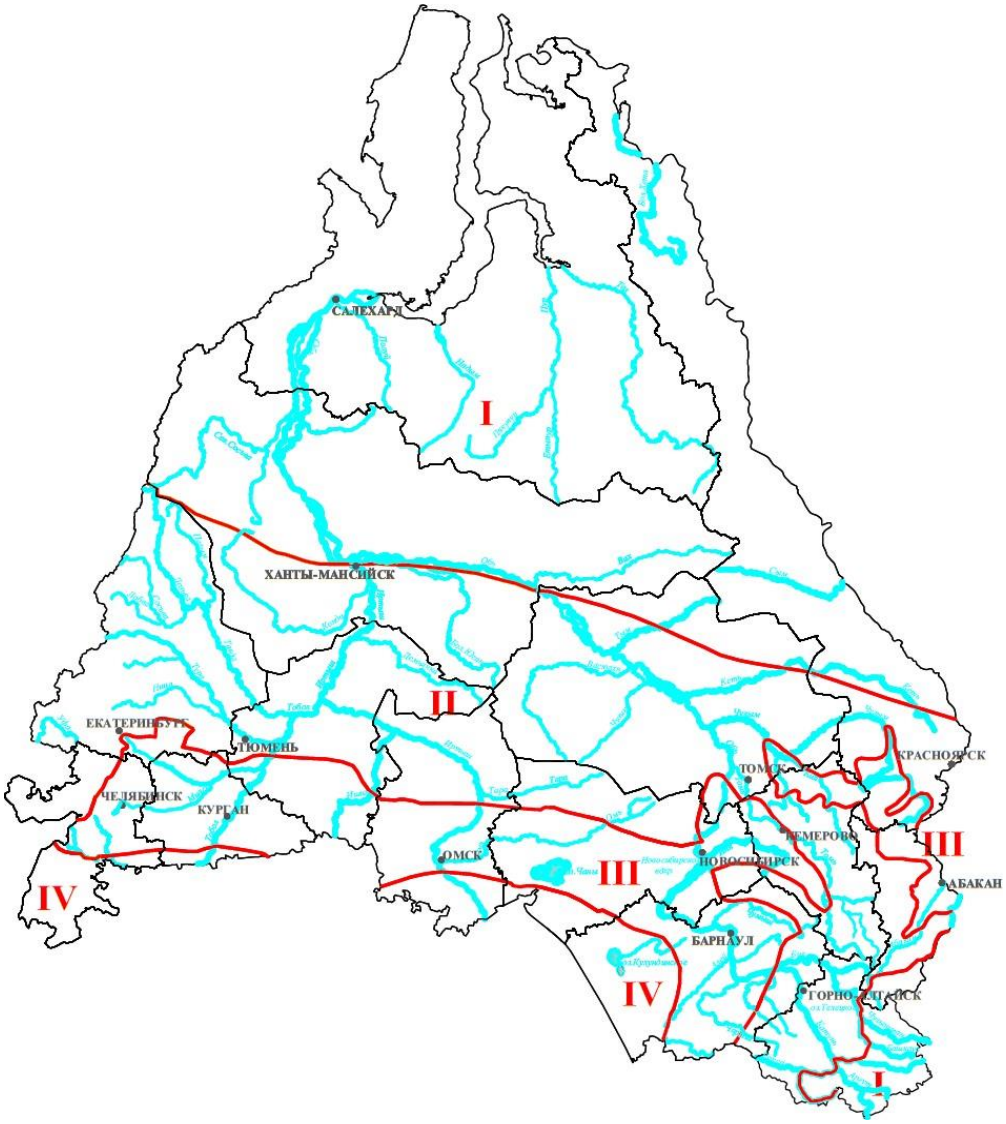


Рисунок 5.3 – Схема дорожно-климатического районирования территории Западной Сибири [70]

Учитывая вышеизложенное, можно сделать вывод о том, что вся территория Ямало-Ненецкого автономного округа относится к I дорожно-климатической зоне, как представлено в действующих нормативных документах [156, 157]. I дорожно-климатическая зона – это географическая зона, характеризуемая растительностью, типичной для тундры, лесотундры и северо-восточной части лесной зоны, также для неё характерно распространение многолетнемёрзлых грунтов.

К группе географических факторов, которые влияют на условия проектирования и строительства автомобильных дорог, относят особенности простирания растительного покрова в тех или иных природных условиях [28, 56, 149]. Растительный покров тесно связан с такими элементами природно-

территориального комплекса, как увлажнённость территории; распространение многолетнемёрзлых грунтов (ММГ) и их температура на глубине 10 м. Растительность является одним из доминирующих признаков геокомплекса при выделении дорожно-климатических зон. Именно поэтому описание дорожно-климатических зон и подзон в СП 34.13330.2021 [157] базируется на увлажнённости территории и типе растительности. Природные зоны на территории ЯНАО включают в себя ландшафтные зоны (подзоны): тундры (арктическая, типичная, южная); тайга (лесотундровая, севернотаёжная) и Уральские горы (рисунок 5.4).

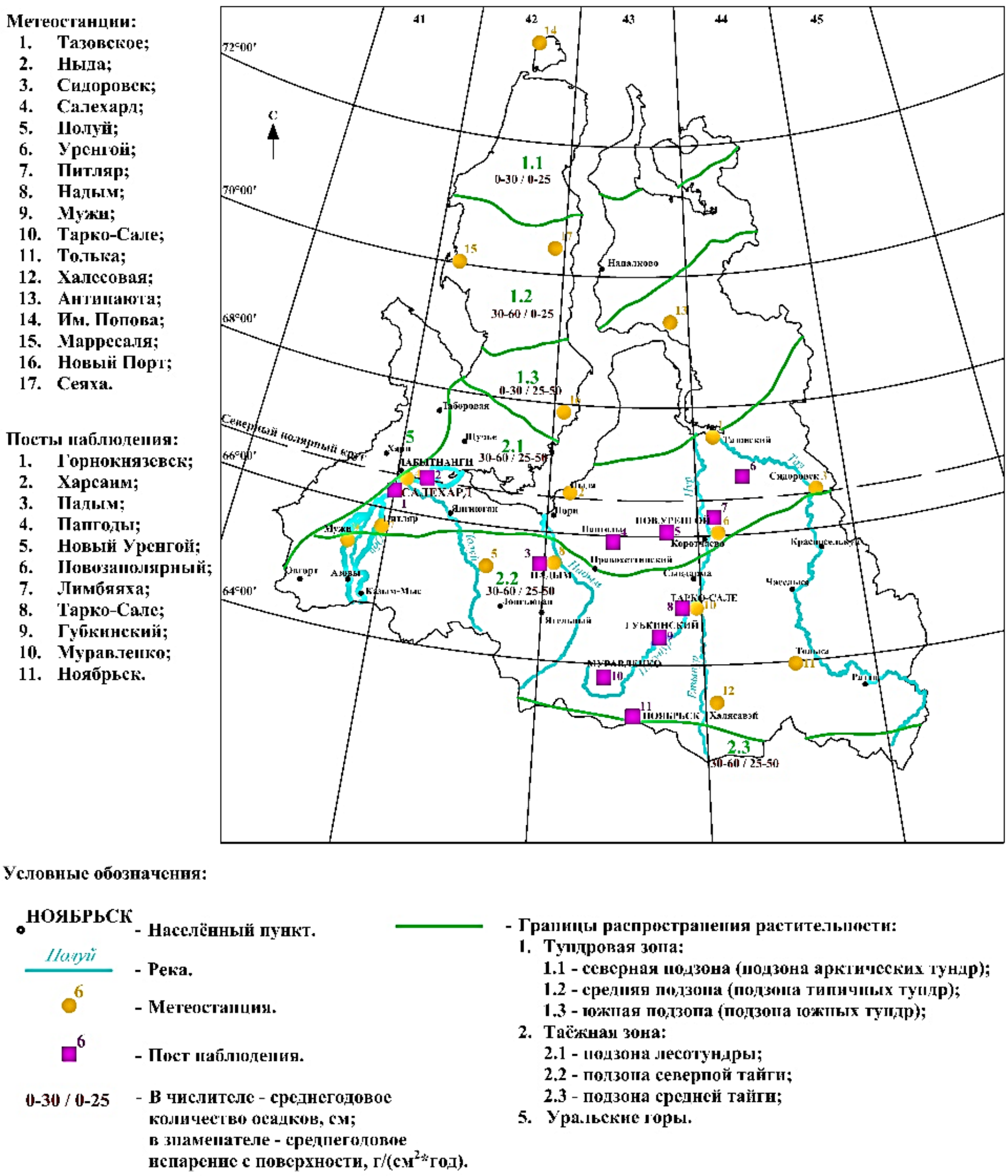


Рисунок 5.4 – Карта-схема ЯНАО с зонированием территории по растительности

В СП 313.1325800.2017 [156] описаны признаки, оказывающие решающее влияние на устойчивость дорожных конструкций в I дорожно-климатической зоне. К таким признакам отнесены: вид грунта сезонноотаивающего слоя и его влажность; характер распространения ММГ и их температура на глубине 10 м; мощность слоя сезонного оттаивания; среднегодовые температуры воздуха; рельеф местности; гидрология и величина снегопереноса. По ним на карте-схеме дорожно-климатического районирования, представленной в [157], выделены подзоны в I ДКЗ.

Руководящим критерием при выделении *подзон* на территории Ямало-Ненецкого автономного округа принят рельеф местности, при выделении *районов* – мощность многолетнемёрзных пород (ММП) и их температура на глубине 10 м. Перечисленные критерии оказывают существенное влияние на проектирование, строительство и эксплуатацию автомобильных дорог [75].

Рельеф Ямало-Ненецкого автономного округа в основном равнинный (рисунок 5.5) с высотами до 50 м над уровнем моря, из-за чего для округа характерно множество озёр и болот различного типа. Прибрежные поверхности Карского моря наиболее низкие и имеют высоты от 1–5 до 22–35 м. Холмистый рельеф определяется возвышенностью Мужинский Увал (290 м), а также тем, что южная граница округа проходит по возвышенности Сибирские Увалы с высотами от 131 до 250–285 м. Горная часть округа (западная граница) проходит по вытянутому в субмеридиональном направлении на 400 км Полярному Уралу. Она начинается от Константинова Камня на севере и доходит до верховьев реки Хулги на юге, представляя собой крупные горные массивы. Наиболее высокими вершинами являются горы Пайер (1472 м), Ханмей (1333 м) и Колокольня (1305 м) [106, 186].

Наличие многолетней мерзлоты – важная региональная особенность Ямало-Ненецкого автономного округа, т. к. мерзлота влияет на распределение почв, рек, озёр и растительности, а также определяет условия существования животных. К основным характеристикам мерзлоты относят: распространение по площади, мощность и среднегодовая температура верхних горизонтов пород до глубины

10 м. По особенностям распространения многолетнемёрзлых грунтов (ММГ) выделено 3 зоны (таблица 5.2, рисунок 5.6) [111, 130].

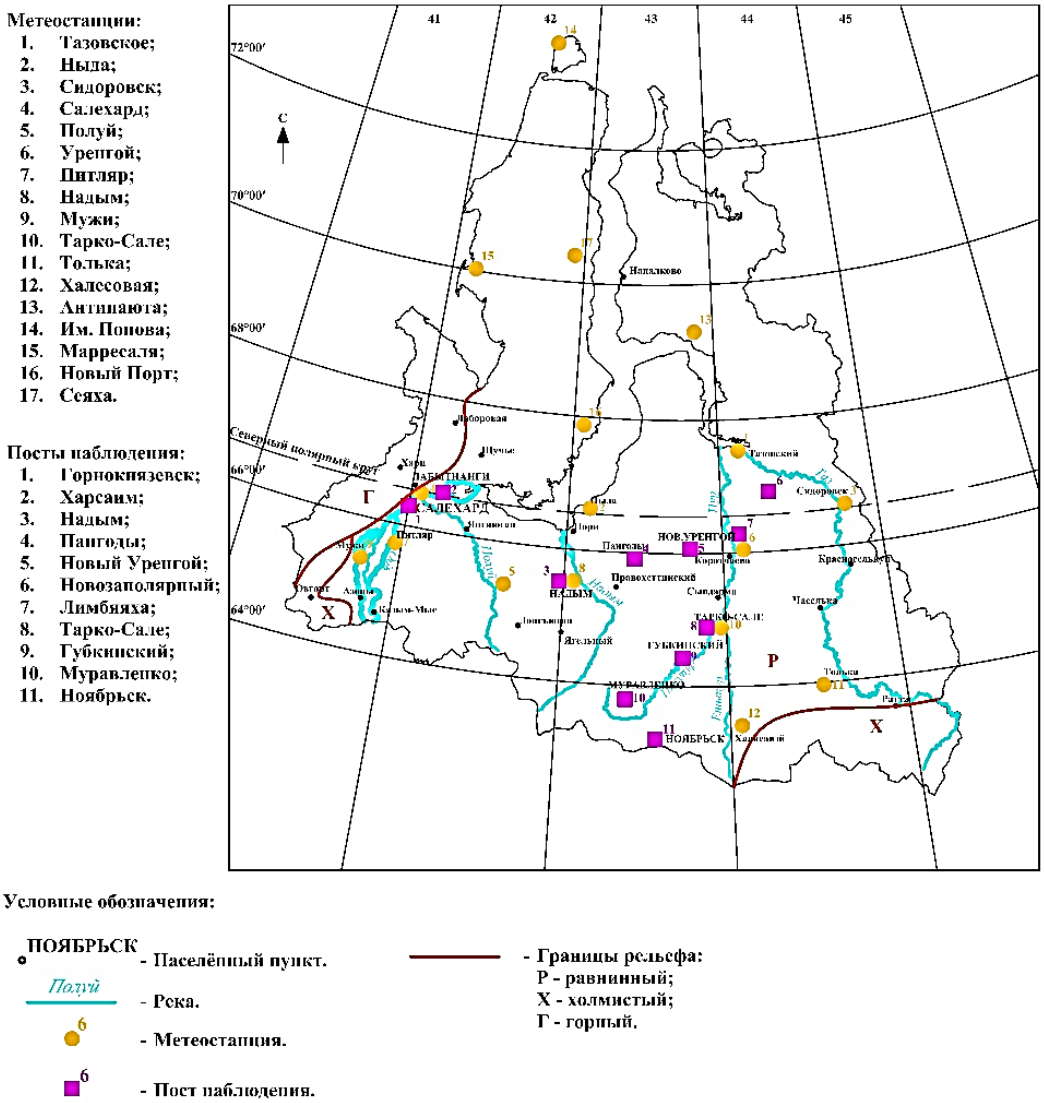


Рисунок 5.5 – Карта-схема ЯНАО с зонированием территории по рельефу

Таблица 5.2 – Характеристика выделенных территорий по распространению ММГ

Характеристика	1	2	3
Распространение ММГ	Сплошное	Прерывистое	Островное
Мощность ММП, м	От 300 до 500 м и более	От 10–20 до 100–150 м	До 100 м
Среднегодовая температура ММП на глубине 10 м, °С	< –3	От –1 до –5	От +2 до –5
Глубина сезонного оттаивания, м	≤ 2	≤ 1	≤ 1,5

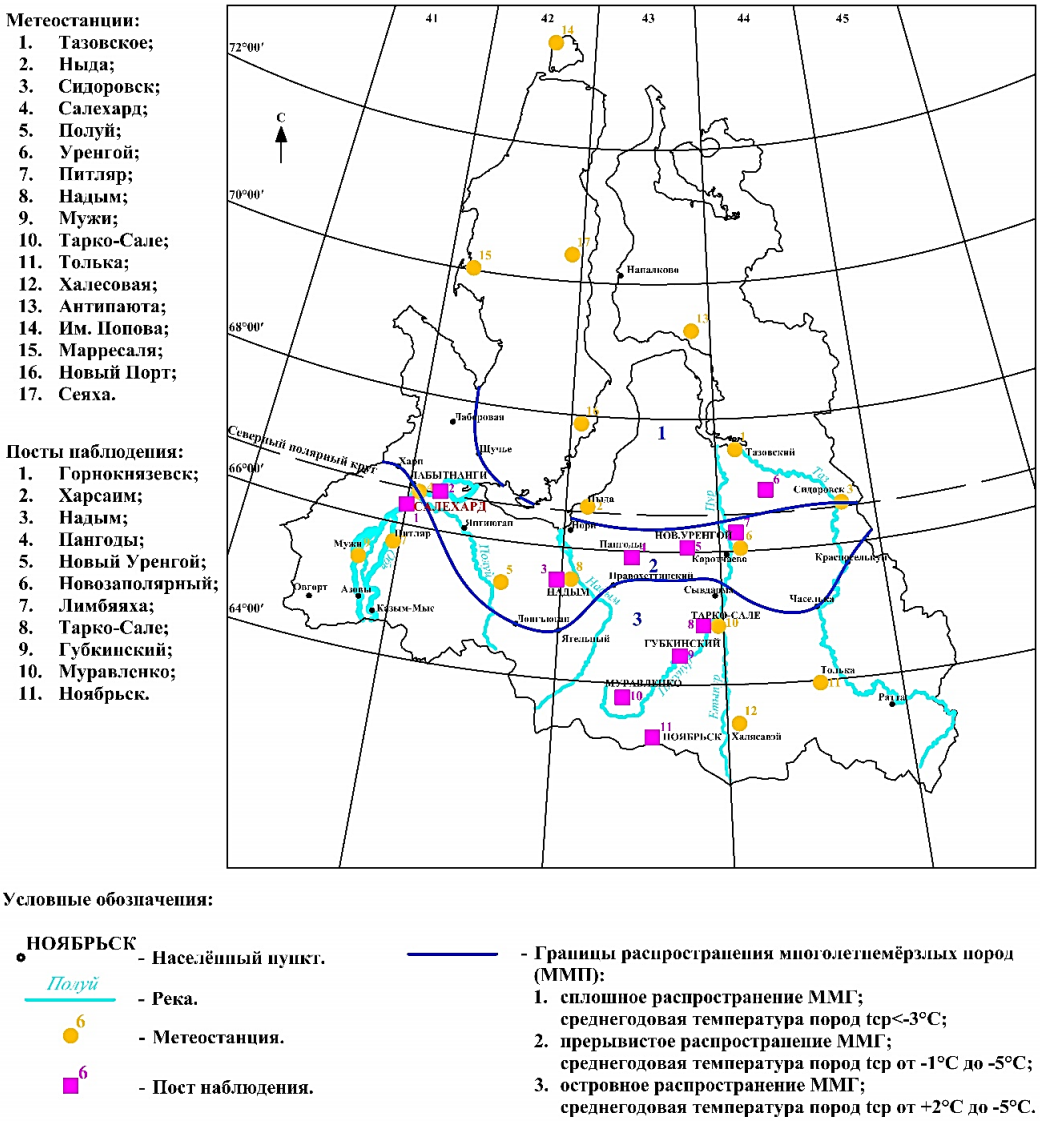


Рисунок 5.6 – Карта-схема ЯНАО с зонированием территории по распространению мерзлотных пород

Для получения карты-схемы дорожно-климатического районирования выполнено наложение полученных однородных участков, выделенных по доминирующим признакам (см. рисунки 5.3–5.6), на карту исследуемой территории – Ямало-Ненецкого автономного округа (рисунок 5.7).

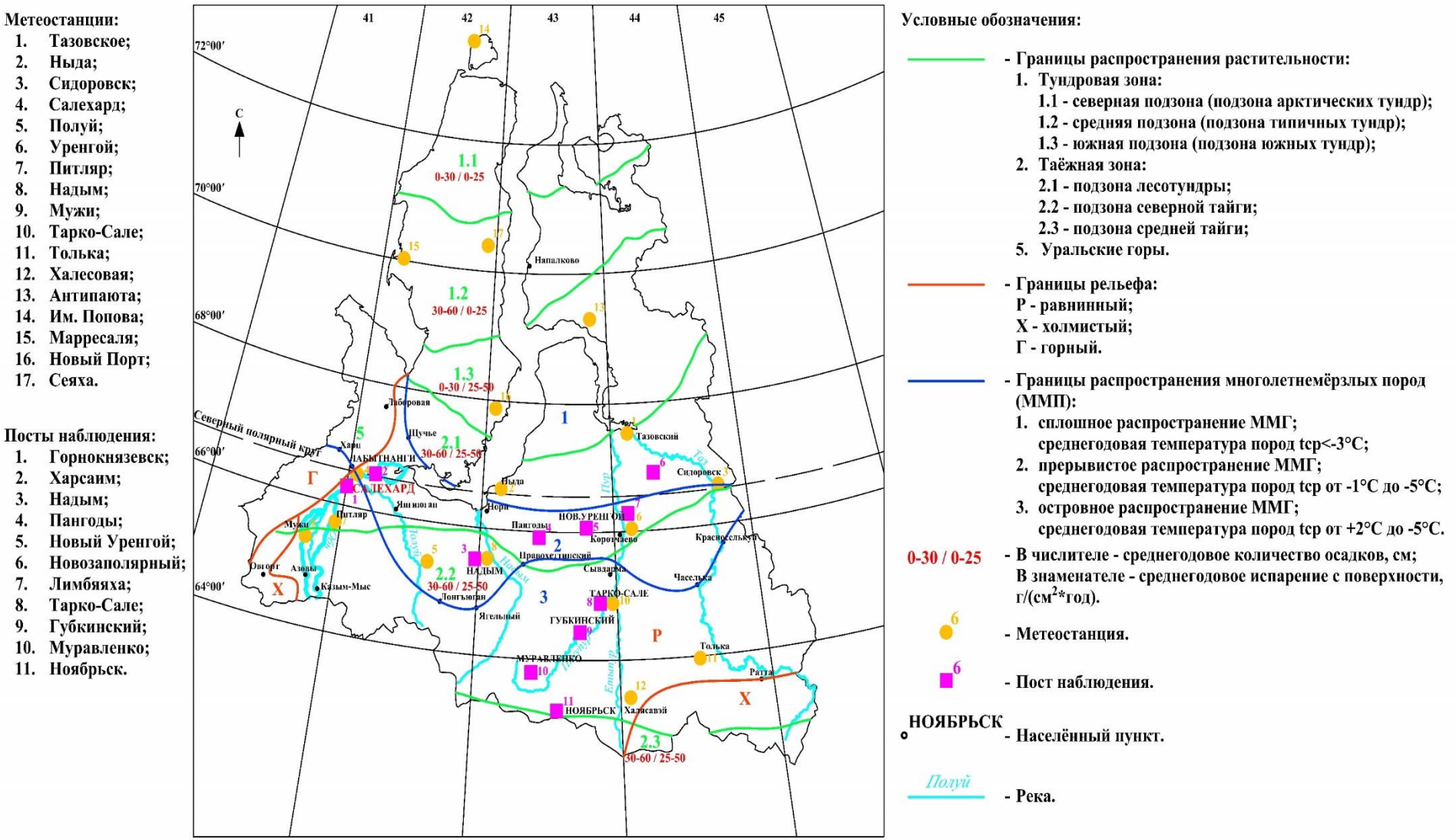


Рисунок 5.7 – Карта-схема ЯНАО с зонированием территории по растительности, рельефу и распространению многолетнемёрзлых пород

На основе вышеизложенного 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 5.8). Характеристика выделенных дорожных районов в Ямало-Ненецком автономном округе приведена в таблице 5.3.

