

Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова
Географический факультет

На правах рукописи

ИСАКОВ ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ВЛИЯНИЕ КРИОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ
АВТОМОБИЛЬНЫХ И ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

Специальность 25.00.31 – Гляциология и криология Земли

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени

кандидата географических наук

Научный руководитель:
кандидат геолого-
минералогических наук,
доцент
В.И. Гребенец

Москва – 2016

Работа выполнена на кафедре криолитологии и гляциологии географического факультета Московского Государственного Университета имени М.В. Ломоносова

Научный руководитель

Гребенец Валерий Иванович

Доцент, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры криолитологии и гляциологии географического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова

Официальные оппоненты

Ривкин Феликс Менделеевич

Доктор геолого-минералогических наук, начальник отдела инженерно-геокриологической съемки и ГИС-технологий ОАО «Фундаментпроект»

Титков Сергей Николаевич

Кандидат географических наук, главный специалист ООО «ИГИИС»

Ведущая организация

Институт криосферы Земли СО РАН, г.Тюмень

Защита состоится «13» октября 2016 г. в 15 часов на заседании диссертационного совета по геоморфологии и эволюционной географии, гляциологии и криологии Земли, картографии (Д-501.001.61) в Московском Государственном Университете имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д.1, МГУ, географический факультет, 21 этаж, ауд. 2109.

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций Научной библиотеки Московского Государственного Университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, Москва, Ломоносовский проспект, 27, А8.

Автореферат разослан «__» _____ 2016 года. Отзывы на автореферат (в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения) просим направлять по адресу: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, 1, МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, учёному секретарю диссертационного совета Д-501.001.61, e-mail: malyn2006@yandex.ru, факс +7(495)932-88-36

Учёный секретарь диссертационного совета
кандидат географических наук

А.Л. Шныпарков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования заключается в том, что, несмотря на длительное изучение проблематики устойчивости дорожной инфраструктуры в криолитозоне и разработанные инженерно-геокриологические приёмы стабилизации мерзлотной обстановки, деформации на автомобильных и железных дорогах, построенных на вечной мерзлоте, не прекращаются до сих пор. Одной из причин этого является недостаточная изученность закономерностей взаимодействия инженерных сооружений дорог и окружающей природной среды, выражающаяся в формировании особой природно-технической системы. Эта система - инженерные сооружения (насыпи, выемки, водопропускные сооружения) и естественные грунты в их основании – будет претерпевать изменения под воздействием соответственно природных и техногенных факторов, в значительной мере изменяя свои свойства. Эти изменения чаще всего сопровождаются разнонаправленной и разномасштабной активизацией криогенных процессов, изучение которых позволит выяснить причины деформаций, механизм их развития и, следовательно, более обоснованно разрабатывать методики их предотвращения и стабилизации.

Объектом исследования являются сезонно- и многолетнемёрзлые грунты в составе природно-технических систем, формирующихся при прокладке автомобильных и железных дорог.

Предметом исследования в работе являются криогенные процессы в грунтовых массивах природно-технических систем, развивающиеся в основаниях автомобильных и железных дорог и оказывающие существенное влияние на их устойчивость.

Цель работы заключается в изучении закономерностей активизации криогенных процессов в грунтовых массивах, влияющих на устойчивость автомобильных и железных дорог в разных регионах криолитозоны России. Знание этих закономерностей позволит определить или выработать наиболее подходящие способы повышения устойчивости дорожной инфраструктуры.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- 1) провести обзор имеющихся исследований по проблематике устойчивости дорожной сети в криолитозоне;
- 2) определить характер взаимодействия природных условий и инженерных сооружений в составе автомобильных и железных дорог и выявить природные факторы, в наибольшей степени, влияющие на изменение геокриологических условий в их основании;

- 3) выявить региональные особенности температурного режима земляного полотна в ходе строительства и эксплуатации дорог;
- 4) оценить роль криогенеза в массивах грунтов, подвергающихся техногенному воздействию при строительстве и эксплуатации автомобильных и железных дорог;
- 5) проанализировать влияние выявленных закономерностей криогенеза на устойчивость сооружений и формирование деформаций;
- 6) провести обзор и анализ эффективности существующих рекомендаций по стабилизации мерзлотной обстановки.

Материалы, используемые в работе. Для выполнения работы были использованы опубликованные данные научного и производственного характера по тематике исследования, фондовые материалы различных организаций, а также результаты полевых исследований автора (в 2008 – 2011 гг.) на объектах дорожной сети в криолитозоне. Использовались также результаты математического моделирования теплового состояния грунтовых массивов и количественного и качественного прогнозирования активизации криогенных процессов, выполненные автором.