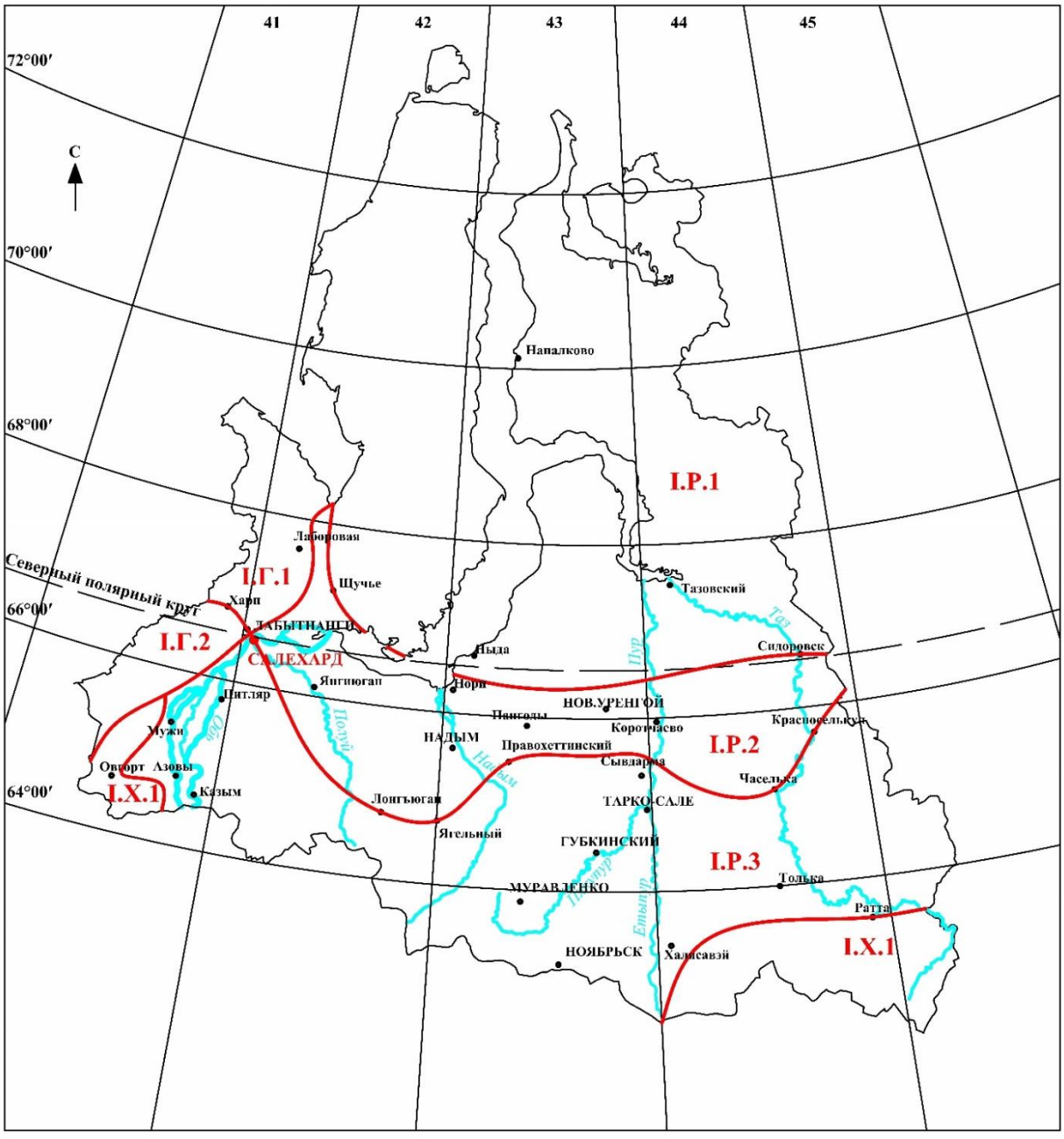


Рисунок 5.8 – Карта-схема дорожно-климатического районирования территории ЯНАО: I – дорожно-климатическая зона; Р, Х, Г – подзоны по типам рельефа (равнинный, холмистый, горный);
1–3 – номера дорожных районов

Таблица 5.3 – Основные характеристики геокомплекса дорожных районов на территории ЯНАО

Характеристика дорожно-климатической зоны	Индекс дорожного района	Административные пункты района, доминирующие элементы геокомплекса	Характеристика дорожного района					
			Тип рельефа	Мерзлотно-грунтовые условия	Расчетная влажность рабочего слоя грунта земляного полотна, д.е.	Температура воздуха, ^{0}C		
						среднегодовая	минимальная (январь)	максимальная (июль)
I – Географическая зона тундры, тайги и северо-северная часть Уральских гор с распространением многолетнемёрзлых грунтов	I.Р.1	Напалково, Тазовский, Ныда	Равнинный	Сплошное распространение многолетнемёрзлых грунтов мощностью от 50 до 450 м с отрицательной среднегодовой температурой и с высоким содержание льдов различных типов. Преобладают суглинистые, супесчаные и торфяные грунты	0,55	–8,0	–24,0	+10,9
	I.Г.1	Лаборовая	Горный	Прерывистое распространение многолетнемёрзлых грунтов мощностью от 50 до 450 м со среднегодовой температурой от 0 °С до +1,5 °С и с высоким	–	–7,8	–19,1	+8,5
	I.Р.2	Новый Уренгой, Пангоды, Коротчаево, Нори, Надым, Янгиюган	Равнинный		0,52	–6,8	–25,0	+15,2

Продолжение таблицы 5.3

Характеристика дорожно-климатической зоны	Индекс дорожного района	Административные пункты района, доминирующие элементы геокомплекса	Характеристика дорожного района					
			Тип рельефа	Мерзлотно-грунтовые условия	Расчетная влажность рабочего слоя грунта земляного полотна, д.е.	Температура воздуха, ^{0}С		
						среднегодовая	минимальная (январь)	максимальная (июль)
I – Географическая зона тундры, тайги и северо-северная часть Уральских гор с распространением многолетнемёрзлых грунтов	I.Р.2	Новый Уренгой, Пангоды, Коротчаево, Нори, Надым, Янгиюган	Равнинный	Содержание льдов различных типов. Преобладают супесчаные, песчаные и торфянистые грунты, присутствуют скальные грунты в горных районах	0,52	–6,8	–25,0	+15,2
	I.Г.2	Гора Пайер	Горный	Островное распространение многолетнемёрзлых грунтов мощностью до 50 м со среднегодовой температурой свыше +1,5 °С. Преобладают супесчаные, песчаные и торфяные болотные грунты, присутствуют скальные грунты в горных районах	–	–	–	–
	I.Р.3	Толька, Халясавэй, Ноябрьск, Муравленко, Губкинский, Тарко-Сале, Сывдарма, Питляр, Азовы, Мужи, Казым	Равнинный		0,49	–5,1	–24,0	-15,5
	I.Х.1	Овгорт	Холмистый		–	–	–	–

Примечание: Для районов I.Х.1, I.Г.1, I.Г.2 не отражен ряд параметров в связи с отсутствием гидрометеостанций и датчиков мониторинга за водно-тепловым режимом грунтов земляного полотна в пределах дорожных районов.

Примерное географическое описание границ дорожный районов

Граница горной подзоны (районы I.Г.1 и I.Г.2) проходит по следующим определяющим точкам: 98 км севернее п. Щучье – 32 км севернее и 15,1 км восточнее д. Лаборовая – 15,3 км восточнее д. Лаборовая – 28,7 км севернее и 55,6 км восточнее г. Лабытнанги – 4 км западнее и 6,8 км севернее г. Салехард – 47,6 км севернее с. Питляр – 6 км западнее и 30,7 км севернее с. Мужи – 54,1 км севернее с. Овгорт – 16,6 км севернее и 23,1 км западнее с. Овгорт.

Граница между районами I.Г.1 и I.Г.2 проходит по следующим определяющим точкам: 22,4 км западнее и 6 км севернее пгт Харп – пгт Харп – г. Лабытнанги – 4 км западнее и 6,8 км севернее г. Салехарда.

Граница между районами I.Р.1 и I.Р.2 проходит по следующим определяющим точкам: 98 км севернее п. Щучье – п. Щучье – 17,4 км севернее с. Нори – 25,5 км севернее г. Новый Уренгой – в.п. Сидоровск – 29 км восточнее в.п. Сидоровск.

Граница между районами I.Р.2 и I.Р.3 проходит по следующим определяющим точкам: 4 км западнее и 6,8 км севернее г. Салехарда – г. Салехард – 82 км южнее урочища Янгиеган – п. Лонгъюган – п. Ягельный – п. Правохеттинский – 110 км севернее г. Губкинский – 22,6 км севернее с. Сывдарма – 37,5 км восточнее с. Сывдарма – фактория Часелька – с. Красноселькуп – 35,4 км восточнее и 48 кс севернее с. Красноселькуп.

Граница между районами I.Р.3 и I.Х.1 проходит по следующим определяющим точкам:

на западе: 6 км западнее и 30,7 км севернее с. Мужи – 12,7 км западнее с. Мужи – 13,8 км восточнее с. Овгорт – 16,4 км западнее и 9,6 км южнее с. Азовы – 15,9 км западнее и 39,3 км южнее с. Азовы;

на востоке: 10,7 км западнее и 87,6 км южнее с. Халясавэй – 31 км восточнее с. Халясавэй – 39,1 км южнее с. Толька – с. Ратта – 9,6 км севернее и 59,8 км восточнее с. Ратта.

5.3 Назначение расчётных значений влажности преобладающего в ЯНАО грунта земляного полотна

Для прогноза расчётной влажности грунтов земляного полотна использован алгоритм, представленный в разделе 2 (см. рисунок 2.3), с применением разработанных оригинальных программ [142, 143]. Для определения расчетных значений осенней ($W_{\text{Р}}^{\text{ОС}}$) и весенней ($W_{\text{Р}}^{\text{ВЕС}}$) влажности грунтов земляного полотна с применением методов математического моделирования сформирована база данных (см. раздел 5.1).

Сопоставление значений влажности грунтов, полученных на основе теоретических и экспериментальных исследований, выполнено для участков автомобильных дорог, выбранных ранее для полевых наблюдений на территории исследования (см. раздел 3.1). Для этой цели использованы результаты наблюдений за изменением водно-теплового режима грунтов на стационарных постах наблюдения (см. рисунок 3.1), полученные в период с 01.08.2021 г. по 31.07.2024 г., на участках автомобильных дорог: Коротчаево – Новозаполярный КМ 125+000; Подъезд к п. Харсаим КМ 3+000; Сургут – Салехард, участок Объезд г. Губкинский КМ 465+000. Перечисленные участки, как уже было отмечено ранее (см. раздел 4.2), находятся в природно-климатических условиях, характерных для вновь выделенных дорожных районов I.Р.1, I.Р.2 и I.Р.3 соответственно (см. раздел 5.2). В пределах районов I.Х.1, I.Г.1 и I.Г.2 отсутствуют гидрометеостанции и датчики для мониторинга за водно-тепловым режимом грунтов земляного полотна, в связи с чем определение расчетной влажности грунта земляного полотна не представляется возможным.

В таблицах 5.4 и 5.5 представлены числовые значения, характеризующие расчётные значения влажности грунтов в осенний и весенний периоды, определенные с применением теоретических моделей и по результатам экспериментальных исследований. Адекватность значений расчётной влажности грунтов земляного полотна в статистическом ряду, сопоставленном на базе экспериментальных исследований, оценена с помощью показателя точности (P) –

отклонения измеренного значения величины влажности грунта от её истинного значения (доверительный интервал) [23, 30].

Таблица 5.4 – Значения расчётной осенней влажности грунтов земляного полотна, установленные по результатам полевых наблюдений и теоретического моделирования

Расчётная осенняя влажность грунта рабочего слоя земляного полотна	Титул автомобильной дороги (индекс дор. района)		
	Коротчаево – Новозаполярный КМ 125+000 (I.P.1)	Подъезд к п. Харсаим КМ 3+000 (I.P.2)	Сургут – Салехард, участок Объезд г. Губкинский КМ 465+000 (I.P.3)
2021			
$W_{\text{набл}}^{\text{ОС}}$ по результатам наблюдений, д.ед.	0,521	0,502	0,449
$W_{\text{Р}}^{\text{ОС}}$ по результатам теоретического прогноза, д.ед	0,532	0,498	0,441
Отклонение $W_{\text{Р}}^{\text{ОС}}$ от $W_{\text{набл}}^{\text{ОС}}, P$, %	+2,1	–0,8	–1,8
2022			
$W_{\text{набл}}^{\text{ОС}}$ по результатам наблюдений, д.ед.	0,519	0,501	0,460
$W_{\text{Р}}^{\text{ОС}}$ по результатам теоретического прогноза, д.ед	0,512	0,506	0,452
Отклонение $W_{\text{Р}}^{\text{ОС}}$ от $W_{\text{набл}}^{\text{ОС}}, P$, %	–1,3	+1,0	–1,7
2023			
$W_{\text{набл}}^{\text{ОС}}$ по результатам наблюдений, д.ед.	0,479	0,491	0,459
$W_{\text{Р}}^{\text{ОС}}$ по результатам теоретического прогноза, д.ед	0,486	0,487	0,467
Отклонение $W_{\text{Р}}^{\text{ОС}}$ от $W_{\text{набл}}^{\text{ОС}}, P$, %	+1,5	–0,8	+1,7

Разница между фактическими и теоретическими значениями осенней влажности грунтов земляного полотна составляет 0,8–2,1 %.

Таблица 5.5 – Значения расчётной весенней влажности грунтов земляного полотна, установленные по результатам полевых наблюдений и теоретического моделирования

Расчётная осенняя влажность грунта рабочего слоя земляного полотна	Титул автомобильной дороги (индекс дор. района)		
	Коротчаево – Новозаполярный КМ 125+000 (I.P.1)	Подъезд к п. Харсаим КМ 3+000 (I.P.2)	Сургут – Салехард, участок Объезд г. Губкинский КМ 465+000 (I.P.3)
2022			
$W_{\text{набл}}^{\text{ВЕС}}$ по результатам наблюдений, д.ед.	0,548	0,508	0,472
$W_{\text{Р}}^{\text{ВЕС}}$ по результатам теоретического прогноза, д.ед	0,544	0,511	0,481
Отклонение $W_{\text{Р}}^{\text{ВЕС}}$ от $W_{\text{набл}}^{\text{ВЕС}}, P$, %	–0,7	+0,6	+1,9
2023			
$W_{\text{набл}}^{\text{ВЕС}}$ по результатам наблюдений, д.ед.	0,551	0,532	0,503
$W_{\text{Р}}^{\text{ВЕС}}$ по результатам теоретического прогноза, д.ед	0,559	0,524	0,492
Отклонение $W_{\text{Р}}^{\text{ВЕС}}$ от $W_{\text{набл}}^{\text{ВЕС}}, P$, %	+1,5	–1,5	–2,2
2024			
$W_{\text{набл}}^{\text{ВЕС}}$ по результатам наблюдений, д.ед.	0,541	0,508	0,491
$W_{\text{Р}}^{\text{ВЕС}}$ по результатам теоретического прогноза, д.ед	0,533	0,518	0,495
Отклонение $W_{\text{Р}}^{\text{ВЕС}}$ от $W_{\text{набл}}^{\text{ВЕС}}, P$, %	–1,5	+2,0	+0,8

Разница между фактическими и теоретическими значениями весенней влажности грунтов земляного полотна составляет 0,6–2,2 %.

Приведённые значения показателя точности P свидетельствуют о том, что результаты фактического измерения влажности песчаных грунтов в осенний и весенний периоды года соответствуют заданному уровню надёжности 0,95.

Сопоставление расчётных и экспериментальных значений влажности грунтов рабочего слоя земляного полотна выполнено с применением коэффициента линейной корреляции (r), отражающего статистическую

взаимосвязь между двумя и более рядами случайных величин. Его значения можно установить с помощью формулы [30]:

$$r = \frac{\overline{xy} - \bar{x} * \bar{y}}{\sigma_x * \sigma_y}, \quad (5.1)$$

где $\overline{xy} = \frac{\sum xy}{n}$ – величина среднего значения произведений влажностей, установленных расчётным и экспериментальным путём; $\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$ – величина среднего значения влажности, установленной на стационарных постах наблюдения экспериментальным методом; $\bar{y} = \frac{\sum y}{n}$ – величина среднего значения влажности, установленной с применением теоретического моделирования (расчётом); $\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum x^2}{n} - \bar{x}^2}$ – мера отклонения значений экспериментально установленной влажности от математического ожидания (дисперсия); $\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum y^2}{n} - \bar{y}^2}$ – мера отклонения значений влажности, рассчитанных с применением усовершенствованного метода проф. И.А. Золотаря, от математического ожидания (дисперсия); n – размер статистической выборки; x – величина влажности, установленная в результате эксперимента; y – величина влажности, установленная по результатам теоретического моделирования.

Часть промежуточных результатов расчёта, необходимых для определения коэффициентов линейной корреляции, приведена в таблицах 5.6, 5.7.

Таблица 5.6 – Вспомогательные характеристики расчётной осенней влажности ($W_{\text{Р}}^{\text{ОС}}$) грунтов, установленные для определения значения коэффициента r

№ п/п	Расчётная осенняя влажность земляного полотна				
	x на основе экспериментов	y на основе теоретического моделирования	xy	x^2	y^2
1	2	3	4	5	6
I.P.1					
1	0,521	0,532	0,277172	0,271441	0,283024
2	0,519	0,512	0,265728	0,269361	0,262144
3	0,479	0,486	0,232794	0,229441	0,236196

Продолжение таблицы 5.6

1	2	3	4	5	6
Сумма	1,519	1,53	0,775694	0,770243	0,781364
Среднее арифметическое значение	0,506333333	0,51	0,258564667	0,256747667	0,260454667
I.P.2					
1	0,502	0,498	0,249996	0,252004	0,248004
2	0,501	0,506	0,253506	0,251001	0,256036
3	0,491	0,487	0,239117	0,241081	0,237169
Сумма	1,494	1,491	0,742619	0,744086	0,741209
Среднее арифметическое значение	0,498	0,497	0,247539667	0,248028667	0,247069667
I.P.3					
1	0,449	0,441	0,198009	0,201601	0,194481
2	0,460	0,452	0,20792	0,2116	0,204304
3	0,459	0,467	0,214353	0,210681	0,218089
Сумма	1,368	1,36	0,620282	0,623882	0,616874
Среднее арифметическое значение	0,456	0,453333333	0,206760667	0,207960667	0,205624667

Значение линейного коэффициента корреляции для исследования взаимосвязи двух переменных – значений осенней влажности грунта, полученных с использованием теоретических и экспериментальных моделей для участков автомобильных дорог, расположенных в условиях района **I.P.1**:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{0{,}7702}{3} - 0{,}506^2} = 0{,}0193;$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{0{,}7814}{3} - 0{,}51^2} = 0{,}0188;$$

$$r = \frac{0{,}2586 - 0{,}51 * 0{,}506}{0{,}0193 * 0{,}0188} = \mathbf{0,917};$$

в условиях района **I.P.2:**

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{0{,}7441}{3} - 0{,}498^2} = 0{,}0050;$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{0{,}7412}{3} - 0{,}497^2} = 0{,}0078;$$

$$r = \frac{0{,}2475 - 0{,}498 * 0{,}497}{0{,}0050 * 0{,}0078} = \mathbf{0{,}870};$$

в условиях района **I.P.3:**

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{0{,}6239}{3} - 0{,}456^2} = 0{,}0050;$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{0{,}6169}{3} - 0{,}453^2} = 0{,}0107;$$

$$r = \frac{0{,}2068 - 0{,}456 * 0{,}453}{0{,}0050 * 0{,}0107} = \mathbf{0{,}768}.$$

Таблица 5.7 – Вспомогательные характеристики расчётной весенней влажности ($W_{\text{P}}^{\text{BEC}}$) грунтов, установленные для определения значения коэффициента r

№ п/п	Расчётная весенняя влажность земляного полотна				
	x на основе экспериментов	y на основе теоретического моделирования	xy	x^2	y^2
1	2	3	4	5	6
I.P.1					
1	0,548	0,544	0,298112	0,300304	0,295936
2	0,551	0,559	0,308009	0,303601	0,312481
3	0,541	0,533	0,288353	0,292681	0,284089
Сумма	1,64	1,636	0,894474	0,896586	0,892506
Среднее арифметическое значение	0,546666667	0,545333333	0,298158	0,298862	0,297502
I.P.2					
1	0,508	0,511	0,259588	0,258064	0,261121
2	0,532	0,524	0,278768	0,283024	0,274576
3	0,508	0,518	0,263144	0,258064	0,268324
Сумма	1,548	1,553	0,8015	0,799152	0,804021
Среднее арифметическое значение	0,516	0,517666667	0,267166667	0,266384	0,268007
I.P.3					
1	0,472	0,481	0,227032	0,222784	0,231361
2	0,503	0,492	0,247476	0,253009	0,242064
3	0,491	0,495	0,243045	0,241081	0,245025
Сумма	1,466	1,468	0,717553	0,716874	0,71845
Среднее арифметическое значение	0,488666667	0,489333333	0,239184333	0,238958	0,239483333

Значение линейного коэффициента корреляции для исследования взаимосвязи двух переменных – значений весенней влажности грунта, полученных с использованием теоретических и экспериментальных моделей для участков автомобильных дорог, расположенных в условиях района **I.P.1**:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{0{,}8966}{3} - 0{,}547^2} = 0{,}0042;$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{0{,}8925}{3} - 0{,}545^2} = 0{,}0107;$$

$$r = \frac{0{,}2982 - 0{,}547 * 0{,}545}{0{,}0042 * 0{,}0107} = \mathbf{0,951};$$

в условиях района **I.P.2:**

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{0{,}7992}{3} - 0{,}516^2} = 0{,}0113;$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{0{,}8040}{3} - 0{,}518^2} = 0{,}0053;$$

$$r = \frac{0{,}267 - 0{,}516 * 0{,}518}{0{,}0113 * 0{,}0053} = \mathbf{0,843};$$

в условиях района **I.P.3:**

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{0{,}7169}{3} - 0{,}489^2} = 0{,}0128;$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{0{,}7185}{3} - 0{,}489^2} = 0{,}006;$$

$$r = \frac{0{,}239 - 0{,}489 * 0{,}489}{0{,}0128 * 0{,}006} = \mathbf{0,826}.$$

Результаты сопоставления статистических рядов значений влажности грунтов рабочего слоя земляного полотна, установленных экспериментально и теоретически, сведены в таблицу 5.8.

Таблица 5.8 – 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.Р.1	0,92	0,95
I.Р.2	0,87	0,84
I.Р.3	0,77	0,83

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 $r = 0{,}77 – 0{,}95$. С учетом вышеизложенного в таблице 5.9 представлены результаты определения расчётной влажности грунта рабочего слоя земляного полотна для вновь выделенных дорожных районов на территории Ямало-Ненецкого автономного округа (см. рисунок 5.8) с применением разработанной оригинальной программы [143].

5.4 Обоснование экономической эффективности результатов исследования

Обоснование экономической эффективности от внедрения расчётных значений влажности песка пылеватого, представленных в разделе 5.3, применительно к вновь выделенным дорожным районам на территории Ямало-Ненецкого автономного округа (см. раздел 5.2) выполнено на основе сравнения двух вариантов конструкции дорожной одежды (таблица 5.10). В качестве исходных данных приняты следующие показатели [49, 156]:

- категория автомобильной дороги – III;
- тип местности по условиям увлажнения – 2;
- величина требуемого модуля упругости $E_{\text{тр}} = 310$ МПа;
- группа расчётной нагрузки – А-11,5;

Таблица 5.9 – Расчетные величины влажности песчаного грунта земляного полотна для выделенных районов на территории ЯНАО

Величина коэффициента влагопроводности грунта K_1, см^2/ч	Глубина залегания уровня грунтовых вод от верха земляного полотна $H_в$, м	$W_{от}$, д.е.	Величина коэффициента влагопроводности грунта K_1, см^2/ч	Глубина залегания уровня грунтовых вод от верха земляного полотна $H_в$, м	$W_{от}$, д.е.	Величина коэффициента влагопроводности грунта K_1, см^2/ч	Глубина залегания уровня грунтовых вод от верха земляного полотна $H_в$, м	$W_{от}$, д.е.
I.P.1			I.P.2			I.P.3		
0,5	0,5	0,58	0,5	0,59	0,64	0,5	0,59	0,64
	0,75	0,58		0,59	0,64		0,55	0,642
	1,0	0,43		0,43	0,431		0,43	0,432
1,0	0,5	0,59	1,0	0,56	0,65	1,0	0,57	0,66
	0,75	0,59		0,56	0,65		0,56	0,654
	1,0	0,43		0,45	0,447		0,46	0,459
	1,5	0,43		0,43	0,43		0,43	0,433
1,5	0,5	0,55	1,5	0,57	0,66	1,5	0,58	0,67
	0,75	0,55		0,57	0,66		0,58	0,67
	1,0	0,46		0,49	0,486		0,50	0,501
	1,5	0,43		0,44	0,439		0,45	0,45
2,0	0,5	0,56	2,0	0,58	0,67	2,0	0,59	0,68
	0,75	0,56		0,58	0,67		0,59	0,68
	1,0	0,52		0,54	0,541		0,56	0,61
	1,5	0,44		0,45	0,449		0,47	0,468
	2,0	0,44		0,44	0,443		0,45	0,447

Продолжение таблицы 5.9

Величина коэффициента влагопроводности грунта K_1, см^2/ч	Глубина залегания уровня грунтовых вод от верха земляного полотна $H_в$, м	$W_{от}$, д.е.	Величина коэффициента влагопроводности грунта K_1, см^2/ч	Глубина залегания уровня грунтовых вод от верха земляного полотна $H_в$, м	$W_{от}$, д.е.	Величина коэффициента влагопроводности грунта K_1, см^2/ч	Глубина залегания уровня грунтовых вод от верха земляного полотна $H_в$, м	$W_{от}$, д.е.
I.P.1			I.P.2			I.P.3		
2,5	0,5	0,57	2,5	0,5	0,58	2,5	0,55	0,69
	0,75	0,57		0,75	0,59		0,55	0,69
	1,0	0,53		1,0	0,52		0,51	0,65
	1,5	0,44		1,5	0,47		0,50	0,499
	2,0	0,45		2,0	0,45		0,46	0,456
	2,5	-		2,5	-		0,45	0,45
3,0	0,5	0,57	3,0	0,5	0,59	3,0	0,56	0,7
	0,75	0,58		0,75	0,59		0,55	0,696
	1,0	0,56		1,0	0,56		0,54	0,679
	1,5	0,46		1,5	0,50		0,51	0,509
	2,0	0,45		2,0	0,45		0,47	0,466
	2,5	-		2,5	-		0,46	0,458

- величина удельного давления от колеса автомобиля на покрытие $P = 0{,}8$ МПа;
- расчётный диаметр штампа $D = 34{,}5$ см.

Ранее, при определении глубины промерзания грунтов земляного полотна (см. раздел 4.2), для самой северной подзоны – I_1, согласно действующим нормативным документам [49, 156], была назначена конструкция дорожной одежды, общая толщина которой составила 102 см (см. рисунок 4.2). В качестве грунта земляного полотна принят песок пылеватый с расчетными характеристиками [49, 156]: $W_{от} = 0{,}6;\ E_{гр} = 84$ МПа; $\varphi_{дин} = 12°; c = 0{,}005$. Второй варианта конструкции рассчитан для дорожного района I.Р.1 с учётом расчётной влажности, установленной по результатам исследования (см. таблицу 5.9), остальные характеристики грунта определены по действующим нормам для назначенной влажности [49, 156]: $W_{от} = 0{,}55;\ E_{гр} = 90$ МПа; $\varphi_{дин} = 11{,}8°; c = 0{,}017$. Принятые к сравнению варианты дорожной одежды приведены в таблице 5.10.

Таблица 5.10 – Конструкции дорожных одежд, принятые к сравнению

Конструктивные слои	Толщина слоев, см	
	Вариант 1	Вариант 2
ЩМА-16 БНД 100/130	6 (3)	6 (3)
А 22Нт БНД 100/130	6	6
А 32От БНД 100/130	12	12
Щебень заклинкой, расклинцованный мелким щебнем	30	30
Песок средней крупности	48	28
Общая толщина дорожной одежды	*102*	*82*

Для расчёта сметной документации необходимо вычислить объёмы работ на строительство дорожной одежды (таблица 5.11).

Таблица 5.11 – Ведомость объёмов работ на строительство дорожной одежды

№ п/п	Наименование работ, ед. изм.	Количество (Вариант 1)	Количество (Вариант 2)	Номер расценки
1	Устройство основания из песка: h (В1) = 0,48 м, h (В2) = 0,28 м, 100 м^3	$14{,}1 * 0{,}48 * 1000 = = 6768$ м^3	$13{,}9 * 0{,}28 * 1000 = = 3892$ м^3	27-04-001-01
2	Устройство оснований из щебня по способу заклинки h = 0,3 м, 1000 м^2	$\frac{(8 + 8{,}6)}{2} * 1000 = = 8300$ м^2	$\frac{(8 + 8{,}6)}{2} * 1000 = = 8300$ м^2	27-04-005-02 27-04-005-03 27-04-008-01

Продолжение таблицы 5.11

№ п/п	Наименование работ, ед. изм.	Количество (Вариант 1)	Количество (Вариант 2)	Номер расценки
3	Устройство оснований из асфальтобетонной смеси А32От h=0,12 м, 1000 м^2	$8 * 1000 = 8000$ м^2	$8 * 1000 = 8000$ м^2	27-06-031-01 27-06-032-01
4	Устройство нижнего слоя покрытия из асфальтобетонной смеси А22Нт h=0,06 м, 1000 м^2	$8 * 1000 = 8000$ м^2	$8 * 1000 = 8000$ м^2	27-06-031-01 27-06-032-01
5	Устройство верхнего слоя покрытия из асфальтобетонной смеси ЩМА-16 h=0,06 м, 1000 м^2	$8 * 1000 = 8000$ м^2	$8 * 1000 = 8000$ м^2	27-06-031-01 27-06-032-01

Сметная документация на строительство 1 км автомобильной дороги III категории с капитальным типом покрытия в п. Тазовский составлена с использованием Федеральной сметно-нормативной базы ФСНБ-2022 [179] ресурсно-индексным методом согласно Методике определения сметной стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, сноса объектов капитального строительства, работ по сохранению объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации на территории Российской Федерации (Методика 421/пр) [122].

Сметная стоимость строительно-монтажных работ определена в программном комплексе «Гектор: Сметчик-строитель» по ГЭСН 27 «Автомобильные дороги» [52]. Накладные расходы и сметная прибыль определены в зависимости от видов строительно-монтажных работ в процентах от средств на оплату труда рабочих-строителей и механизаторов в соответствии со сметными нормативами, сведения о которых включены в федеральный реестр сметных нормативов, Методика 812/пр, Методика 774/пр для ЯНАО (5 зона) [123, 124].

По данным ведомости объёмов работ произведен расчёт локальной сметы ресурсно-индексным методом (см. приложение Г). Сметная стоимость строительства 1 км дорожной одежды, назначенной согласно действующим нормативным документам, в текущих ценах по состоянию на 1 квартал 2026 г.

составила 122 328,003 тыс. руб. Стоимость 1 км дорожной одежды, назначенной с учётом расчётной влажности, установленной по результатам исследования, – 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-го квартала 2026 г. на 1 км автомобильной дороги.

5.5 Выводы по главе 5

1. Сформирована информационная базы данных для целей дорожно-климатического районирования с учетом зональных (среднегодовая температура воздуха; годовое количество осадков; испарение с поверхности суши; расчетная влажность грунта, тип растительности) и интразональных (тип грунта; рельеф местности; гранулометрический состав грунта) признаков природно-территориального комплекса территории Ямало-Ненецкого автономного округа.
2. Для территории исследования предложена карта-схема дорожно-климатического районирования, составленная с использованием метода наложения. 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). Для каждого выделенного дорожного района приведена характеристика – рельеф местности, мерзлотно-грунтовые условия, расчётная влажность рабочего слоя грунта земляного полотна, а также среднегодовые, минимальные и максимальные температуры воздуха.
3. Достоверность результатов прогнозирования величины влажности грунтов земляного полотна методами теоретического моделирования при отсутствии возможности получения её фактических значений на основе

экспериментальных наблюдений подтверждена близкими к единице значениями коэффициента линейной корреляции $r = 0{,}77–0{,}95$. С учетом этого и с использованием оригинальных программных продуктов определены величины осенней и весенней влажности грунтов земляного полотна автомобильных дорог Ямало-Ненецкого автономного округа.

4. Обоснована экономическая эффективность работ, направленных на назначение значений расчётной влажности грунтов земляного полотна. 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 более 6 000 000 руб. в уровне цен 1-го квартала 2026 г. на 1 км автомобильной дороги.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты и практические рекомендации представлены в следующих выводах:

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 ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексиков, И.С. Проектирование оптимальных дорожных одежд нежёсткого типа из местных строительных материалов (в региональных условиях Нижнего Поволжья) : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.11 / Алексиков Илья Сергеевич. – Волгоград, 2012. – 20 с.
2. Алексиков, С.В. Районирование г. Волгограда по условиям зимнего содержания / С.В. Алексиков, Ф.В. Волченко // Материалы IV Международной науч.-техн. конф. «Инженерные проблемы строительного материаловедения, геотехнического и дорожного строительства». – Волгоград : Изд-во Волгог. гос. архит.-строит. ун-та, 2013. – С. 46–52.
3. Арманд, Д.Л. Логичность географических классификаций и схем районирования / Д.Л. Арманд // Развитие и преобразование географической среды. – Москва : Наука, 1964. – С. 33–53.
4. Арманд, Д.Л. Объективное и субъективное в природном районировании. / Д.Л. Арманд // Известия АН СССР. Серия геогр. – 1970. – № 1. – С. 115–129.
5. Арманд, Д.Л. Принципы физико-географического районирования / Д.Л. Арманд // Известия АН СССР. Серия геогр. – 1952. – № 1. – С. 68–82.
6. Архивы погоды: Ямало-Ненецкий АО, Россия. – URL: http://www.pogodaiklimat.ru/archive.php?id=ru&region=89 (дата обращения: 08.10.2024).
7. Афиногенов, О.П. Совершенствование методов проектирования автомобильных дорог на основе дифференциации районирования : монография / О.П. Афиногенов, С.В. Ефименко, А.О. Афиногенов. – Кемерово : ООО «Офсет», 2015. – 364 с.
8. Афиногенов, А.О. Обоснование региональных норм степени уплотнения глинистых грунтов земляного полотна автомобильных дорог (на примере

районов Западной Сибири) : автореф. дис. … канд. техн. наук. – Омск, 2011. – 22 с.

9. Бабков, В.Ф. Автомобильные дороги / В.Ф. Бабков, А.Я. Волков, А.В. Гербурт-Гейбович, М.С. Замахаев. – Москва : Автотрансиздат, 1953. – 648 с.
10. Бабков, В.Ф. Основы грунтоведения и механики грунтов / В.Ф. Бабков, А.В. Гербурт-Гейбович. – Москва : Автотрансиздат, 1956. – 308 с.
11. Бабков, В.Ф. Проектирование автомобильных дорог (Часть 1) / В.Ф. Бабков, О.В. Андреев. – Москва : Транспорт, 1987. – 368 с.
12. Бадина, М.В. К обоснованию территориального распространения границы I–II дорожно-климатических зон в Западно-Сибирском регионе / М.В. Бадина, В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко // Вестник Том. гос. архит.-строит. ун-та. – 2013. – № 4 (41). – С. 295–303.
13. Бадина, М.В. Обеспечение качества проектирования дорожных конструкций на основе учёта региональных природно-климатических условий (на примере Западной Сибири): автореф. дис. … канд. техн. наук. – Омск, 2009. – 25 с.
14. Бадрудинова. А.Н. Совершенствование конструкций укрепления обочин автомобильных дорог из местных строительных материалов (в региональных условиях Нижнего Поволжья) : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.11 / Бадрудинова Амина Нажмудиновна. – Волгоград, 2015. – 153 с.
15. Бастамов, С.Л. Материалы по гидротермическому режиму автодорожного полотна и его регулированию / С.Л. Бастамов, В.И. Морошкин, Л.А. Преферансова, Н.В. Швейковский // Труды ДорНИИ. – Вып. 2 – Москва : Дориздат, 1944.
16. Баширова, И.А. 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). С. 135–145. DOI: 10.35211/18154360_2024_4_135.

17. 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.
18. Берг, Л.С. Ландшафтно-географические зоны СССР / Всесоюзная акад. с/х наук. Ин-т растениеводства. – Москва : Сельхозгиз, 1931. – 401 с.
19. Берг, Л.С. Природа СССР. – Москва : Географгиз, 1955. – 496 с.
20. Бец, В.А. Опыт районирования территории для целей дорожной отрасли / В.А. Бец, С.Е. Гречищев, О.В. Гречищева, В.Д. Казарновский, Е.С. Пшеничникова, Н.В. Табаков // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2004. – № 3 – С. 20–23.
21. Бируля, А.К. Определение расчётных влажностей полотна автомобильных дорог на основе теории вероятностей / А.К. Бируля, В.М Сиденко. – Харьков : Изд-во ХГУ, 1958. – 34 с.
22. Бируля, А.К. Устойчивость грунтов дорожного полотна в степных районах / А.К. Бируля, В.И. Бируля, И.А. Носич. – Москва : Дориздат, 1951. – 176 с.
23. Бируля, А.К. Эксплуатационные качества автомобильных дорог / А.К. Бируля. – Москва : Транспорт, 1961. – 135 с.
24. Боброва, Т.В. Проектно-ориентированное управление производством работ на региональной сети автомобильных дорог : монография / Т.В. Боброва. – Омск : Изд-во СибАДИ, 2006. – 334 с.
25. Боброва, Т.В. Районирование территорий по климатическим характеристикам для обоснования ресурсоемкости зимнего содержания

сети дорог / Т.В. Боброва, Ю.В. Коденцева // Вестник Иркутского гос. техн. ун-та. – 2006. – № 1. – С. 72–78.

26. Боровик, В.В. Моделирование региональных природно-климатических условий / В.В. Боровик, А.Г. Круглов // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2005. – № 3. – С. 21–23.
27. Булыгина, О.Н. Изменчивость экстремальных климатических явлений на территории России / О.Н. Булыгина, Н.Н. Коршунова, В.Н. Разуваев, М.З. Шаймарданов, Н.В. Швець // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 2000. – Вып. 167. – С. 16–31.
28. Васильев, А.П. Принципы прогнозирования транспортно-эксплуатационного состояния дорог / А.П. Васильев, Ю.М. Яковлев, М.С. Коганзон // Автомобильные дороги. – 1993. – № 1. – С. 8–10.
29. Васильев, И.С. Мерзлотно-ландшафтное районирование трассы строящейся железной дороги Томмот – Кердем / И.С. Васильев [и др.] // Криосфера Земли, 2007. – №11. – С. 29 – 34.
30. Венецкий И.Г. Теория вероятностей и математическая статистика / И.Г. Венецкий, Г.С. Кильдешев. – Москва : Статистика, 1975. – 264 с.
31. Виноградский, А.К. Дорожное районирование. – Москва : Транспорт, 1989. – 95 с.
32. Влияние промерзания на устойчивость дорожных оснований: [Сборник статей] / под ред. канд. техн. наук Н.А. Пузанкова ; Дор. науч.-исслед. ин-т «ДорНИИ» Гушосдора МВД СССР. – Москва : Изд-во и тип. Дориздата, 1948 (13-я тип. Огиз'а). – 128 с.
33. ВСН 84-75. Инструкция по изысканию, проектированию и строительству автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты. – Москва : Минтрансстрой СССР, 1976. – 218 с.
34. ВСН 84-89. Изыскания, проектирование и строительство автомобильных дорог в районах распространения вечной мерзлоты. – Москва : Союздорнии, 1990. – 151 с.

35. Галкин, А.Н. Новый подход к инженерно-геологическому районированию территории Беларуси / А.Н. Галкин // Літасфера. – № 1 (30). – С. 75–80.
36. Галкин, А.Ф. Повышение тепловой устойчивости дорожных одежд в криолитозоне / А.Ф. Галкин, М.Н. Железняк, А.Ф. Жирков // Строительные материалы. – 2021. – № 7. – С. 26–31.
37. Галкин, А.Ф., Плотников Н.А., Панков В.Ю. Влияние температуры воздуха на глубину оттаивания дорожного основания / А.Ф. Галкин, Н.А. Плотников, В.Ю. Панков // Арктика: экология и экономика. – 2023. – Т. 13. – № 4 (52). – С. 529–535.
38. Геокриологические условия Западно-Сибирской низменности / Госстрой СССР. Производ. и науч.-исслед. ин-т по инж. изысканиям в строительстве; В.В. Баулин, Е.Б. Белопухова, Г.И. Дубиков, Л.М. Шмелев. – Москва : Наука, 1967. – 214 с., 2 л. черт. : ил., карт.; 26 см.
39. Гидрометцентр России. Климатические нормы. – URL: https://meteoinfo.ru/climatcities (дата обращения: 08.10.2024).
40. Горячев, М.Г. Математическое описание сезонного влагонакопления в грунте земляного полотна для прогнозирования дефектов дорожных одежд / М.Г. Горячев, В.С. Смоленкин // Вестник МАДИ. – 2014. – № 3. – С. 83–89.
41. Горячев, М.Г. Обоснование суммарного размера движения для расчёта нежестких дорожных одежд с учетом процесса накопления остаточных деформаций : дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 / Горячев Михаил Геннадьевич. – Москва, 1999. – 250 с.
42. ГОСТ 12071–2014. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 12 с.
43. ГОСТ 12536–2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 23 с.