Личный вклад автора. В основу работы легли результаты собственных полевых исследований автора, дополненные результатами проведённого автором прогноза изменения температурного поля мёрзлых грунтов и активизации криогенных процессов в условиях природно-технической системы автомобильных и железных дорог в криолитозоне. Для апробации и проверки полученных результатов были применены опубликованные и фондовые материалы об опыте эксплуатации автомобильных и железных дорог в различных регионах криолитозоны России.

Основные положения, выносимые на защиту:

- 1) Определены 4 типа квазистационарного температурного состояния в природно-технической системе автомобильных и железных дорог в криолитозоне, отражающие региональные закономерности формирования геокриологической обстановки в специфических условиях техногенной нагрузки: устойчивый, переходный низкотемпературный, переходный высокотемпературный и неустойчивый;
- 2) Выявленные неравномерности в динамике температурного поля являются достаточными для активизации криогенных процессов (выветривания, сегрегационного льдовыделения, пучения и морозобойного растрескивания, термокарста, ползучести) и изменения свойств и

состояния грунтов в пределах природно-технической системы автомобильных и железных дорог в криолитозоне;

- 3) Интенсивность развития криогенных процессов и их разнообразие напрямую связано с типом квазистационарного температурного состояния;
- 4) Деформации дорог в криолитозоне, в основном, определяются криогенными факторами и процессами;
- 5) Основные типы деформаций дорог разделяются на 3 группы: деформации, вызванные сезонными колебаниями температуры; деформации, обусловленные многолетним изменением температуры; деформации, связанные с активизацией криогенных процессов на территориях, прилегающих к земляному полотну дороги;

Научная новизна работы заключается в следующем:

- 1) Впервые в пределах природно-технической системы автомобильных и железных дорог в криолитозоне выделено 3 типа грунтовых массивов, отличающихся активностью и специфическим набором криогенных процессов;
- 2) При помощи численного моделирования оценено и проанализировано изменение температурных полей в грунтах основания дорожного полотна для 8 различных регионов криолитозоны России (11 пунктов), приведены примеры значительных региональных различий в реакции многолетнемёрзлых пород на определенный вид техногенного воздействия;
- 3) Выявлены закономерности формирования температурного поля природно-технических систем автомобильных и железных дорог, определяющие динамику криогенных процессов в грунтах насыпи и естественного основания;
- 4) Выделено 3 основных группы криогенно-обусловленных деформаций земляного полотна, принципиально отличающихся механизмами развития и динамикой.

Практическая значимость исследования заключается в рассмотрении механизмов и предпосылок активизации криогенных процессов в грунтах, непосредственно влияющих на устойчивость автомобильных и железных дорог. Полученные данные позволяют повысить точность геокриологического прогноза при

проектировании, увеличить эффективность методов инженерной защиты и геокриологического мониторинга автомобильных и железных дорог.

Апробация работы. Промежуточные результаты работы, а также основные положения диссертации докладывались на российских и международных научных конференциях: II Всероссийской научно-практической конференции «Человеческое измерение в региональном развитии» (Нижевартовск, 2008 г), XVI Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов – 2009» (Москва, 2009 г), научно-практических конференциях молодых специалистов «Инженерные изыскания в строительстве» (Москва 2009, 2011, 2012, 2013, 2014 г.г.), международной научно-практической конференции по инженерному мерзлотоведению (Тюмень, 2011 г), Международной научно-практической конференции «ГЕОРИСК 2012» (Москва, 2012 г), Десятой Международной конференции по мерзлотоведению (TICOP): Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире. (Салехард, 2012 г), Восьмой Общероссийской конференции изыскательских организаций «Инженерные изыскания в строительстве» (Москва, 2012 г). По теме диссертации опубликовано 12 печатных работ, из которых 3 – в изданиях рекомендованных ВАК. Готовятся к изданию 3 печатные работы, из которых 1 – в изданиях рекомендованных ВАК.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы (174 наименования). Материал работы изложен на 156 страницах машинописного текста, содержит 14 таблиц, 46 иллюстраций.