44. ГОСТ 22733–2016. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности .– Москва : Стандартинформ, 2016. – 16 с.
45. ГОСТ 25100–2020. Грунты. Классификация. – Москва : Стандартинформ, 2020. – 41 с.
46. ГОСТ 30416–2020. Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения. – Москва : Российский институт стандартизации, 2021. – 22 с.
47. ГОСТ 5180–2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. – Москва : Стандартинформ, 2016. – 23 с.
48. ГОСТ Р 50597–2017. Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля. – Москва : Стандартинформ, 2017. – 28 с.
49. ГОСТ Р 71404–2024. Дороги автомобильные общего пользования. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования. – Москва : Российский институт стандартизации, 2024. – 142 с.
50. Груза, Г.В. Статистика и анализ гидрометеорологических данных / Г.В. Груза, Р.Г. Рейтенбах. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1982. – 216 с.
51. Гулько, О.Н. Дорожно-климатическое районирование территории Крайнего Севера Европейской части России с наличием многолетнемерзлых грунтов : автореф. дис. … канд. техн. наук / Гулько О.Н. – Москва, 2005. – 26 с.
52. ГЭСН 81-02-27-2022. Сборник 27. Автомобильные дороги. – 142 с.
53. Давыдов, В.А. Особенности водно-теплового режима основания и земляного полотна автомобильных дорог на многолетнемерзлых грунтах / В.А. Давыдов, О.Н. Гулько // Материалы Международной конференции «Криосфера земли как среда жизнеобеспечения». – Москва : ЗАО «Олита», 2003. – С. 53–54.
54. Девятов, М.М. Комплексное дорожно-климатическое районирование Волгоградской области / М.М. Девятов, С.В. Алексиков, С.В. Кузьмин //

Материалы науч.-практ. конф. «Стратегия развития архитектурно-строительной отрасли и ЖКХ, внедрение в практику наукоёмких и инновационных технологий». – Волгоград : Изд-во Волгог. гос. архит.-строит. ун-та, 2003. – С. 206–208.

55. Дубелир, Г.Д. Эксплуатация грунтовых дорог / Г.Д. Дубилер. – Ленинград : Гострансиздат, 1934. – 488 с.
56. Ефименко, В.Н. Анализ причин разрушения нежёстких дорожных одежд в условиях Западной Сибири / В.Н. Ефименко, В.П. Вилисов // Рациональные методы строительства и эксплуатации автомобильных дорог в условиях Сибири. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 1983. – С. 41–45.
57. Ефименко, В.Н. Водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог при глубоком промерзании грунтов (на примере Юго-Востока Западной Сибири) : дис. … канд. техн. наук : 05.22.03 / Ефименко Владимир Николаевич. – Москва, 1978. – 216 с.
58. Ефименко, В.Н. Дорожно-климатическое районирование территории юго-восточной части Западной Сибири / В.Н. Ефименко // Разработка рациональных методов проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог и мостов : сб. статей / под ред. В.М. Картапольцева. – Томск : Изд-во Том. ун- та, 1981. – С. 14–23.
59. Ефименко, В.Н. Назначение расчётных характеристик грунтов земляного полотна для расчёта дорожных одежд / В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко, А.В. Сухоруков // Вестник КузГТУ. – 2015. – № 3. – С.124–130.
60. Ефименко, В.Н. Особенности формирования банка исходных данных при назначении границ дорожно-климатических зон, подзон и районов / В.Н. Ефименко, М.В. Бадина, С.В. Ефименко // Инновационные факторы развития Транссиба на современном этапе : материалы Международной научно-практической конференции, посвящённой 80-летию Сибирского государственного университета путей сообщения. Ч.I. – Новосибирск : Изд-во СГУПСа, 2013. – С. 34–36.

61. 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 Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2022. – Т. 24. – № 6. – С. 150–159.
62. Ефименко. В.Н. Районирование территории Кузбасса по зимнему содержанию автомобильных дорог / В.Н. Ефименко // Материалы российско-финансового семинара. Планирование затрат и система оценки уровня зимнего содержания автомобильных дорог. – Кемерово : ГУ Кемеровская ДОДФ, 2001. – С. 44–46.
63. Ефименко, В.Н. Уточнение дислокации границ дорожно-климатических зон на территории Западной Сибири с применением методов математического моделирования / В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко, М.В. Бадина // Вестник ТГАСУ. – Томск, 2007. – № 1. – С. 220–228.
64. Ефименко, В.Н. Учет региональных природно-климатических условий при уточнении норм проектирования автомобильных дорог / В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко, М.В. Бадина // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2012. – № 1. – С. 15–17.
65. Ефименко, В.Н Формирование нормативной базы для проектирования транспортных сооружений в природных условиях Сибири / В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко, М.В. Бадина // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС-13-2007) : доклады (материалы) 13-й Междунар. науч.-практ. конф. – Томск : Изд-во «В-Спектр», 2007. – С. 101–104.
66. Ефименко, С.В. Дорожное районирование территории Западной Сибири : монография / С.В. Ефименко, М.В. Бадина. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2014. – 244 с. + 10 л. вкл. + 2 л. приложение.

67. Ефименко, С.В. Методические аспекты регионального уточнения простирания линий границ дорожно-климатических зон / С.В. Ефименко, Д.Н. Черепанов // Вестник МГСУ. – 2013. – № 6. – С. 214–222.
68. Ефименко, С.В. Методические вопросы дорожно-климатического районирования территории Западной Сибири на примере некоторых административных образований / С.В. Ефименко, В.Н. Ефименко, А.О. Афиногенов // Мир дорог. – 2015. – № 84. – С. 37–39.
69. Ефименко, С.В. Обоснование расчетных значений характеристик глинистых грунтов для проектирования дорожных одежд автомобильных дорог (на примере районов Западной Сибири) : дис. … канд. техн. наук / Ефименко Сергей Владимирович. – Омск, 2006. – 217 с.
70. Ефименко, С.В. Развитие теоретических положений учета особенностей признаков геокомплекса при формировании региональных норм проектирования автомобильных дорог : дис. … д-ра техн. наук. Т1 / Ефименко Сергей Владимирович. – Томск, 2016. – 280 с.
71. Ефименко, С.В. Совершенствование метода учета особенностей природно-климатических условий при проектировании дорожных одежд / С.В. Ефименко, В.Н. Ефименко, М.В. Бадина, А.В. Сухоруков // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика : материалы XI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием), Том 2. – Пермь, 2014. – С. 177–183.
72. Железняк, М.Н. Проблемы устойчивости автомобильных дорог в криолитозоне / М.Н. Железняк, Д.М. Шестернев, А.В. Литовко // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации : материалы докладов Четырнадцатой Общероссийской научно-практической конференции и выставки изыскательских организаций, Москва, 11–14 декабря 2018 года. – Москва : ООО «Геомаркетинг», 2018. – С. 223–227.

73. Заварина, М.В. Строительная климатология / М.В. Заварина. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1976. – 312 с.
74. Зворыкин, К.В. Природно-экологическое районирование с помощью методов математической статистики / К.В. Зворыкин, В.А. Углов // Биогеография. Фенология : материалы Моск. филиала геогр. об-ва СССР. – Москва, 1968. – Вып. 2.
75. Земляное полотно автомобильных дорог в северных условиях / под ред. А.А. Малышев. – Москва : Транспорт, 1974. – 279 с.
76. Золотарь, И.А. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд / И.А. Золотарь, Н.А. Пузаков, В.М. Сиденко. – Москва : Транспорт, 1971. – 416 с.
77. Золотарь, И.А. Основы расчёта водно-тепловых процессов в земляном полотне автомобильных дорог в районах распространения многолетнемёрзлых горных пород / И.А. Золотарь // Материалы VIII Всесоюзного междуведомственного совещания по геокриологии (мерзлотоведению). – Якутск : Якутское книжное изд-во, 1966. – Вып. 8. – С. 95–107.
78. Золотарь, И.А. Прогноз влажности грунта земляного полотна в целях назначения его прочностных характеристик / И.А. Золотарь // Материалы Всесоюзной межвузовской конференции по прочности дорожных одежд. – Харьков, 1968. – С. 100–106.
79. Золотарь, И.А. Расчёт испарения с поверхности грунтовых оснований в связи с прогнозом их влажностного состояния / И.А. Золотарь // Экспериментальные исследования процессов теплообмена в мерзлых горных породах. – Новосибирск : Наука, 1972. – С. 119–137.
80. Золотарь, И.А. Теоретические основы применения тонкодисперсных грунтов для возведения земляного полотна автомобильных дорог в северных районах области многолетнемерзлых грунтов : монография / И.

А. Золотарь ; Воен. акад. тыла и транспорта. – Ленинград : [б. и.], 1961. – 421 с., 3 л. ил. : ил.; 23 см.

81. Исаков, А.Л. Моделирование процесса промерзания земляного полотна на полигоне СГУПС / А.Л. Исаков, Ким Хюн Чол // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации земляного полотна и искусственных сооружений: труды VIII научно-технической конференции. – Москва, 2011. – С. 137–142.
82. Исаков, А.Л. Теплофизическая дискретная модель промерзания грунтов земляного полотна / А.Л. Исаков, Ким Хюн Чол // Транспорт Урала. – 2012. – С. 137–142.
83. Исаченко, А.Г. Основные принципы физико-географического районирования и вопросы построения таксономической системы единиц. / А.Г. Исаченко // Учен. записки Ленингр. ун-та, № 317. – Серия геогр. наук, 1962. Вып. 8. – С. 21–53.
84. Киряков, Е.И. Краткосрочный прогноз состояния нежестких дорожных одежд в районах с глубоким сезонным промерзанием грунтов : дис. … канд. техн. наук : 05.23.11 / Киряков Евгений Иванович. – Москва, 2001. – 200 с.
85. Козлов, П.Г. К вопросу о расчётных характеристиках глинистых грунтов земляного полотна при проектировании и реконструкции дорожных одежд (на примере Юга Дальнего Востока) / П.Г. Козлов, Р.С. Федюк, Д.А. Храмов // Современная техника и технологии. – 2016. – № 1. – С. 119–123.
86. Кокодеева, Н.Е. Методологические основы комплексной оценки надежности автомобильных дорог в системе технического регулирования дорожного хозяйства : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.11 / Кокодеева Наталия Евсегнеевна. – Санкт-Петербург, 2012. – 32 с.

87. Коннова, О.С. К методике определения теплоемкости мерзлых грунтов // Материалы по лабораторным исследованиям мерзлых грунтов. – Вып. I. – Москва : Изд-во АН СССР, 1953. – С. 65–77.
88. Корсунский, М.Б. Прогнозирование расчётной влажности грунтов земляного полотна / М.Б. Корсунский, В.Н. Гайворонский, П.Д. Россовский // Труды СоюзДорНИИ. Совершенствование методов защиты земляного полотна автомобильных дорог от переувлажнения. – 1975. – Вып. 76. – С. 5–29.
89. Кривисский, А.М. Исследование водно-теплового режима земляного полотна автомобильных дорог в районах избыточного увлажнения / А.М. Кривисский, М.Б. Корсунский, П.Д. Россовский, В.Н. Гайворонский // Труды СоюзДорНИИ. Проектирование и строительство искусственных сооружений на автомобильных дорогах. – 1969. – Вып. 31. – С. 93–120.
90. Кривисский, А.М. Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд по местному предельному равновесию / М-во трансп. строительства СССР. Всесоюз. гос. дор. гауч.-исслед. ин-т «СоюздорНИИ». Ленингр. филиал. – Москва : Автотрансиздат, 1963. – 76 с., 1 л. номогр. : черт., карт.; 22 см.
91. Круглов, А.Г. Совершенствование системы регионального дорожно-климатического районирования с учетом влияния грунтово-почвенных составляющих (на примере Астраханской области) : автореф. дис. … канд. техн. наук. – Волгоград, 2006. – 23 с.
92. Кудрявцев, В.А. Принципы управления мерзлотным процессом / В.А. Кудрявцев, Э.Д. Ершов // Мерзлотные исследования. – Москва : Изд-во МГУ, 1969. – № 9. – С. 147–155.
93. Кудрявцев, С.А. Промерзание и оттаивание грунтов (практические примеры и конечноэлементные расчёты) / С.А. Кудрявцев, И.И. Сахаров, В.Н. Парамонов : Группа компаний «Геореконструкция». – Санкт-Петербург, 2014. – 247 с.

94. Кулижников, А.М. Моделирование рельефа, элементов геологии и гидрогеологии местности / А.М. Кулижников, А.В. Юфряков. – Архангельск : Изд-во АГТУ, 1997. – 125 с.
95. Куприянова, Т.П. Принципы и методы физико-географического районирования с применением ЭВМ / Т.П. Куприянова. – Москва : Наука, 1977. – 126 с.
96. Ларичев, А.В. Дорожно-климатическое районирование Астраханской области / А.В. Ларичев, С.В. Алексиков // Материалы III Международной науч.-техн. конф. «Инженерные проблемы строительного материаловедения, геотехнического и дорожного строительства». – Волгоград : Изд-во Волгог. гос. архит.-строит. ун-та, 2012. – С. 155–158.
97. Леонович, И.И. Глубина промерзания грунтов – важнейший фактор водно-теплового режима земляного полотна / И.И. Леонович, Н.П. Вырко // Дорожное строительство. – 2011. – № 5 (38). – С. 27–35.
98. Лукьянов, В.С. Методика расчёта глубины промерзания грунтов / В.С. Лукьянов // Всесоюзный НИИ ж.-д. строительства и проектирования. – Москва, 1951. – 32 с.
99. Любченко, А.С. Оценка и прогнозирование надежности дорожных одежд нежесткого типа: на основе краткосрочных наблюдений : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.23.11 / Любченко Анна Степановна. – Волгоград, 2010. – 20 с.
100. Макаричев, Ю.А. Методы планирования эксперимента и обработки данных : учеб. пособие / Макаричев Ю.А., Иванников Ю.Н. – Самара : Самар. гос. техн. ун-т, 2016. – 131 с.
101. Малышев, А.А. Нужны нормативы проектирования дорог для первой климатической зоны / Малышев А.А., Порицкий Р.З., Попов Б.И., Давдов В.А. // Автомобильные дороги. – 1969. – Вып. № 8. – С. 27–28.
102. Малышев, А.А., Порицкий Р.З. Дорожно-климатическое районирование и принцип проектирования земляного полотна

автомобильных дорог в зоне вечной мерзлоты / Малышев, А.А., Порицкий Р.З. // Труды IV Всесоюзного совещания-семинара по обмену опытом строительства в суровых климатических условиях, Т. IX. – Красноярск : Изд-во Красноярского Промстрой НИИ проекта, 1968. – С. 1–21.

103. Маркуц, В.М. Установление расчётных характеристик земляного полотна нефтепромысловых дорог Западной Сибири с учетом особенностей водно-теплового режима : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.23.14 / Маркуц Вениамин Михайлович. – Москва, 1986. – 20 с.

104. Михайлов, Н.И. Физико-географическое районирование. Ч. 2. / Н.И. Михайлов. – Москва : Изд-во МГУ, 1985. – 183 с.

105. Мотылёв, Ю.Л. Устойчивость земляного полотна автомобильных дорог в засушливых и пустынных районах. – Москва : Транспорт, 1969. – 230 с.

106. Научное издательство. Большая российская энциклопедия [Электронный ресурс]. – URL: https://old.bigenc.ru/ (дата обращения: 08.10.2024).

107. Научно-прикладной справочник «Климат России» [Электронный ресурс]. – URL: http://aisori-m.meteo.ru/climsprn/ (дата обращения: 14.12.2021).

108. Нерсесова, З.А. Фазовый состав воды в грунтах при замерзании и оттаивании / З.А. Нерсесова // Материалы по лабораторным исследованиям мерзлых грунтов. – Москва : Изд-во АН СССР, 1953. – №. 1. – С. 37–51.

109. Носов, В.П. Прогнозирование повреждений жёстких слоёв дорожных одежд на основе математического моделирования : дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.11 / Носов Владимир Петрович. – Москва, 1996. – 412 с.

110. О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года : указ

Президента РФ от 26.10.2022 г. № 645 // КонсультантПлюс – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_366065/ (дата обращения: 10.09.2024).

111. Обоснование распространения границ дорожно-климатических подзон на территории Ямало-Ненецкого автономного округа на основе исследования изменчивости признаков геокомплекса для проектирования ресурсосберегающих конструкций дорожных одежд транспортных сооружений в условиях Арктики и Сибири (4 этап) 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»: отчет НИР (заключ.) / ТГАСУ; рук. В.Н. Ефименко. – Томск, 2024. – 188 с. – № НИОКТР: 124032000132-6.

112. ОДМ 218.2.061-2015. Рекомендации по определению теплофизических свойств дорожно-строительных материалов и грунтов. – Москва, 2015. – 73 с.

113. ОДМ 218.4.033-2017. Методические рекомендации по созданию системы опытно-экспериментальных полигонов на действующей сети автомобильных дорог федерального значения для внедрения новых технологий и материалов в дорожном хозяйстве в различных природно-климатических зонах Российской Федерации. – Москва, 2018. – 73 с.

114. ОДН 218.046–01. Проектирование нежёстких дорожных одежд. Государственная служба дорожного хозяйства Министерства транспорта Российской Федерации. – Москва : Информавтодор, 2001. – 145 с.

115. ОДН 218.1.052-2002. Оценка прочности нежёстких дорожных одежд. – Введ. 19.11.2002. – Москва : Информавтодор, 2002. – 80 с.

116. Пегин, П.А. Учёт специфики погодно-климатических факторов при проектировании автомобильных дорог Дальнего Востока / П.А. Пегин,

В.А. Ярмолинский, Р.Г. Леонтьев // Транспорт: наука, техника и управление. – 2010. – № 2. – С. 36–39.

117. ПНСТ 311–2018. Дороги автомобильные общего пользования. Показатели деформативности конструктивных слоев дорожной одежды из несвязных материалов и грунтов земляного полотна. Технические требования и методы определения. – Мосева : Стандартинформ, 2019. – 32 с.
118. ПНСТ 542–2021. Дороги автомобильные общего пользования. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования (с поправкой). – Москва : Стандартинформ, 2021. – 147 с.
119. Пособие по проектированию методов регулирования водно-теплового режима верхней части земляного полотна (к СНиП 2.05.02-85) / СоюзДорНИИ. – Москва : Стройиздат, 1989. – 97 с.
120. Пособие по расчету и конструированию аэродромных покрытий. – Москва, 2002. – 121 с.
121. Преображенский, В.С. Ландшафтные исследования / В.С. Преображенский. – Москва : Наука, 1966. – 127 с.
122. Приказ Минстроя РФ от 04.08.2020 № 421/пр «Об утверждении Методики определения сметной стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, сноса объектов капитального строительства, работ по сохранению объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации на территории Российской Федерации». – URL: https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/74851/ (дата обращения: 20.02.2026).
123. Приказ Минстроя РФ от 11 декабря 2020 г. № 774/пр «Об утверждении Методики по разработке и применению нормативов сметной прибыли при определении сметной стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, сноса объектов капитального строительства». –

URL: https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/116584/ (дата обращения: 20.02.2026).

124. Приказ Минстроя РФ от 21 декабря 2020 г. № 812/пр «Об утверждении Методики по разработке и применению нормативов накладных расходов при определении сметной стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, сноса объектов капитального строительства». – URL: https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/383148/ (дата обращения: 20.02.2026).

125. Пузаков, Н.А. Уточнение дорожно-климатического районирования / Н.А. Пузаков, Н.П. Ивлев // Автомобильные дороги. – № 1. – 1970. – С. 23 –24.

126. Пузаков, Н.А. Водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог / Н.А. Пузаков. – Москва : Автотрансиздат, 1960. – 168 с.

127. Пузаков, Н.А. Теоретические основы накопления влаги в дорожном полотне и их практическое применение / Н.А. Пузаков // Проектирование и возведение земляного полотна железных и автомобильных дорог. – Москва : Изд-во АН СССР, 1950. – С. 59–88.

128. Разуваев, Д.А. Экспериментальное определение двухпараметрического температурного критерия начала интенсивного криогенного влагопереноса в различных видах глинистых грунтов / Д.А. Разуваев, М. Г. Чахлов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 1(93). – С. 35-44

129. Ракита, С.А. Инженерно-географическое районирование и количественная оценка влияния природных условий на производство / С.А. Ракита // Вопросы географии, сб. 98 (Количественные методы изучения природы). – Москва, 1975. – С. 52–84.

130. Результаты дорожно-климатического районирования территории Ямало-Ненецкого автономного округа / И.А. Баширова, С.Н. Гиллих, В.Н. Ефименко [и др.] // Сергеевские чтения. Массивы грунтов как

жизнеобеспечивающий ресурс общества : материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, Псков, 27–28 марта 2025 года. – Москва : Геоинфо, 2025. – С. 233–237.

131. Родоман, Б.Б. Логические и картографические формы районирования и задачи их изучения / Б.Б. Родоман // Известия АН СССР. Серия геогр. – 1965. – № 4. – С. 113–126.
132. Родоман, Б.Б. Районирование как средство географической характеристики, его логические формы и изображение на карте : автореф. дис. … канд. техн. наук. / Родоман Б.Б. – Москва, 1966. – 18 с.
133. Рувинский, В.И. Оптимальные конструкции земляного полотна на основе регулирования водно-теплового режима / В.И. Рувинский. – Москва : Транспорт, 1982. – 166 с.
134. Руководство по определению физических, теплофизических и механических характеристик мерзлых грунтов. – Москва : Издательство литературы по строительству, 1973. – 191 с.
135. Руководящие указания ВМО по расчёту климатических норм (2017). – URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4168 (дата обращения: 08.10.2024).
136. Савко, Н.Ф. Методика по прогнозу криогенного пучения и влагонакопления многослойных дорожных конструкций / Н.Ф. Савко // Омский филиал СоюзДорНИИ. – Омск, 1977. – 22 с.
137. Самодурова, Т.В. Влияние дорожных и погодных факторов на температурный режим дорожного покрытия в зимний период / Т.В. Самодурова, Ю.В. Бакланов // Дороги и мосты. – 2011. – № 1(25). – С. 166 –178.
138. Самодурова, Т.В. Влияние солнечной радиации на температурный режим дорожного покрытия / Т.В. Самодурова, Ю.В. Бакланов // Известия

Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2013. – № 2(24). – С. 308–314.

139. Самодурова, Т.В. Исследование температурного режима дорожного покрытия / Т.В. Самодурова, Ю.В. Бакланов // Дороги и мосты. – 2013. – № 1(29). – С. 138–152.

140. 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 федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет». – № 2022621557 ; заявл. 05.05.2022 ; опубл. 01.07.2022. – 1 с.

141. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014612694 Российская Федерация. Определение величины испарения с поверхности грунтового основания / Ефименко С.В., Сухоруков А.В., Черепанов Д.Н., Батуев С.П. – № 2014612694; заявл. 09.01.14 ; опубл. 05.03.14.

142. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014617069 Российская Федерация. Определение осенней влажности глинистых грунтов рабочего слоя земляного полотна автомобильных дорог / Ефименко С.В., Сухоруков А.В., Батуев С.П. – № 2014617069 ; заявл. 20.05.2014 ; опубл. 10.07.2014.

143. 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.

144. Сиволап, В.Е (научный руководитель Ефименко В.Н.) 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 : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2023. – С. 191–194.

145. Сиденко, В.М. Автомобильные дороги (Совершенствование методов проектирования и строительства) / В.М. Сиденко, О.Т. Батраков, М.И. Волков. – Киев : Будівельник, 1973. – 76 с.

146. Сиденко, В.М. Дорожные одежды с парогидроизоляционными слоями / В.М. Сиденко, О.Т. Батраков, Ю.А. Покутнев // Москва : Транспорт, 1984. – 143 с.

147. Сиденко, В.М. Расчёт и регулирование водно-теплового режима автомобильных дорог в степных районах и применение его закономерностей при проектировании дорожных конструкций : дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.11 / Сиденко Владимир Михайлович. – Харьков, 1965. – 551 с.

148. Сиденко, В.М. Расчёт и регулирование водно-теплового режима дорожных одежд и земляного полотна / В.М. Сиденко. – Москва : Автотрансиздат, 1962. – 116 с.

149. Сильянов, В.В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог / В.В. Сильянов. – Москва : Транспорт, 1984. – 287 с.

150. СНиП 2.05.02-85*. Автомобильные дороги. – Москва : ФГУП ЦПП, 2007. – 54 с.

151. СНиП 23-01-99. Строительная климатология. – Москва : Госстрой России, 2000. – 71 с.

152. СНиП II.Д-5-62. Автомобильные дороги общей сети Союза ССР. Нормы проектирования. – Москва : Из-во литературы по строительству, 1964. – 39 с.

153. Сонечкин, Д.М. Об объективной классификации метеорологических явлений и ситуаций с помощью ЭВМ / Д.М. Сонечкин // Метеорология и гидрология. – 1968. – № 5. – С. 12-21.

154. СП 121.13330.2019. Аэродромы / Минстрой России. – Москва, 2019. – 98 с.

155. СП 131.13330.2025. Строительная климатология. – Москва : Российский институт стандартизации, 2025. – 238 с.

156. СП 313.1325800.2017. Дороги автомобильные в районах вечной мерзлоты. Правила проектирования и строительства. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 77 с.

157. СП 34.13330.2021. Автомобильные дороги / Минстрой России. – Москва, 2021. – 94 с.

158. Справочная энциклопедия дорожника (СЭД). Т. V. Проектирование автомобильных дорог / Г.А. Федотов, П.И. Поспелов, Э.К. Кузахметова, В.Д. Казарновский и др.; под ред. Г.А. Федотова и П.И. Поспелова. – Москва : Информавтодор, 2007. – 668 с.

159. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В.С. Королюк, Н.И. Портенко, А.В. Скороход, А.Ф. Турбин. – Москва : Наука. Главная редакция физико-математической литератруры, 1985. – 640 с.

160. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: методы планирования эксперимента / Н. Джонсон, Ф. Лион; пер. с англ. под ред. Э.К. Лецкого, Е.В. Марковой. – Москва : Мир, 1981. – 516 с.

161. СТО 218.3.001-2006. Проектирование и устройство теплоизолирующих слоев из экструдированного пенополистирола «STYROFOAM» на автомобильных дорогах России. – Москва, 2006. – 55 с.

162. Стрижевский, А.М. Развитие и обоснование метода оценки прочности нежёстких дорожных одежд в нерасчётные периоды года : автореф. Дис.

… канд.техн. наук : 05.23.11 / Стрижевский Александр Моисеевич. – Гос. дорож. науч.- исслед. ин-т. – Москва, 2003. – 24 с.

163. Строительная климатология: Справочное пособие к СНиП 23-01-99* / под ред чл.-кор. Савина В.К. – Москва : НИИ строительной физики РААСН, 2006. – 258 с.

164. Суслов, С.П. Западная Сибирь: Физико-географическая характеристика / С.П. Суслов; отв. ред. А.А. Григорьев, Г.Д. Рихтер; Институт географии АН СССР. – Москва : ОГИЗ-Географгиз, 1947. – 176 с.

165. Сухоруков, А.В. Обоснование региональных норм проектирования дорожных одежд с учётом изменчивости геокомплекса территорий / А.В. Сухоруков // Вестник ТГАСУ. – 2016. – № 4. – С. 159–169.

166. Сухоруков, А.В. Обоснование региональных расчётных значений характеристик глинистых грунтов для проектирования дорожных одежд в условиях Западной Сибири: дис. … канд. техн. наук / А.В. Сухоруков. – Омск, 2017. – 166 с.

167. Схема размещения, использования и охраны охотничьих угодий на территории Ямало-Ненецкого автономного округа. – URL: https://dprr.yanao.ru/documents/active/15460/ (дата обращения: 25.02.2023).

168. ТДН 218.001-98. Территориальные отраслевые дорожные нормы по дорожно-климатическому районированию территории Архангельской области /Администрация Архангельской области. – Архангельск, 1999. – 10 с.

169. Типы местности и природное районирование Читинской области. – Москва : Изд-во АН СССР, 1961. – 158 с.

170. Транспортная инфраструктура ЯНАО. – URL: https://map.yanao.ru/eks/transport_map (дата обращения: 07.03.2022).

171. Тулаев, А.Я. Регулирование водного режима земляного полотна на автомобильных дорогах / А.Я. Тулаев // Проектирование и возведение

земляного полотна железных и автомобильных дорог. – Москва : Изд-во АН СССР, 1950. – С. 88–163.

172. Углова, Е.В. Анализ зарубежного опыта исследований дорожных конструкций на крупномасштабных моделях / Е.В. Углова, С.С. Саенко. – URL: http://www.crdtech.ru/index.php/publications/articles/57-2013-02-11-20-59-52 (дата обращения: 05.12.2023).

173. Углова, Е.В. Теоретические и методологические основы оценки остаточного усталостного ресурса асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог : дис. ... д-ра техн. наук / Углова Евгения Владимировна. – Ростов-на-Дону, 2009. – 371 с.

174. Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» // КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_77904/ (дата обращения: 17.04.2026).

175. Федеральный закон от 13.07.2020 г. № 193-ФЗ «О государственной поддержке предпринимательской деятельности в Арктической зоне Российской Федерации» // КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_357078/ (дата обращения: 17.04.2026).

176. Федина, А.Е. Проблема физико-географического районирования. Современное состояние и перспективы исследований : автореф. дис. … докт. техн. наук. – Москва, 1972. – 32 с.

177. Федюк, Р.С. Необходимость актуализации дорожно-климатического районирования Юга Дальнего Востока / Р.С. Федюк [и др.] // Вестник СибАДИ. – 2015. – Вып. 4 (44). – С. 90–99.

178. Фельдман, Г.М. Методы расчёта температурного режима мерзлых грунтов / Г.И. Фельдман. – Москва : Наука, 1973. – 254 с.

179. ФСНБ-2022 Приказ Минстроя России от 30 декабря 2021 г. № 1046/пр.

180. Хархута, Н.Я. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог / Н.Я. Хархута, Ю.М. Васильев. – Москва : Транспорт, 1975. – 228 с.

181. Хахалкин, В.В. Ландшафтное районирование южных районов Томской области как основа дорожного районирования / В.В. Хахалкан, М.В. Бадина // Кучинские чтения. Материалы юбилейной научной конференции, посвященной 120-летию со дня рождения профессора М.И. Кучина. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 2007. – С. 143–146.

182. Хромов, С.П. Метеорологический словарь / С.П. Хромов, Л.И. Мамонтова. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1974. – 568 с.

183. Цернант, А.А. Инновационные технологии управления температурой грунтовых массивов транспортных сооружений в арктических широтах / А.А. Цернант // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2013. – № 3. – С. 26–31.

184. Чахлов, М. Г. Совершенствование противопучинной защиты дорожных конструкций с применением капиллярного барьера в эксплуатируемом земляном полотне : дис. … канд. техн. наук / Чахлов Михаил Геннадьевич, 2024. – 162 с. – EDN QRCQXV.

185. Шестаков, В.Н. Основы прогнозирования теплофизического режима в технологии дорожного строительства : автореф. дис. … д-ра техн. наук : 05.23.11 / Шестаков Владимир Николаевич. – Омск, 1997. – 36 с.

186. Энциклопедия Сибири. – URL: https://encyclopediaofsiberia.tilda.ws/main (дата обращения: 08.10.2024)

187. Якушев, В.В. Нефтегазовая житница страны / В.В. Якушев. – URL: http://www.rusoil.ru/opinions/o09_06_39.html (дата обращения: 25.02.2022).

188. Ямало-Ненецкая опорная зона развития Арктики. – URL: https://invest.yanao.ru/bitrix/templates/yamalinvest/assets/img/!.pdf (дата обращения: 25.02.2023).

189. Ярмолинский, А.И. Дорожно-климатическое районирование Сахалинской области / А.И. Ярмолинский, И.Н. Пугачев, А.П. Пичкунов, О.И. Елизарова; [главный редактор Л.А. Суевалова]; Министерство образования и науки Российской Федерации, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тихоокеанский государственный университет». – Хабаровск : Изд-во ТОГУ, 2016. – 241 с.

190. Ярмолинский, А.И. Проектирование конструкций автомобильных дорог с учетом природно-климатических особенностей Дальнего Востока. / А.И. Ярмолинский, В.А. Ярмолинский. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеанского гос. ун-та, 2005. – 197 с.

191. Ярмолинский, В.А. Оптимизация развития и модернизации региональной автодорожной сети Дальневосточного федерального округа : дис. … д-ра техн. наук: 05.23.11 / Ярмолинский Владимир Апполинарьевич. – Хабаровск, 2006. – 365 с.

192. AASHO Road Test: History and Description of Project / National Research Council (U.S.), Highway Research Board, American Association of State Highway Officials. – Washington.: National Academy of Sciences. – Publication 816. – 1961.

193. Cary, C.E. Resilient Modulus for Unsaturated Unbound Materials / C.E. Cary, C.E. Zapata // Road Materials and Pavement Design. – 2011. – V. 12. – № 3. – P. 615–638.

194. Choi, J.H. Validation of Permanent Deformation Model for Flexible Pavement using Accelerated Pavement Testing / J.H. Choi, Y.G.Seo, Y.C. Suh // Journal of The Korean Society of Civil Engineers. – 2009. – V. 29. – № 4D. – P. 491–497.

195. Efimenko, Vladimir N. Accounting for natural-climatic conditions in the design of roads in western Siberia / Vladimir N. Efimenko, Sergey V. Efimenko, Alexey V. Sukhorukov // Sciences in Cold and Arid Regions.

Volume 7. Issue 4. August. 2015. P. 307–315. DOI: 10.3724/SP.J.1226.2015.00307.

196. Hall, K. Predicting Subgrade Moisture Content for Low-Volume Pavement Design Using in Situ Moisture Content Data / Kevin Hall, Rao Shreenath // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. – 1999. – № 1.

197. Hastings, N.A.J. Statistical distributions a handbook for students and practitioners / N.A.J. Hastings, Brian Peacock. – New York, Wiley, 1975. – 130 p .652. – P. 98–106.

198. Jianxun, Zhang, Xuesong Mao. Analysis of liquid–vapor mixed migration mechanism in unsaturated soil based on the effect of temperature on soil microstructure. Sci Rep 13, 20542 (2023).

199. Kersten, M.S. Application of AASHO Road Test results to design of flexible pavements in Minnesota / Miles S. Kersten, Eugene L. Skok Jr. // Highway Research Record. – 1969. – № 291. – P. 70–88.

200. Levenberg, E Validation of NCAT Structural Test Track Experiment Using INDOT APT Facility: Final Report / Eyal Levenberg, Rebecca S. McDaniel, Jan Olek // Joint Transportation Research Program (JTRP), Report FHWA/IN/JTRP-2008. – 2009. – Т. 26. – 174 p.

201. Lippert, D.L. Illinois DOT From the AASHO Road Test To 20 Years of Mechanistic Pavement Experience … and Counting. – URL: http://www.webpages.uidaho.edu/bayomy/trb/afd60/TRB2008/Pres_4_IllinoisDOT.pdf (дата обращения: 08.06.2023).

202. Metcalf, J.B. Application of Full-Scale Accelerated Pavement Testing / Metcalf John B. // Transportation Research Board. – 1996. – Vol. 235. – 11 p.

203. Mitchell, T.M. WesTrack: Performance Testing for Quality Roads / T.M. Mitchell // Publication No. – FHWA-SA-97-038, Washington, DC. – 1997.

204. Powell, R.B. As-Built Properties of Experimental Sections on the 2000 NCAT Pavement Test Track / Powell R. Buzz // NCAT Report. – 2001.

205. Qiao, Y. Examining Effects of Climatic Factors on Flexible Pavement Performance and Service Life / Qiao Y., Flintsch G., Dawson A., Parry T. // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. – 2013. – №. 2349. – P. 100–107.

206. Quenouille, M. H. Rapid statistical calculations: a collection of distribution-free and easy methods of estimation and testing. – London: Griffin, 1972. – 104 p.

207. Richlinien fur die Standartisierung des Oberbaues von Verkehrsfiuchen RStO 01. – Ausgabe, 2001.

208. Russam, K. and J. D. Coleman (1969) The Effect of Climatic Factors on Subgrade Moisture Conditions // Geotechnique. Vol. XI, No. 1, March 1961. – P. 22–28.

209. Spesial report 61-G: The AASHO Road Test, Report 7, Summary Report. Highway Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1962.

210. Tompkins, D. MnROAD Lessons Learned / Derek Tompkins, Lev Khazanovich // Research Reports. – No. MN/RC-2007-06. – 2007. – 63 p.

211. Williams, R. Comparison of Laboratory Wheel-Tracking Test Results With Wes Track Performance / Williams, R., Brian Prowell // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. – 1999. – № 1681. – P. 121–128.

212. Zapata C.E. and Houston W.N. Calibration and validation of the enhanced integrated climatic model for pavement design. – Washington, D.C. Transportation Research Board, 2008. – 62 p.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А. Свидетельства о государственной регистрации



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2022621557

Показатели элементов геокомплекса Ямало-Ненецкого автономного округа

Правообладатель: ***Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет» (RU)***

Авторы: ***Ефименко Сергей Владимирович (RU), Ефименко Владимир Николаевич (RU), Зголич Ирина Андреевна (RU), Сиволап Виталий Евгеньевич (RU), Чарыков Юрий Михайлович (RU), Трофимов Алексей Эдуардович (RU), Чурилин Владимир Сергеевич (RU), Сухоруков Алексей Владимирович (RU)***

Заявка № **2022620960**
Дата поступления **05 мая 2022 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре баз данных ***01 июля 2022 г.***

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2026615861

Определение расчетной влажности песчаных грунтов рабочего слоя земляного полотна автомобильных дорог

Правообладатель: ***Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет» (RU)***

Авторы: ***Ефименко Сергей Владимирович (RU), Баширова Ирина Андреевна (RU), Петрушкина Татьяна Александровна (RU)***

Заявка № **2026614948**

Дата поступления **25 февраля 2026 г.**

Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ ***03 марта 2026 г.***

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

Приложение Б. Копии документов о внедрении результатов исследования

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
"Томский государственный архитектурно-строительный университет"

пл. Соляная, 2, г. Томск, 634003, телефон (3822) 65-32-61,факс (3822) 65-24-22, e-mail: canc@tsuab.ru
ОКПО 02069295690001, ОГРН 1027000882886 ИНН/КПП 7020000080/701701001

06.02.2026 № 207-05-12

На № _____ от _____

АКТ

об использовании результатов диссертационных исследований

Башировой Ирины Андреевны в учебном процессе ФГБОУ ВО

Томского государственного архитектурно-строительного университета

Результаты исследований аспиранта Башировой И.А. излагают в Томском государственном архитектурно-строительном университете при чтении лекций по дисциплине «Изыскания и проектирование автомобильных дорог» бакалаврам, обучающимся по направлению 08.03.01 «Строительство» (программа подготовки «Автомобильные дороги»), и при чтении лекций по дисциплине «Изыскания и проектирование автомагистралей, аэродромов и специальных сооружений» специалистам, обучающимся по направлению 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений» (программа подготовки «Строительство автомагистралей, аэродромов и специальных сооружений»).

Проректор ТГАСУ по учебной работе к.т.н. Д.Н. Песцов

ДЕПАРТАМЕНТ
ТРАНСПОРТА И ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА
ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

ул. Зои Космодемьянской, д. 43, г. Салехард,
Ямало-Ненецкий автономный округ, 629008,
тел.: (34922) 7-74-46, e-mail: dtdh@yanao.ru, сайт: www.dtidh.yanao.ru

05.02.2026 № 89-28/01-04/391

АКТ
о внедрении результатов исследований, приведённых в диссертационной работе на соискание учёной степени кандидата технических наук, Башировой Ирины Андреевны в практике проектирования и эксплуатации автомобильных дорог на территории Ямало-Ненецкого автономного округа

Настоящим актом подтверждаем, что результаты исследований, отражённых в диссертационной работе Башировой Ирины Андреевны по научной специальности 2.1.8 – «Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей» имеют прикладное значение при проектировании, строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог на территории Ямало-Ненецкого автономного округа (в пределах границ I дорожно-климатической зоны).

Исследования Башировой И.А. посвящены уточнению границ дорожно-климатических подзон и детализации занимаемых ими территорий в таксономической системе «зона – подзона – дорожный район», а также обоснованию расчётных значений влажности грунтов активной зоны земляного полотна для выделенных дорожных районов.

Заместитель директора департамента

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
СВЕДЕНИЯ О СЕРТИФИКАТЕ ЭП
Сертификат:
33375134025600928323107082677329288151 8
Владелец: Редькин Денис Владимирович
Действителен с 26.06.2025 по 19.09.2026

Д.В. Редькин

Приложение В. Свидетельства о поверке оборудования



Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии
Федеральное бюджетное учреждение
«Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Томской области»

СЕРТИФИКАТ

О КАЛИБРОВКЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ № 4016/202

Наименование СИ Рулетка измерительная металлическая от 0 до 50 м

Заводской номер 10711

Принадлежащее ФГБОУ ВО «ТГАСУ»

ИНН 7020000080

Действительные значения метрологических характеристик приведены на оборотной стороне

Условия проведения калибровки: температура окружающего воздуха 21 °С; относительная влажность 45%

Инженер по метрологии 2 категории — Должность руководителя или специалиста, проводившего калибровку

подпись

А.Э. Краснобородько — инициалы, фамилия

«08» июля 2021 г.

Томский ЦСМ ИНН 7018002597

045134

Система менеджмента качества ФБУ «Томский ЦСМ» сертифицирована на соответствие требованиям стандарта ИСО 9001. 634012, Томская обл., г.Томск, ул.Косарева, 17а.
Телефон: (3822) 554-486, 562-459. E-mail: tomsk@tcsms.tomsk.ru. Сайт: http://tomskcsm.ru.

ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Проверяемые точки в диапазоне измерений, мм	Измеренное значение величины, мм
1000	999,95
2000	1999,95
3000	2999,90
4000	3999,90
5000	4999,85
10000	9999,80
15000	14999,90
20000	19999,90
25000	24999,90
30000	29999,80
35000	34999,80
40000	39999,90
45000	44999,90
50000	49999,90

Инженер по метрологии 2 категории — Должность руководителя или специалиста, проводившего калибровку

подпись

А.Э. Краснобородько — инициалы, фамилия

«08» июля 2021г.

СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ "ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И ИСПЫТАНИЙ ИМ. Б.А. ДУБОВИКОВА В САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ"(ФБУ "САРАТОВСКИЙ ЦСМ ИМ. Б.А. ДУБОВИКОВА")

наименование аккредитованного в соответствии с законодательством Российской Федерации об аккредитации в национальной системе аккредитации юридического лица или индивидуального предпринимателя, выполнившего поверку

Уникальный номер записи об аккредитации в реестре аккредитованных лиц № RA.RU.311232

СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ № С-ВУ/06-07-2021/76224970

Действительно до 05.07.2022

Средство измерений: Рейки дорожные универсальные; КП-231С; КП-231С; Рег. № 37340-08
наименование и обозначение типа, модификация (при наличии) средства измерений, регистрационный номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений, присвоенный при утверждении типа

заводской номер: 2544
заводской (серийный) номер или буквенно-цифровое обозначение

в составе

поверено: в полном объеме
наименование единиц величин, диапазонов измерений, на которых поверено средство измерений

или которые исключены из поверки

в соответствии с: СДТ343.00.00.000 МП
наименование или обозначение документа, на основании которого выполнена поверка

с применением эталонов: 3.1.ZBУ.0008.2012, 2535-69 Меры длины плоскопараллельные концевые из твердого сплава МКП 697 1980 Эталон 3-го разряда приказ 2840 от 29.12.2018 г.
регистрационные номера эталонов и (или) наименования и обозначения типов стандартных образцов и (или) средств измерений, заводские номера, обязательные требования к эталонам

при следующих значениях влияющих факторов: температура: 20,5; атм. давление: 99,6; отн. влажность: 46,5
перечень влияющих факторов, при которых проводилась поверка, с указанием их значений

и на основании результатов первичной поверки признано **пригодным** к применению.

Постоянный адрес записи сведений о результатах поверки в ФИФ ОЕИ: https://fgis.gost.ru/fundmetrology/cm/results/1-76224970

Номер записи сведений о результатах поверки в ФИФ ОЕИ: 76224970

Поверитель: Карпова Т.В.
фамилия, инициалы

Знак поверки: IIIG 2 1 ВУ

И.о. начальника отдела		Переходенко Т.Ю.
должность руководителя или другого уполномоченного лица	подпись	фамилия, инициалы

Дата поверки: 06.07.2021

Выписка о результатах поверки СИ №С-ВУ/06-07-2021/76224970 сформирована автоматически 07.07.2021 07:57 по данным, содержащимся в ФИФ ОЕИ

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии
Федеральное бюджетное учреждение
«Государственный региональный центр стандартизации,
метрологии и испытаний в Томской области»
Регистрационный номер аттестата аккредитации: RA.RU.311225
Срок действия аттестата по аккредитации – бессрочно.
Дата внесения сведений в реестр аккредитованных лиц
в области обеспечения единства измерений: 17.07.2015 г.

Выписка
из Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений

Владелец СИ **ФГБОУ ВО ТГАСУ**

Дата поверки	Рег. номер типа СИ	Наименование СИ	Тип СИ	Заводской № Буквенно-цифровое обозначение	Пригодность	Разряд эталона	Примечание
01.07.21	40215-08	Нивелиры	NA 720	5130613	Да		Клеймо

МП

Результаты поверки средств измерений (далее СИ) подтверждаются сведениями о результатах поверки СИ, включенными в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений (далее ФИФ). Сведения о результатах поверки публикуются в ФИФ в сроки, не превышающие 25 рабочих дней (для СИ, применяемых в качестве эталона) и 45 рабочих дней (для остальных СИ) с даты проведения поверки СИ.

Электронный адрес Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерения:
https://fgis.gost.ru/fundmetrology/cm/results/

634012, Томская обл., г. Томск, ул. Косарева, 17а. Телефон: (3822) 554-486, 562-459.
E-mail: tomsk@tcsms.tomsk.ru. Сайт: http://tomskcsm.ru.

Счёт № 0000-009552

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии
Федеральное бюджетное учреждение
«Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Томской области»

СЕРТИФИКАТ

О КАЛИБРОВКЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ № 5112/202

Наименование СИ Рейка нивелирная телескопическая, от 0 до 4 м

Заводской номер АД-118019-02

Принадлежащее ФГБОУ ВО «ТГАСУ»

ИНН 7020000080

Действительные значения метрологических характеристик:

Средняя длина метрового интервала составляет 1000.8 мм

Условия проведения калибровки: температура окружающего воздуха 22 °С; относительная влажность воздуха 45 %

Инженер по метрологии 1-ой категории — И.В. Гореницкий

Должность руководителя и.в. специалиста, проводившего калибровку — подпись — инициалы, фамилия

«02» июля 2021 г.

026770

Система менеджмента качества ФБУ «Томский ЦСМ» сертифицирована на соответствие требованиям стандарта ИСО 9001. 634012, Томская обл., г.Томск, ул.Косарева, 17а.
Телефон: (3822) 554-486, 562-459. E-mail: tomsk@csms.tomsk.ru. Сайт: http://tomskcsm.ru.

ФБУ «Томский ЦСМ» 634012, Россия, г. Томск, ул. Косарева, 17-а. Телефон: (3822) 55-44-86, 56-24-59 E-mail: tomsk@tcsms.tomsk.ru	ПРОТОКОЛ ИЗМЕРЕНИЙ	Сертификат соответствия системы менеджмента качества № 19.0278.026 от 13.03.2019 г.
		Лист 1 из листов 1

№ 0158/202 от « 27 » июля 2021 г.

Наименование детали Кольцо
наименование, тип

заводской номер (номера) 120

принадлежащее ФГБОУ ВО ТГАСУ
наименование юридического (физического) лица

измерения проведены в соответствии с технической документацией

с применением эталонов и средств измерений: штангенциркуль цифровой серии 500
наименование, заводской номер, разряд, класс или погрешность
№ 0008873, ПГ± 0,03 мм

при следующих значениях влияющих факторов: температура окружающего воздуха 22 ^{0}С; атмосферное давление 99,1 кПа; относительная влажность 40 %

Результаты измерений приведены в таблице:

Контролируемый параметр	Измеренное значение параметра
Диаметр отверстия, мм	120,11

И. о. начальника ОГМСИ _____ (подпись) Т.В. Галицкая (инициалы, фамилия)

Исполнитель _____ (подпись) Л.А. Грибанова (инициалы, фамилия)

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии
Федеральное бюджетное учреждение
«Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Томской области»

СЕРТИФИКАТ

О КАЛИБРОВКЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ № 6164/202

Наименование СИ: Индикатор часового типа с ценой деления 0,01 мм, ИЧ-10

Заводской номер: 627006

Принадлежащее: ФГБОУ ВО ТГАСУ

ИНН: 7020000080

Действительные значения метрологических характеристик:

информация представлена на оборотной стороне

Условия проведения калибровки: температура окружающего воздуха 23 °С; относительная влажность 50 %

Инженер по метрологии 1 категории		Л.А. Грибанова
Должность руководителя или специалиста, проводившего калибровку	подпись	инициалы, фамилия

«21» июля 2021 г.

044579

Система менеджмента качества ФБУ «Томский ЦСМ» сертифицирована на соответствие требованиям стандарта ИСО 9001. 634012, Томская обл., г.Томск, ул.Косарева, 17а.
Телефон: (3822) 554-486, 562-459. E-mail: tomsk@tcsms.tomsk.ru. Сайт: http://tomskcsm.ru.

ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Проверяемые точки в диапазоне измерений, обороты	Фактическое значение наибольшей погрешности, мкм		
	На участке в 1 мм	На любом участке в 1 мм	На всем диапазоне измерений
0-1	4	8	12
1-2	7		
2-3	8		
3-4	6		
4-5	7		
5-6	3		
6-7	2		
7-8	3		
8-9	4		
9-10	4		

Инженер по метрологии 1 категории — Должность руководителя или специалиста, проводившего калибровку

подпись

Л.А. Грибанова — инициалы, фамилия

«21» июля 2021г.

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии
Федеральное бюджетное учреждение
«Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Томской области»
Регистрационный номер аттестата аккредитации: RA.RU.311225
Срок действия аттестата по аккредитации – бессрочно
Дата внесения сведений в реестр аккредитованных лиц в области обеспечения единства измерений: 17.07.2015 г.

Выписка
из Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений

Владелец СИ **ФГБОУ ВО "Томский государственный архитектурно-строительный университет"**

Дата поверки	Рег. номер типа СИ	Наименование СИ	Тип СИ	Заводской №/ Буквенно-цифровое обозначение	Пригодность	Разряд эталона	Примечание
22.07.21	15086-01	Гири	2 кг, F2	МЕ-216528	Да		-

МП

Результаты поверки средств измерений (далее СИ) подтверждаются сведениями о результатах поверки СИ, включенными в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений (далее ФИФ). Сведения о результатах поверки публикуются в ФИФ в сроки, не превышающие 25 рабочих дней (для СИ, применяемых в качестве эталона) и 45 рабочих дней (для остальных СИ) с даты проведения поверки СИ.

Электронный адрес Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерения: https://fgis.gost.ru/fundmetrology/cm/results/

634012, Томская обл., г.Томск, ул.Косарева, 17а. Телефон: (3822) 554-486, 562-459.
E-mail: tomsk@tcsms.tomsk.ru. Сайт: http://tomskcsm.ru.

Счёт № 0000-009554

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии
Федеральное бюджетное учреждение
«Государственный региональный центр стандартизации,
метрологии и испытаний в Томской области»
Регистрационный номер аттестата аккредитации: RA.RU.311225
Срок действия аттестата по аккредитации – бессрочно.
Дата внесения сведений в реестр аккредитованных лиц
в области обеспечения единства измерений: 17.07.2015 г.

Выписка
из Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений

Владелец СИ **ФГБОУ ВО ТГАСУ**

Дата поверки	Рег. номер типа СИ	Наименование СИ	Тип СИ	Заводской №/ Буквенно-цифровое обозначение	Пригодность	Разряд эталона	Примечание
29.06.21	26646-04	Весы	МК-32.2-А20	63798	Да		
29.06.21	18785-00	Весы	Adventurer ARA-520	1122280331	Да		

МП

Результаты поверки средств измерений (далее СИ) подтверждаются сведениями о результатах поверки СИ, включенными в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений (далее ФИФ). Сведения о результатах поверки публикуются в ФИФ в сроки, не превышающие 25 рабочих дней (для СИ, применяемых в качестве эталона) и 45 рабочих дней (для остальных СИ) с даты проведения поверки СИ.

Электронный адрес Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерения:
https://fgis.gost.ru/fundmetrology/cm/results/

634012, Томская обл., г.Томск, ул.Косарева, 17а. Телефон: (3822) 554-486, 562-459.
E-mail: tomsk@tcsms.tomsk.ru. Сайт: http://tomskcsm.ru.
Счёт № 0000-009554

Приложение Г. Сметная документация

Наименование программного продукта	Гектор: Сметчик-строитель
Наименование редакции сметных нормативов	Дополнение 10 (приказ Минстроя РФ от 13.05.2024 № 323/пр)
Реквизиты приказов об утверждении дополнений и изменений к сметным нормативам	ГЭСН 2022 (приказ Минстроя РФ 1046/пр от 30.12.2021 г.), дополнение 1 (приказ Минстроя РФ 378/пр от 18.05.2022 г.), дополнение 2 (приказ Минстроя РФ № 703/пр от 26.08.2022), дополнение 3 (приказ Минстроя РФ № 905/пр от 26.10.2022), дополнение 4 (приказ Минстроя РФ № 1133/пр от 27.12.2022), дополнение 5 (приказ Минстроя РФ № 84/пр от 10.02.2023), дополнение 6 (приказ Минстроя РФ от 11.05.2023 № 335/пр), дополнение 7 (приказ Минстроя РФ от 02.08.2023 № 551/пр), дополнение 8 (приказ Минстроя РФ от 14.11.2023 № 817/пр), дополнение 9 (приказ Минстроя РФ от 16.02.2024 № 102/пр), дополнение 10 (приказ Минстроя РФ от 13.05.2024 № 323/пр)
Реквизиты письма Минстроя России об индексах изменения сметной стоимости строительства, включаемые в федеральный реестр сметных нормативов и размещаемые в федеральной государственной информационной системе ценообразования в строительстве, подготовленного в соответствии с пунктом 85 Методики расчета индексов изменения сметной стоимости строительства, утвержденной приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 5 июня 20l9 г. № 326/пр	Письмо Минстроя России от 25.02.2026 № 9859-ИФ/09
Реквизиты нормативного правового акта об утверждении оплаты труда, утверждаемый в соответствии с пунктом 22 (1) Правилами мониторинга цен, утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации от 23 декабря 20l6 г. № 1452	Постановление Правительства Ямало-Ненецкого автономного округа от 12.03.2025 № 138-П
Обоснование принятых текущих цен на строительные ресурсы	
Наименование субъекта Российской Федерации	Ямало-Ненецкий автономный округ (5 зона)
Наименование зоны субъекта Российской Федерации	

БАШИРОВА И.А.

ЛОКАЛЬНЫЙ СМЕТНЫЙ РАСЧЕТ (СМЕТА) № 02-01-01

Составлен ресурсно-индексным методом

Основание

Составлен(а) в текущем уровне цен 1 кв. 2026 г.

Сметная стоимость	122 328.003 тыс.руб.	Средства на оплату труда рабочих	1945.832 тыс.руб.
в том числе:		Средства на оплату труда машинистов	1026.703 тыс.руб.
строительных работ	122 328.003 тыс.руб.	Нормативные затраты труда рабочих	2 188.85 чел.час
монтажных работ	- тыс.руб.	Нормативные затраты труда	1 930.15 чел.час
оборудования	- тыс.руб.	машинистов	
прочих затрат	- тыс.руб.		

NN пп	**Обоснование**	**Наименование работ и затрат**	**Единица измерения**	**Количество**			**Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.**				
				на единицу измерения	**коэффициенты**	**всего с учетом коэффициентов**	**на единицу измерения в базисном уровне цен**	**индекс**	**на единицу измерения в текущем уровне цен**	**коэффициенты**	**всего в текущем уровне цен**
1	ГЭСН 27-04-001-01	Устройство подстилающих и выравнивающих слоев оснований: из песка	100 м3	67.68		67.68					
	1	ОТ (ЗТ)	чел.-ч			974.592					823 354.81

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
	1-100-23	Средний разряд работ 2,3	чел.-ч	14.4	1	974.592			844.82	1	823 354.81
	2	ЭМ									2 682 149.00
		ОТм (ЗТм)	чел.-ч			939.3984					515 968.00
	91.01.02-004	Автогрейдеры среднего типа, мощность 99 кВт (135 л.с.)	маш.-ч	1.77	1	119.7936	1 481.07	1.93	2 857.50	1	342 310.00
	4-100-060	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 6.00	чел-ч.	1.77	1	119.7936			583.00	1	69 868.42
	91.06.05-011	Погрузчики одноковшовые универсальные фронтальные пневмоколесные, номинальная вместимость основного ковша 2,6 м3, грузоподъемность 5 т	маш.-ч	4.29	1	290.3472			1 481.46	1	430 138.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	4.29	1	290.3472			499.00	1	144 880.35
	91.08.03-030	Катки самоходные пневмоколесные статические, масса 30 т	маш.-ч	7.08	1	479.1744	1 939.67	1.98	3 841.22	1	1 840 614.00
	4-100-060	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 6.00	чел-ч.	7.08	1	479.1744			583.00	1	279 473.68
	91.13.01-038	Машины поливомоечные, вместимость цистерны 6 м3	маш.-ч	0.74	1	50.0832	706.71	1.95	1 379.43	1	69 086.00
	4-100-040	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 4.00	чел-ч.	0.74	1	50.0832			434.00	1	21 745.62
	4	М									39 395.00
	01.7.03.01-0001	Вода	м3	5	1	338.4	35.71	3.26	116.41	1	39 395.00
	02.3.01.02	Песок для строительных работ природный	м3	0	1	7444.8					

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
		Итого прямые затраты									**4 060 866.00**
	02.3.01.02-1126	Песок природный для дорожного строительства I класс, средний, квадратные сита	м3	110	1	7 444.8	650.20	2.19	1 423.94	1	10 600 934.00
		Всего по позиции							**216 634.17**		**14 661 800.00**
2	ГЭСН 27-04-005-03	Устройство оснований толщиной 15 см из щебня фракции 40-70 мм при укатке каменных материалов с пределом прочности на сжатие свыше 98,1 МПа (1000 кгс/см2): нижнего слоя двухслойных	1000 м2	8.15		8.15					
	1	ОТ (ЗТ)	чел.-ч			233.09					200 434.09
	1-100-25	Средний разряд работ 2,5	чел.-ч	28.6	1	233.09			859.90	1	200 434.09
	2	ЭМ									439 459.00
		ОТм (ЗТм)	чел.-ч			251.02					124 131.00
	91.01.01-034	Бульдозеры, мощность 59 кВт (80 л.с.)	маш.-ч	2.35	1	19.1525	441.51	2.23	983.42	1	18 835.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	2.35	1	19.1525			499.00	1	9 556.91
	91.01.02-004	Автогрейдеры среднего типа, мощность 99 кВт (135 л.с.)	маш.-ч	0.36	1	2.934	1 481.07	1.93	2 857.50	1	8 384.00
	4-100-060	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 6.00	чел-ч.	0.36	1	2.934			583.00	1	1 711.23
	91.06.05-011	Погрузчики одноковшовые универсальные фронтальные пневмоколесные, номинальная вместимость основного ковша 2,6 м3, грузоподъемность 5 т	маш.-ч	3.69	1	30.0735			1 481.46	1	44 553.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	3.69	1	30.0735			499.00	1	15 006.38

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
	91.08.03-013	Катки самоходные гладкие вибрационные, масса 9 т	маш.-ч	14.6	1	118.99			1 919.09	1	228 353.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	14.6	1	118.99			499.00	1	59 374.82
	91.08.03-016	Катки самоходные гладкие вибрационные, масса 8 т	маш.-ч	7.2	1	58.68			1 876.36	1	110 105.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	7.2	1	58.68			499.00	1	29 280.73
	91.13.01-038	Машины поливомоечные, вместимость цистерны 6 м3	маш.-ч	2.6	1	21.19	706.71	1.95	1 379.43	1	29 230.00
	4-100-040	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 4.00	чел-ч.	2.6	1	21.19			434.00	1	9 200.49
	4	М									11 595 715.00
	01.7.03.01-0001	Вода	м3	20	1	163	35.71	3.26	116.41	1	18 976.00
	02.2.05.04-2110	Щебень из плотных горных пород для строительных работ М 1200, фракция 40-80(70) мм	м3	189	1	1 540.35	2 898.44	2.59	7 515.58	1	11 576 739.00
		Итого прямые затраты									**12 359 739.00**
		Всего по позиции							**1 516 532.35**		**12 359 739.00**
3	ГЭСН 27-04-005-02	Устройство оснований толщиной 15 см из щебня фракции 40-70 мм при укатке каменных материалов с пределом прочности на сжатие свыше 98,1 МПа (1000 кгс/см2): верхнего слоя двухслойных	1000 м2	8.45		8.45					
	1	ОТ (ЗТ)	чел.-ч			278.85					239 783.12

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
	1-100-25	Средний разряд работ 2,5	чел.-ч	33	1	278.85			859.90	1	239 783.12
	2	ЭМ									735 098.00
		ОТм (ЗТм)	чел.-ч			399.0935					198 859.00
	91.01.02-004	Автогрейдеры среднего типа, мощность 99 кВт (135 л.с.)	маш.-ч	1.6	1	13.52	1 481.07	1.93	2 857.50	1	38 633.00
	4-100-060	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 6.00	чел-ч.	1.6	1	13.52			583.00	1	7 885.40
	91.06.05-011	Погрузчики одноковшовые универсальные фронтальные пневмоколесные, номинальная вместимость основного ковша 2,6 м3, грузоподъемность 5 т	маш.-ч	7.96	1	67.262			1 481.46	1	99 646.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	7.96	1	67.262			499.00	1	33 563.07
	91.08.03-013	Катки самоходные гладкие вибрационные, масса 9 т	маш.-ч	23.9	1	201.955			1 919.09	1	387 570.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	23.9	1	201.955			499.00	1	100 773.53
	91.08.03-016	Катки самоходные гладкие вибрационные, масса 8 т	маш.-ч	10.6	1	89.57			1 876.36	1	168 066.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	10.6	1	89.57			499.00	1	44 694.53
	91.08.07-015	Распределители щебня и гравия навесные на базе самосвала, ширина распределения 3000 мм	маш.-ч	0.57	1	4.8165	1 403.86	1.61	2 258.40	1	10 878.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	0.57	1	4.8165			499.00	1	2 403.39

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
	91.13.01-038	Машины поливомоечные, вместимость цистерны 6 м3	маш.-ч	2.6	1	21.97	706.71	1.95	1 379.43	1	30 306.00
	4-100-040	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 4.00	чел-ч.	2.6	1	21.97			434.00	1	9 539.15
	4	М									13 213 097.00
	01.7.03.01-0001	Вода	м3	30	1	253.5	35.71	3.26	116.41	1	29 511.00
	02.2.05.04-2062	Щебень из плотных горных пород для строительных работ М 1200, фракция 10-20 мм	м3	15	1	126.75	3 136.45	2.97	9 315.26	1	1 180 709.00
	02.2.05.04-2110	Щебень из плотных горных пород для строительных работ М 1200, фракция 40-80(70) мм	м3	189	1	1 597.05	2 898.44	2.59	7 515.58	1	12 002 877.00
		Итого прямые затраты									**14 386 838.00**
		Всего по позиции							**1 702 584.33**		**14 386 838.00**
4	ГЭСН 27-06-031-01	Устройство покрытия из горячих асфальтобетонных смесей асфальтоукладчиками: третьего типоразмера, ширина укладки до 6 м, толщина слоя 4 см Общая толщина слоя 0,12 м ОТ=3, ЭМ=3, М=3, ОТм=3, ЗТ=3, ЗТм=3	1000 м2	8		8					
	1	ОТ (ЗТ)	чел.-ч			399.12					389 868.40
	1-100-37	Средний разряд работ 3,7	чел.-ч	16.63	3	399.12			976.82	1	389 868.40
	2	ЭМ									910 858.00

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
		ОТм (ЗТм)	чел.-ч			188.64					103 776.00
	91.08.01-024	Асфальтоукладчики гусеничные, максимальная ширина укладки 7 м, скорость укладки до 24 м/мин, производительность 600 т/ч	маш.-ч	1.42	3	34.08			6 017.05	1	205 061.00
	4-100-080	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 8.00	чел-ч.	1.42	3	34.08			664.00	1	22 637.30
	91.08.02-002	Автогудронаторы, емкость цистерны 7000 л	маш.-ч	0.33	3	7.92	1 324.58	1.06	1 398.08	1	11 073.00
	4-100-045	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 4.50	чел-ч.	0.66	3	15.84			467.00	1	7 390.79
	91.08.02-011	Гудронаторы ручные	маш.-ч	0.1	3	2.4	8.22	1.61	13.23	1	32.00
	91.08.03-025	Катки самоходные комбинированные вибрационные, масса 7 т	маш.-ч	2.05	3	49.2			1 722.07	1	84 726.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	2.05	3	49.2			499.00	1	24 550.31
	91.08.03-045	Катки самоходные гладкие вибрационные, масса 7 т	маш.-ч	1.6	3	38.4			1 827.82	1	70 188.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	1.6	3	38.4			499.00	1	19 161.22
	91.08.11-031	Перегружатели асфальтовой смеси, емкость бункера до 25 т	маш.-ч	1.42	3	34.08	8 883.76	1.71	15 148.85	1	516 273.00
	4-100-080	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 8.00	чел-ч.	1.42	3	34.08			664.00	1	22 637.30
	91.13.01-038	Машины поливомоечные, вместимость цистерны 6 м3	маш.-ч	0.71	3	17.04	706.71	1.95	1 379.43	1	23 505.00

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
	4-100-040	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 4.00	чел-ч.	0.71	3	17.04			434.00	1	7 398.60
	4	М									15 084.00
	01.3.01.03-0002	Керосин для технических целей	т	0.0028	3	0.0672	62 186.75	1.47	91 414.52	1	6 143.00
	01.7.03.01-0001	Вода	м3	3.2	3	76.8	35.71	3.26	116.41	1	8 941.00
	01.2.01.01	Битумы нефтяные дорожные	т	0.7	3	16.8					
	04.2.01.01	Смеси асфальтобетонные	т	0	3	2299.92					
		Итого прямые затраты									**1 419 586.00**
	01.2.01.01-1008	Битум нефтяной дорожный БНД 100/130	т	0.7	3	16.8	22 876.38	1.48	33 857.04	1	568 798.00
	04.2.01.01-1198	Смеси асфальтобетонные А 32 ОТ на БНД	т	95.83	3	2 299.92	5 229.51	3.46	18 097.87	1	41 623 412.00
		Всего по позиции							**5 451 474.53**		**43 611 796.00**
5	ГЭСН 27-06-031-01	Устройство покрытия из горячих асфальтобетонных смесей асфальтоукладчиками: третьего типоразмера, ширина укладки до 6 м, толщина слоя 4 см	1000 м2	8		8					
	1	ОТ (ЗТ)	чел.-ч			133.04					129 956.13
	1-100-37	Средний разряд работ 3,7	чел.-ч	16.63	1	133.04			976.82	1	129 956.13
	2	ЭМ									303 620.00

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
		ОТм (ЗТм)	чел.-ч			62.88					34 592.00
	91.08.01-024	Асфальтоукладчики гусеничные, максимальная ширина укладки 7 м, скорость укладки до 24 м/мин, производительность 600 т/ч	маш.-ч	1.42	1	11.36			6 017.05	1	68 354.00
	4-100-080	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 8.00	чел-ч.	1.42	1	11.36			664.00	1	7 545.77
	91.08.02-002	Автогудронаторы, емкость цистерны 7000 л	маш.-ч	0.33	1	2.64	1 324.58	1.06	1 398.08	1	3 691.00
	4-100-045	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 4.50	чел-ч.	0.66	1	5.28			467.00	1	2 463.60
	91.08.02-011	Гудронаторы ручные	маш.-ч	0.1	1	0.8	8.22	1.61	13.23	1	11.00
	91.08.03-025	Катки самоходные комбинированные вибрационные, масса 7 т	маш.-ч	2.05	1	16.4			1 722.07	1	28 242.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	2.05	1	16.4			499.00	1	8 183.44
	91.08.03-045	Катки самоходные гладкие вибрационные, масса 7 т	маш.-ч	1.6	1	12.8			1 827.82	1	23 396.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	1.6	1	12.8			499.00	1	6 387.07
	91.08.11-031	Перегружатели асфальтовой смеси, емкость бункера до 25 т	маш.-ч	1.42	1	11.36	8 883.76	1.71	15 148.85	1	172 091.00
	4-100-080	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 8.00	чел-ч.	1.42	1	11.36			664.00	1	7 545.77
	91.13.01-038	Машины поливомоечные, вместимость цистерны 6 м3	маш.-ч	0.71	1	5.68	706.71	1.95	1 379.43	1	7 835.00

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
	4-100-040	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 4.00	чел-ч.	0.71	1	5.68			434.00	1	2 466.20
	4	М									5 028.00
	01.3.01.03-0002	Керосин для технических целей	т	0.0028	1	0.0224	62 186.75	1.47	91 414.52	1	2 048.00
	01.7.03.01-0001	Вода	м3	3.2	1	25.6	35.71	3.26	116.41	1	2 980.00
	01.2.01.01	Битумы нефтяные дорожные	т	0.7	1	5.6					
	04.2.01.01	Смеси асфальтобетонные	т	0	1	766.64					
		Итого прямые затраты									**473 196.00**
	01.2.01.01-1008	Битум нефтяной дорожный БНД 100/130	т	0.7	1	5.6	22 876.38	1.48	33 857.04	1	189 599.00
	04.2.01.01-1188	Смеси асфальтобетонные А 22 НТ на БНД	т	95.83	1	766.64	5 443.62	3.15	17 151.82	1	13 149 224.00
		Всего по позиции							**1 726 502.34**		**13 812 019.00**
6	ГЭСН 27-06-032-01	При изменении толщины покрытия на 0,5 см добавлять или исключать: к норме 27-06-031-01	1000 м2	8		8					
		Общая толщина слоя 0,06 м									
		ОТ=4, ЭМ=4, М=4, ОТм=4, ЗТ=4, ЗТм=4									
	1	ОТ (ЗТ)	чел.-ч			18.56					16 239.81

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
	1-100-27	Средний разряд работ 2,7	чел.-ч	0.58	4	18.56			874.99	1	16 239.81
	2	ЭМ									68 401.00
		ОТм (ЗТм)	чел.-ч			13.12					7 393.00
	91.08.01-024	Асфальтоукладчики гусеничные, максимальная ширина укладки 7 м, скорость укладки до 24 м/мин, производительность 600 т/ч	маш.-ч	0.08	4	2.56			6 017.05	1	15 404.00
	4-100-080	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 8.00	чел-ч.	0.08	4	2.56			664.00	1	1 700.45
	91.08.03-025	Катки самоходные комбинированные вибрационные, масса 7 т	маш.-ч	0.12	4	3.84			1 722.07	1	6 613.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	0.12	4	3.84			499.00	1	1 916.12
	91.08.03-045	Катки самоходные гладкие вибрационные, масса 7 т	маш.-ч	0.13	4	4.16			1 827.82	1	7 604.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	0.13	4	4.16			499.00	1	2 075.80
	91.08.11-031	Перегружатели асфальтовой смеси, емкость бункера до 25 т	маш.-ч	0.08	4	2.56	8 883.76	1.71	15 148.85	1	38 781.00
	4-100-080	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 8.00	чел-ч.	0.08	4	2.56			664.00	1	1 700.45
	04.2.01.01	Смеси асфальтобетонные	т	0	4	383.36					
		Итого прямые затраты									**92 034.00**
	04.2.01.01-1188	Смеси асфальтобетонные А 22 НТ на БНД	т	11.98	4	383.36	5 443.62	3.15	17 151.82	1	6 575 298.00

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
		Всего по позиции							**833 416.48**		**6 667 332.00**
7	ГЭСН 27-06-031-01	Устройство покрытия из горячих асфальтобетонных смесей асфальтоукладчиками: третьего типоразмера, ширина укладки до 6 м, толщина слоя 4 см	1000 м2	8		8					
	1	ОТ (ЗТ)	чел.-ч			133.04					129 956.13
	1-100-37	Средний разряд работ 3,7	чел.-ч	16.63	1	133.04			976.82	1	129 956.13
	2	ЭМ									303 620.00
		ОТм (ЗТм)	чел.-ч			62.88					34 592.00
	91.08.01-024	Асфальтоукладчики гусеничные, максимальная ширина укладки 7 м, скорость укладки до 24 м/мин, производительность 600 т/ч	маш.-ч	1.42	1	11.36			6 017.05	1	68 354.00
	4-100-080	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 8.00	чел-ч.	1.42	1	11.36			664.00	1	7 545.77
	91.08.02-002	Автогудронаторы, емкость цистерны 7000 л	маш.-ч	0.33	1	2.64	1 324.58	1.06	1 398.08	1	3 691.00
	4-100-045	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 4.50	чел-ч.	0.66	1	5.28			467.00	1	2 463.60
	91.08.02-011	Гудронаторы ручные	маш.-ч	0.1	1	0.8	8.22	1.61	13.23	1	11.00
	91.08.03-025	Катки самоходные комбинированные вибрационные, масса 7 т	маш.-ч	2.05	1	16.4			1 722.07	1	28 242.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	2.05	1	16.4			499.00	1	8 183.44
	91.08.03-045	Катки самоходные гладкие вибрационные, масса 7 т	маш.-ч	1.6	1	12.8			1 827.82	1	23 396.00

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	1.6	1	12.8			499.00	1	6 387.07
	91.08.11-031	Перегружатели асфальтовой смеси, емкость бункера до 25 т	маш.-ч	1.42	1	11.36	8 883.76	1.71	15 148.85	1	172 091.00
	4-100-080	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 8.00	чел-ч.	1.42	1	11.36			664.00	1	7 545.77
	91.13.01-038	Машины поливомоечные, вместимость цистерны 6 м3	маш.-ч	0.71	1	5.68	706.71	1.95	1 379.43	1	7 835.00
	4-100-040	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 4.00	чел-ч.	0.71	1	5.68			434.00	1	2 466.20
	4	М									5 028.00
	01.3.01.03-0002	Керосин для технических целей	т	0.0028	1	0.0224	62 186.75	1.47	91 414.52	1	2 048.00
	01.7.03.01-0001	Вода	м3	3.2	1	25.6	35.71	3.26	116.41	1	2 980.00
	01.2.01.01	Битумы нефтяные дорожные	т	0.7	1	5.6					
	04.2.01.01	Смеси асфальтобетонные	т	0	1	767.28					
		Итого прямые затраты									**473 196.00**
	01.2.01.01-1008	Битум нефтяной дорожный БНД 100/130	т	0.7	1	5.6	22 876.38	1.48	33 857.04	1	189 599.00
	04.2.03.01-0008	Смеси асфальтобетонные щебеночно-мастичные ЩМА-16	т	95.91	1	767.28	5 654.02	2.47	13 965.43	1	10 715 395.00
		Всего по позиции							**1 422 273.72**		**11 378 190.00**

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
8	ГЭСН 27-06-032-01	При изменении толщины покрытия на 0,5 см добавлять или исключать: к норме 27-06-031-01	1000 м2	8		8					
		Общая толщина слоя 0,06 м									
		ОТ=4, ЭМ=4, М=4, ОТм=4, ЗТ=4, ЗТм=4									
	1	ОТ (ЗТ)	чел.-ч			18.56					16 239.81
	1-100-27	Средний разряд работ 2,7	чел.-ч	0.58	4	18.56			874.99	1	16 239.81
	2	ЭМ									68 401.00
		ОТм (ЗТм)	чел.-ч			13.12					7 393.00
	91.08.01-024	Асфальтоукладчики гусеничные, максимальная ширина укладки 7 м, скорость укладки до 24 м/мин, производительность 600 т/ч	маш.-ч	0.08	4	2.56			6 017.05	1	15 404.00
	4-100-080	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 8.00	чел-ч.	0.08	4	2.56			664.00	1	1 700.45
	91.08.03-025	Катки самоходные комбинированные вибрационные, масса 7 т	маш.-ч	0.12	4	3.84			1 722.07	1	6 613.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	0.12	4	3.84			499.00	1	1 916.12
	91.08.03-045	Катки самоходные гладкие вибрационные, масса 7 т	маш.-ч	0.13	4	4.16			1 827.82	1	7 604.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	0.13	4	4.16			499.00	1	2 075.80
	91.08.11-031	Перегружатели асфальтовой смеси, емкость бункера до 25 т	маш.-ч	0.08	4	2.56	8 883.76	1.71	15 148.85	1	38 781.00

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
	4-100-080	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 8.00	чел-ч.	0.08	4	2.56			664.00	1	1 700.45
	04.2.01.01	Смеси асфальтобетонные	т	0	4	383.68					
		Итого прямые затраты									**92 034.00**
	04.2.03.01-0008	Смеси асфальтобетонные щебеночно-мастичные ЩМА-16	т	11.99	4	383.68	5 654.02	2.47	13 965.43	1	5 358 256.00
		Всего по позиции							**681 286.23**		**5 450 290.00**

ИТОГИ по смете

ВСЕГО строительные работы	**122 328 003.00**
в том числе	
всего прямые затраты	122 328 003.00
в том числе	
оплата труда (ОТ)	1 945 832.00
эксплуатация машин и механизмов	5 511 606.00
оплата труда машинистов (ОТм)	1 026 702.56
материальные ресурсы	113 843 862.00
перевозка	0.00
всего ФОТ	2 972 535.00
всего накладные расходы	0.00
всего сметная прибыль	0.00

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
		ВСЕГО монтажных работ									**0.00**
		в том числе									
		всего прямые затраты									0.00
		в том числе									
		оплата труда (ОТ)									0.00
		эксплуатация машин и механизмов									0.00
		оплата труда машинистов (ОТм)									0.00
		материальные ресурсы									0.00
		перевозка									0.00
		всего ФОТ									0.00
		всего накладные расходы									0.00
		всего сметная прибыль									0.00
		ВСЕГО оборудование									**0.00**
		ВСЕГО прочие затраты									**0.00**
		в том числе									
		прочие затраты									0.00
		прочие работы									0.00
		в том числе									
		всего прямые затраты									0.00
		в том числе									
		оплата труда (ОТ)									0.00

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
		эксплуатация машин и механизмов									0.00
		оплата труда машинистов (ОТм)									0.00
		материальные ресурсы									0.00
		перевозка									0.00
		всего ФОТ									0.00
		всего накладные расходы									0.00
		всего сметная прибыль									0.00
		ВСЕГО по смете									**122 328 003.00**
		в том числе									
		Всего прямые затраты									122 328 003.00
		в том числе									
		оплата труда (ОТ)									1 945 832.00
		эксплуатация машин и механизмов									5 511 606.00
		оплата труда машинистов (ОТм)									1 026 703.00
		материальные ресурсы									113 843 862.00
		перевозка									0.00
		Всего ФОТ									2 972 535.00
		Всего накладные расходы									0.00
		Всего сметная прибыль									0.00
		Всего оборудование									0.00

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
		Всего прочие затраты									0.00
		Справочно									
		материальные ресурсы, отсутствующие в ФРСН									0.00
		оборудование, отсутствующее в ФРСН									0.00
		затраты труда рабочих				2 188.85					
		затраты труда машинистов				1 930.15					

Составила Баширова И.А.

Наименование программного продукта	Гектор: Сметчик-строитель
Наименование редакции сметных нормативов	Дополнение 10 (приказ Минстроя РФ от 13.05.2024 № 323/пр)
Реквизиты приказов об утверждении дополнений и изменений к сметным нормативам	ГЭСН 2022 (приказ Минстроя РФ 1046/пр от 30.12.2021 г.), дополнение 1 (приказ Минстроя РФ 378/пр от 18.05.2022 г.), дополнение 2 (приказ Минстроя РФ № 703/пр от 26.08.2022), дополнение 3 (приказ Минстроя РФ № 905/пр от 26.10.2022), дополнение 4 (приказ Минстроя РФ № 1133/пр от 27.12.2022), дополнение 5 (приказ Минстроя РФ № 84/пр от 10.02.2023), дополнение 6 (приказ Минстроя РФ от 11.05.2023 № 335/пр), дополнение 7 (приказ Минстроя РФ от 02.08.2023 № 551/пр), дополнение 8 (приказ Минстроя РФ от 14.11.2023 № 817/пр), дополнение 9 (приказ Минстроя РФ от 16.02.2024 № 102/пр), дополнение 10 (приказ Минстроя РФ от 13.05.2024 № 323/пр)
Реквизиты письма Минстроя России об индексах изменения сметной стоимости строительства, включаемые в федеральный реестр сметных нормативов и размещаемые в федеральной государственной информационной системе ценообразования в строительстве, подготовленного в соответствии с пунктом 85 Методики расчета индексов изменения сметной стоимости строительства, утвержденной приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 5 июня 20l9 г. № 326/пр	Письмо Минстроя России от 25.02.2026 № 9859-ИФ/09
Реквизиты нормативного правового акта об утверждении оплаты труда, утверждаемый в соответствии с пунктом 22 (1) Правилами мониторинга цен, утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации от 23 декабря 20l6 г. № 1452	Поставновление Правительства Ямало-Ненецкого автономного округа от 12.03.2025 № 138-П
Обоснование принятых текущих цен на строительные ресурсы	
Наименование субъекта Российской Федерации	Ямало-Ненецкий автономный округ (5 зона)
Наименование зоны субъекта Российской Федерации	

БАШИРОВА И.А.

ЛОКАЛЬНЫЙ СМЕТНЫЙ РАСЧЕТ (СМЕТА) № 02-01-03

Составлен ресурсно-индексным методом

Основание

Составлен(а) в текущем уровне цен 1 кв. 2026 г.

Сметная стоимость	116 097.603 тыс.руб.	Средства на оплату труда рабочих	1595.955 тыс.руб.
в том числе:		Средства на оплату труда машинистов	807.447 тыс.руб.
строительных работ	116 097.603 тыс.руб.	Нормативные затраты труда рабочих	1 774.71 чел.час
монтажных работ	- тыс.руб.	Нормативные затраты труда	1 530.96 чел.час
оборудования	- тыс.руб.	машинистов	
прочих затрат	- тыс.руб.		

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
1	ГЭСН 27-04-001-01	Устройство подстилающих и выравнивающих слоев оснований: из песка	100 м3	38.92		38.92					

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
	1	ОТ (ЗТ)	чел.-ч			560.448					473 477.68
	1-100-23	Средний разряд работ 2,3	чел.-ч	14.4	1	560.448			844.82	1	473 477.68
	2	ЭМ									1 542 394.00
		ОТм (ЗТм)	чел.-ч			540.2096					296 712.00
	91.01.02-004	Автогрейдеры среднего типа, мощность 99 кВт (135 л.с.)	маш.-ч	1.77	1	68.8884	1 481.07	1.93	2 857.50	1	196 849.00
	4-100-060	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 6.00	чел-ч.	1.77	1	68.8884			583.00	1	40 178.47
	91.06.05-011	Погрузчики одноковшовые универсальные фронтальные пневмоколесные, номинальная вместимость основного ковша 2,6 м3, грузоподъемность 5 т	маш.-ч	4.29	1	166.9668			1 481.46	1	247 355.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	4.29	1	166.9668			499.00	1	83 314.76
	91.08.03-030	Катки самоходные пневмоколесные статические, масса 30 т	маш.-ч	7.08	1	275.5536	1 939.67	1.98	3 841.22	1	1 058 462.00
	4-100-060	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 6.00	чел-ч.	7.08	1	275.5536			583.00	1	160 713.88
	91.13.01-038	Машины поливомоечные, вместимость цистерны 6 м3	маш.-ч	0.74	1	28.8008	706.71	1.95	1 379.43	1	39 729.00
	4-100-040	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 4.00	чел-ч.	0.74	1	28.8008			434.00	1	12 505.02
	4	М									22 654.00
	01.7.03.01-0001	Вода	м3	5	1	194.6	35.71	3.26	116.41	1	22 654.00

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
	02.3.01.02	Песок для строительных работ природный	м3	0	1	4281.2					
		Итого прямые затраты									**2 335 238.00**
	02.3.01.02-1126	Песок природный для дорожного строительства I класс, средний, квадратные сита	м3	110	1	4 281.2	650.20	2.19	1 423.94	1	6 096 163.00
		Всего по позиции							**216 634.14**		**8 431 401.00**
2	ГЭСН 27-04-005-03	Устройство оснований толщиной 15 см из щебня фракции 40-70 мм при укатке каменных материалов с пределом прочности на сжатие свыше 98,1 МПа (1000 кгс/см2): нижнего слоя двухслойных	1000 м2	8.15		8.15					
	1	ОТ (ЗТ)	чел.-ч			233.09					200 434.09
	1-100-25	Средний разряд работ 2,5	чел.-ч	28.6	1	233.09			859.90	1	200 434.09
	2	ЭМ									439 459.00
		ОТм (ЗТм)	чел.-ч			251.02					124 131.00
	91.01.01-034	Бульдозеры, мощность 59 кВт (80 л.с.)	маш.-ч	2.35	1	19.1525	441.51	2.23	983.42	1	18 835.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	2.35	1	19.1525			499.00	1	9 556.91
	91.01.02-004	Автогрейдеры среднего типа, мощность 99 кВт (135 л.с.)	маш.-ч	0.36	1	2.934	1 481.07	1.93	2 857.50	1	8 384.00
	4-100-060	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 6.00	чел-ч.	0.36	1	2.934			583.00	1	1 711.23
	91.06.05-011	Погрузчики одноковшовые универсальные фронтальные пневмоколесные, номинальная вместимость основного ковша 2,6 м3, грузоподъемность 5 т	маш.-ч	3.69	1	30.0735			1 481.46	1	44 553.00

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
	4-100-050	ОТм (3Тм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	3.69	1	30.0735			499.00	1	15 006.38
	91.08.03-013	Катки самоходные гладкие вибрационные, масса 9 т	маш.-ч	14.6	1	118.99			1 919.09	1	228 353.00
	4-100-050	ОТм (3Тм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	14.6	1	118.99			499.00	1	59 374.82
	91.08.03-016	Катки самоходные гладкие вибрационные, масса 8 т	маш.-ч	7.2	1	58.68			1 876.36	1	110 105.00
	4-100-050	ОТм (3Тм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	7.2	1	58.68			499.00	1	29 280.73
	91.13.01-038	Машины поливомоечные, вместимость цистерны 6 м3	маш.-ч	2.6	1	21.19	706.71	1.95	1 379.43	1	29 230.00
	4-100-040	ОТм (3Тм) Средний разряд машинистов 4.00	чел-ч.	2.6	1	21.19			434.00	1	9 200.49
	4	М									11 595 715.00
	01.7.03.01-0001	Вода	м3	20	1	163	35.71	3.26	116.41	1	18 976.00
	02.2.05.04-2110	Щебень из плотных горных пород для строительных работ М 1200, фракция 40-80(70) мм	м3	189	1	1 540.35	2 898.44	2.59	7 515.58	1	11 576 739.00
		Итого прямые затраты									**12 359 739.00**
		Всего по позиции							**1 516 532.35**		**12 359 739.00**
3	ГЭСН 27-04-005-02	Устройство оснований толщиной 15 см из щебня фракции 40-70 мм при укатке каменных материалов с пределом прочности на сжатие свыше 98,1 МПа (1000 кгс/см2): верхнего слоя двухслойных	1000 м2	8.45		8.45					

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
	1	ОТ (ЗТ)	чел.-ч			278.85					239 783.12
	1-100-25	Средний разряд работ 2,5	чел.-ч	33	1	278.85			859.90	1	239 783.12
	2	ЭМ									735 098.00
		ОТм (ЗТм)	чел.-ч			399.0935					198 859.00
	91.01.02-004	Автогрейдеры среднего типа, мощность 99 кВт (135 л.с.)	маш.-ч	1.6	1	13.52	1 481.07	1.93	2 857.50	1	38 633.00
	4-100-060	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 6.00	чел-ч.	1.6	1	13.52			583.00	1	7 885.40
	91.06.05-011	Погрузчики одноковшовые универсальные фронтальные пневмоколесные, номинальная вместимость основного ковша 2,6 м3, грузоподъемность 5 т	маш.-ч	7.96	1	67.262			1 481.46	1	99 646.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	7.96	1	67.262			499.00	1	33 563.07
	91.08.03-013	Катки самоходные гладкие вибрационные, масса 9 т	маш.-ч	23.9	1	201.955			1 919.09	1	387 570.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	23.9	1	201.955			499.00	1	100 773.53
	91.08.03-016	Катки самоходные гладкие вибрационные, масса 8 т	маш.-ч	10.6	1	89.57			1 876.36	1	168 066.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	10.6	1	89.57			499.00	1	44 694.53
	91.08.07-015	Распределители щебня и гравия навесные на базе самосвала, ширина распределения 3000 мм	маш.-ч	0.57	1	4.8165	1 403.86	1.61	2 258.40	1	10 878.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	0.57	1	4.8165			499.00	1	2 403.39

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
	91.13.01-038	Машины поливомоечные, вместимость цистерны 6 м3	маш.-ч	2.6	1	21.97	706.71	1.95	1 379.43	1	30 306.00
	4-100-040	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 4.00	чел-ч.	2.6	1	21.97			434.00	1	9 539.15
	4	М									13 213 097.00
	01.7.03.01-0001	Вода	м3	30	1	253.5	35.71	3.26	116.41	1	29 511.00
	02.2.05.04-2062	Щебень из плотных горных пород для строительных работ М 1200, фракция 10-20 мм	м3	15	1	126.75	3 136.45	2.97	9 315.26	1	1 180 709.00
	02.2.05.04-2110	Щебень из плотных горных пород для строительных работ М 1200, фракция 40-80(70) мм	м3	189	1	1 597.05	2 898.44	2.59	7 515.58	1	12 002 877.00
		Итого прямые затраты									**14 386 838.00**
		Всего по позиции							**1 702 584.33**		**14 386 838.00**
4	ГЭСН 27-06-031-01	Устройство покрытия из горячих асфальтобетонных смесей асфальтоукладчиками: третьего типоразмера, ширина укладки до 6 м, толщина слоя 4 см Общая толщина слоя 0,12 м ОТ=3, ЭМ=3, М=3, ОТм=3, ЗТ=3, ЗТм=3	1000 м2	8		8					
	1	ОТ (ЗТ)	чел.-ч			399.12					389 868.40
	1-100-37	Средний разряд работ 3,7	чел.-ч	16.63	3	399.12			976.82	1	389 868.40
	2	ЭМ									910 858.00

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
		ОТм (ЗТм)	чел.-ч			188.64					103 776.00
	91.08.01-024	Асфальтоукладчики гусеничные, максимальная ширина укладки 7 м, скорость укладки до 24 м/мин, производительность 600 т/ч	маш.-ч	1.42	3	34.08			6 017.05	1	205 061.00
	4-100-080	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 8.00	чел-ч.	1.42	3	34.08			664.00	1	22 637.30
	91.08.02-002	Автогудронаторы, емкость цистерны 7000 л	маш.-ч	0.33	3	7.92	1 324.58	1.06	1 398.08	1	11 073.00
	4-100-045	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 4.50	чел-ч.	0.66	3	15.84			467.00	1	7 390.79
	91.08.02-011	Гудронаторы ручные	маш.-ч	0.1	3	2.4	8.22	1.61	13.23	1	32.00
	91.08.03-025	Катки самоходные комбинированные вибрационные, масса 7 т	маш.-ч	2.05	3	49.2			1 722.07	1	84 726.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	2.05	3	49.2			499.00	1	24 550.31
	91.08.03-045	Катки самоходные гладкие вибрационные, масса 7 т	маш.-ч	1.6	3	38.4			1 827.82	1	70 188.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	1.6	3	38.4			499.00	1	19 161.22
	91.08.11-031	Перегружатели асфальтовой смеси, емкость бункера до 25 т	маш.-ч	1.42	3	34.08	8 883.76	1.71	15 148.85	1	516 273.00
	4-100-080	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 8.00	чел-ч.	1.42	3	34.08			664.00	1	22 637.30
	91.13.01-038	Машины поливомоечные, вместимость цистерны 6 м3	маш.-ч	0.71	3	17.04	706.71	1.95	1 379.43	1	23 505.00

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
	4-100-040	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 4.00	чел-ч.	0.71	3	17.04			434.00	1	7 398.60
	4	М									15 084.00
	01.3.01.03-0002	Керосин для технических целей	т	0.0028	3	0.0672	62 186.75	1.47	91 414.52	1	6 143.00
	01.7.03.01-0001	Вода	м3	3.2	3	76.8	35.71	3.26	116.41	1	8 941.00
	01.2.01.01	Битумы нефтяные дорожные	т	0.7	3	16.8					
	04.2.01.01	Смеси асфальтобетонные	т	0	3	2299.92					
		Итого прямые затраты									**1 419 586.00**
	01.2.01.01-1008	Битум нефтяной дорожный БНД 100/130	т	0.7	3	16.8	22 876.38	1.48	33 857.04	1	568 798.00
	04.2.01.01-1198	Смеси асфальтобетонные А 32 ОТ на БНД	т	95.83	3	2 299.92	5 229.51	3.46	18 097.87	1	41 623 412.00
		Всего по позиции							**5 451 474.53**		**43 611 796.00**
5	ГЭСН 27-06-031-01	Устройство покрытия из горячих асфальтобетонных смесей асфальтоукладчиками: третьего типоразмера, ширина укладки до 6 м, толщина слоя 4 см	1000 м2	8		8					
	1	ОТ (ЗТ)	чел.-ч			133.04					129 956.13
	1-100-37	Средний разряд работ 3,7	чел.-ч	16.63	1	133.04			976.82	1	129 956.13
	2	ЭМ									303 620.00

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
		ОТм (ЗТм)	чел.-ч			62.88					34 592.00
	91.08.01-024	Асфальтоукладчики гусеничные, максимальная ширина укладки 7 м, скорость укладки до 24 м/мин, производительность 600 т/ч	маш.-ч	1.42	1	11.36			6 017.05	1	68 354.00
	4-100-080	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 8.00	чел-ч.	1.42	1	11.36			664.00	1	7 545.77
	91.08.02-002	Автогудронаторы, емкость цистерны 7000 л	маш.-ч	0.33	1	2.64	1 324.58	1.06	1 398.08	1	3 691.00
	4-100-045	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 4.50	чел-ч.	0.66	1	5.28			467.00	1	2 463.60
	91.08.02-011	Гудронаторы ручные	маш.-ч	0.1	1	0.8	8.22	1.61	13.23	1	11.00
	91.08.03-025	Катки самоходные комбинированные вибрационные, масса 7 т	маш.-ч	2.05	1	16.4			1 722.07	1	28 242.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	2.05	1	16.4			499.00	1	8 183.44
	91.08.03-045	Катки самоходные гладкие вибрационные, масса 7 т	маш.-ч	1.6	1	12.8			1 827.82	1	23 396.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	1.6	1	12.8			499.00	1	6 387.07
	91.08.11-031	Перегружатели асфальтовой смеси, емкость бункера до 25 т	маш.-ч	1.42	1	11.36	8 883.76	1.71	15 148.85	1	172 091.00
	4-100-080	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 8.00	чел-ч.	1.42	1	11.36			664.00	1	7 545.77
	91.13.01-038	Машины поливомоечные, вместимость цистерны 6 м3	маш.-ч	0.71	1	5.68	706.71	1.95	1 379.43	1	7 835.00

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
	4-100-040	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 4.00	чел-ч.	0.71	1	5.68			434.00	1	2 466.20
	4	М									5 028.00
	01.3.01.03-0002	Керосин для технических целей	т	0.0028	1	0.0224	62 186.75	1.47	91 414.52	1	2 048.00
	01.7.03.01-0001	Вода	м3	3.2	1	25.6	35.71	3.26	116.41	1	2 980.00
	01.2.01.01	Битумы нефтяные дорожные	т	0.7	1	5.6					
	04.2.01.01	Смеси асфальтобетонные	т	0	1	766.64					
		Итого прямые затраты									**473 196.00**
	01.2.01.01-1008	Битум нефтяной дорожный БНД 100/130	т	0.7	1	5.6	22 876.38	1.48	33 857.04	1	189 599.00
	04.2.01.01-1188	Смеси асфальтобетонные А 22 НТ на БНД	т	95.83	1	766.64	5 443.62	3.15	17 151.82	1	13 149 224.00
		Всего по позиции							**1 726 502.34**		**13 812 019.00**
6	ГЭСН 27-06-032-01	При изменении толщины покрытия на 0,5 см добавлять или исключать: к норме 27-06-031-01	1000 м2	8		8					
		Общая толщина слоя 0,06 м									
		ОТ=4, ЭМ=4, М=4, ОТм=4, ЗТ=4, ЗТм=4									
	1	ОТ (ЗТ)	чел.-ч			18.56					16 239.81

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
	1-100-27	Средний разряд работ 2,7	чел.-ч	0.58	4	18.56			874.99	1	16 239.81
	2	ЭМ									68 401.00
		ОТм (ЗТм)	чел.-ч			13.12					7 393.00
	91.08.01-024	Асфальтоукладчики гусеничные, максимальная ширина укладки 7 м, скорость укладки до 24 м/мин, производительность 600 т/ч	маш.-ч	0.08	4	2.56			6 017.05	1	15 404.00
	4-100-080	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 8.00	чел-ч.	0.08	4	2.56			664.00	1	1 700.45
	91.08.03-025	Катки самоходные комбинированные вибрационные, масса 7 т	маш.-ч	0.12	4	3.84			1 722.07	1	6 613.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	0.12	4	3.84			499.00	1	1 916.12
	91.08.03-045	Катки самоходные гладкие вибрационные, масса 7 т	маш.-ч	0.13	4	4.16			1 827.82	1	7 604.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	0.13	4	4.16			499.00	1	2 075.80
	91.08.11-031	Перегружатели асфальтовой смеси, емкость бункера до 25 т	маш.-ч	0.08	4	2.56	8 883.76	1.71	15 148.85	1	38 781.00
	4-100-080	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 8.00	чел-ч.	0.08	4	2.56			664.00	1	1 700.45
	04.2.01.01	Смеси асфальтобетонные	т	0	4	383.36					
		Итого прямые затраты									**92 034.00**
	04.2.01.01-1188	Смеси асфальтобетонные А 22 НТ на БНД	т	11.98	4	383.36	5 443.62	3.15	17 151.82	1	6 575 298.00

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
		Всего по позиции							**833 416.48**		**6 667 332.00**
7	ГЭСН 27-06-031-01	Устройство покрытия из горячих асфальтобетонных смесей асфальтоукладчиками: третьего типоразмера, ширина укладки до 6 м, толщина слоя 4 см	1000 м2	8		8					
	1	ОТ (ЗТ)	чел.-ч			133.04					129 956.13
	1-100-37	Средний разряд работ 3,7	чел.-ч	16.63	1	133.04			976.82	1	129 956.13
	2	ЭМ									303 620.00
		ОТм (ЗТм)	чел.-ч			62.88					34 592.00
	91.08.01-024	Асфальтоукладчики гусеничные, максимальная ширина укладки 7 м, скорость укладки до 24 м/мин, производительность 600 т/ч	маш.-ч	1.42	1	11.36			6 017.05	1	68 354.00
	4-100-080	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 8.00	чел-ч.	1.42	1	11.36			664.00	1	7 545.77
	91.08.02-002	Автогудронаторы, емкость цистерны 7000 л	маш.-ч	0.33	1	2.64	1 324.58	1.06	1 398.08	1	3 691.00
	4-100-045	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 4.50	чел-ч.	0.66	1	5.28			467.00	1	2 463.60
	91.08.02-011	Гудронаторы ручные	маш.-ч	0.1	1	0.8	8.22	1.61	13.23	1	11.00
	91.08.03-025	Катки самоходные комбинированные вибрационные, масса 7 т	маш.-ч	2.05	1	16.4			1 722.07	1	28 242.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	2.05	1	16.4			499.00	1	8 183.44
	91.08.03-045	Катки самоходные гладкие вибрационные, масса 7 т	маш.-ч	1.6	1	12.8			1 827.82	1	23 396.00

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	1.6	1	12.8			499.00	1	6 387.07
	91.08.11-031	Перегружатели асфальтовой смеси, емкость бункера до 25 т	маш.-ч	1.42	1	11.36	8 883.76	1.71	15 148.85	1	172 091.00
	4-100-080	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 8.00	чел-ч.	1.42	1	11.36			664.00	1	7 545.77
	91.13.01-038	Машины поливомоечные, вместимость цистерны 6 м3	маш.-ч	0.71	1	5.68	706.71	1.95	1 379.43	1	7 835.00
	4-100-040	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 4.00	чел-ч.	0.71	1	5.68			434.00	1	2 466.20
	4	М									5 028.00
	01.3.01.03-0002	Керосин для технических целей	т	0.0028	1	0.0224	62 186.75	1.47	91 414.52	1	2 048.00
	01.7.03.01-0001	Вода	м3	3.2	1	25.6	35.71	3.26	116.41	1	2 980.00
	01.2.01.01	Битумы нефтяные дорожные	т	0.7	1	5.6					
	04.2.01.01	Смеси асфальтобетонные	т	0	1	767.28					
		Итого прямые затраты									**473 196.00**
	01.2.01.01-1008	Битум нефтяной дорожный БНД 100/130	т	0.7	1	5.6	22 876.38	1.48	33 857.04	1	189 599.00
	04.2.03.01-0008	Смеси асфальтобетонные щебеночно-мастичные ЩМА-16	т	95.91	1	767.28	5 654.02	2.47	13 965.43	1	10 715 395.00
		Всего по позиции							**1 422 273.72**		**11 378 190.00**

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
8	ГЭСН 27-06-032-01	При изменении толщины покрытия на 0,5 см добавлять или исключать: к норме 27-06-031-01	1000 м2	8		8					
		Общая толщина слоя 0,06 м									
		ОТ=4, ЭМ=4, М=4, ОТм=4, ЗТ=4, ЗТм=4									
	1	ОТ (ЗТ)	чел.-ч			18.56					16 239.81
	1-100-27	Средний разряд работ 2,7	чел.-ч	0.58	4	18.56			874.99	1	16 239.81
	2	ЭМ									68 401.00
		ОТм (ЗТм)	чел.-ч			13.12					7 393.00
	91.08.01-024	Асфальтоукладчики гусеничные, максимальная ширина укладки 7 м, скорость укладки до 24 м/мин, производительность 600 т/ч	маш.-ч	0.08	4	2.56			6 017.05	1	15 404.00
	4-100-080	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 8.00	чел-ч.	0.08	4	2.56			664.00	1	1 700.45
	91.08.03-025	Катки самоходные комбинированные вибрационные, масса 7 т	маш.-ч	0.12	4	3.84			1 722.07	1	6 613.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	0.12	4	3.84			499.00	1	1 916.12
	91.08.03-045	Катки самоходные гладкие вибрационные, масса 7 т	маш.-ч	0.13	4	4.16			1 827.82	1	7 604.00
	4-100-050	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 5.00	чел-ч.	0.13	4	4.16			499.00	1	2 075.80
	91.08.11-031	Перегружатели асфальтовой смеси, емкость бункера до 25 т	маш.-ч	0.08	4	2.56	8 883.76	1.71	15 148.85	1	38 781.00

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
	4-100-080	ОТм (ЗТм) Средний разряд машинистов 8.00	чел-ч.	0.08	4	2.56			664.00	1	1 700.45
	04.2.01.01	Смеси асфальтобетонные	т	0	4	383.68					
		Итого прямые затраты									**92 034.00**
	04.2.03.01-0008	Смеси асфальтобетонные щебеночно-мастичные ЩМА-16	т	11.99	4	383.68	5 654.02	2.47	13 965.43	1	5 358 256.00
		Всего по позиции							**681 286.23**		**5 450 290.00**

ИТОГИ по смете

ВСЕГО строительные работы	**116 097 603.00**
в том числе	
всего прямые затраты	116 097 603.00
в том числе	
оплата труда (ОТ)	1 595 955.00
эксплуатация машин и механизмов	4 371 852.00
оплата труда машинистов (ОТм)	807 446.62
материальные ресурсы	109 322 350.00
перевозка	0.00
всего ФОТ	2 403 402.00
всего накладные расходы	0.00
всего сметная прибыль	0.00

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
		ВСЕГО монтажных работ									**0.00**
		в том числе									
		всего прямые затраты									0.00
		в том числе									
		оплата труда (ОТ)									0.00
		эксплуатация машин и механизмов									0.00
		оплата труда машинистов (ОТм)									0.00
		материальные ресурсы									0.00
		перевозка									0.00
		всего ФОТ									0.00
		всего накладные расходы									0.00
		всего сметная прибыль									0.00
		ВСЕГО оборудование									**0.00**
		ВСЕГО прочие затраты									**0.00**
		в том числе									
		прочие затраты									0.00
		прочие работы									0.00
		в том числе									
		всего прямые затраты									0.00
		в том числе									
		оплата труда (ОТ)									0.00

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
		эксплуатация машин и механизмов									0.00
		оплата труда машинистов (ОТм)									0.00
		материальные ресурсы									0.00
		перевозка									0.00
		всего ФОТ									0.00
		всего накладные расходы									0.00
		всего сметная прибыль									0.00
		ВСЕГО по смете									**116 097 603.00**
		в том числе									
		Всего прямые затраты									116 097 603.00
		в том числе									
		оплата труда (ОТ)									1 595 955.00
		эксплуатация машин и механизмов									4 371 852.00
		оплата труда машинистов (ОТм)									807 447.00
		материальные ресурсы									109 322 350.00
		перевозка									0.00
		Всего ФОТ									2 403 402.00
		Всего накладные расходы									0.00
		Всего сметная прибыль									0.00
		Всего оборудование									0.00

NN пп	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
		Всего прочие затраты									0.00
		Справочно									
		материальные ресурсы, отсутствующие в ФРСН									0.00
		оборудование, отсутствующее в ФРСН									0.00
		затраты труда рабочих				1 774.71					
		затраты труда машинистов				1 530.96					

Составила Баширова И.А.