Благодарности. Автор выражает благодарность своему научному руководителю к.г.-м.н. В.И. Гребенцу за всестороннюю помощь в проведении исследования; заведующему кафедрой криолитологии и гляциологии д.г.н., профессору, В.Н. Конищеву, а также д.г.н., профессору В.В. Рогову, к.г.н. Н.В. Тумель, к.г.н. Ю.Б. Бадю, к.г.н. И.Д. Стрелецкой, д.г.н. профессору, Н.А. Шполянской, к.г.н. Л.И. Зотовой и другим сотрудникам кафедры криолитологии и гляциологии за ценные замечания и методическую помощь при написании работы. Автор хочет выразить благодарность к.г.-м.н. М.С. Наумову, А.И. Андриянову, Л.А. Байковой, В.Б. Достовалову, к.г.-м.н. А.Г.-о. Керимову, А.В. Максимова, С.В. Васильеву за помощь при проведении полевых и камеральных работ по изучению дорожного полотна в разных регионах криолитозоны России. Отдельную благодарность автор хочет выразить к.г.н. А.Ф. Имангалину, Д.В. Кирину, А.Е. Новичихину, Е.Г. Панченко, Е.Ю. Пospelову, Д.В. Шмелёву за методическую помощь и обсуждение промежуточных результатов работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель исследования, охарактеризована научная новизна, практическая значимость исследования.

Глава 1. История и современное состояние изучения проблемы устойчивости автомобильных и железных дорог в криолитозоне

В разделе 1.1 кратко излагается история изучения проблемы устойчивости автомобильных и железных дорог в криолитозоне. Выделено 3 основных исторических этапа исследований: с конца XIX столетия до конца 1950-х гг., 1960 – 1990 гг. и с начала 2000-х гг. по настоящее время. В ходе первого исторического этапа были сформулированы основные правила сооружения земляного полотна дорог в условиях криолитозоны – соблюдение минимальной высоты насыпи, применение в качестве материала насыпей крупнодисперсных грунтов, минимизация объёмов выемок, сохранение торфяного покрова и обеспечение водоотвода. Последующий опыт эксплуатации показал недостаточность данных мер для предотвращения деформаций дорог в криолитозоне. Второй исторический этап тесно связан с сооружением БАМ – крупнейшей в то время железной дороги на вечной мерзлоте. Основными выводами исследований, проведённых в данный период, явилось представления о быстром (в течение 3 – 5 лет после строительства) затухании деформаций, значительном влиянии прямой солнечной радиации на температурный режим земляного полотна и необходимости применения на отдельных участках дополнительных мер по стабилизации мерзлотной обстановки. Как показала практика эксплуатации БАМ, выводы, сделанные на основе теплотехнических расчётов и предположений о быстрой стабилизации кровли мёрзлых пород, оказались недостаточными для обеспечения устойчивости земляного полотна. По данным П.И. Дыдышко, деформациями на БАМ поражено более 1000 км пути, а некоторые деформации продолжаются в течение нескольких десятилетий. Третий этап, продолжающийся до настоящего времени, связан со строительством крупнейших автомобильных и железных дорог, прежде всего, на территории России и Китая. Наибольшее внимание в настоящее время уделяется геокриологическому мониторингу транспортных систем, методам стабилизации геокриологической обстановки в основании дорог, совершенствованию картографических методов анализа устойчивости земляного полотна; усовершенствованию методики теплотехнических расчётов, разработке проблемы изменения состава и свойств грунтов насыпей во времени и влияния упругих деформаций на температурный режим земляного полотна.

В разделе 1.2 более подробно рассмотрено современное состояние проблемы устойчивости земляного полотна, проведен анализ современной научной литературы и перечислены основные факторы, воздействие которых может существенно снизить устойчивость земляного полотна в условиях распространения многолетнемерзлых и сезоннопромерзающих пород. Современные исследования, проводимые на автомобильных и железных дорогах в пределах криолитозоны России, показывают, что на значительной их протяженности наблюдаются различного рода деформации. Это справедливо как для дорог построенных относительно недавно (автодорога «Амур», железная дорога «Обская – Бованенково» и «Улак – Эльга»), так и для объектов, эксплуатируемых достаточно давно (железная дорога «Чум – Лабытнанги», автодорога «Норильск – Талнах»). Этот факт говорит о том, что, несмотря на значительное количество научных работ и исследований в области устойчивости дорожного полотна, существует необходимость дальнейшего более подробного рассмотрения динамики свойств и строения ПТС автомобильных и железных дорог в криолитозоне, в том числе за достаточно длинный (50-100 лет) период времени, а также региональных особенностей криогенного строения мерзлых толщ и протекания криогенных процессов.

В разделе 1.3 рассмотрена и охарактеризована природно-техническая система (ПТС) автомобильных и железных дорог в криолитозоне. Установлены её основные грунтовые компоненты, а также природные и техногенные факторы, обуславливающие её обособление от окружающих природно-территориальных комплексов (ПТК), рис 1.

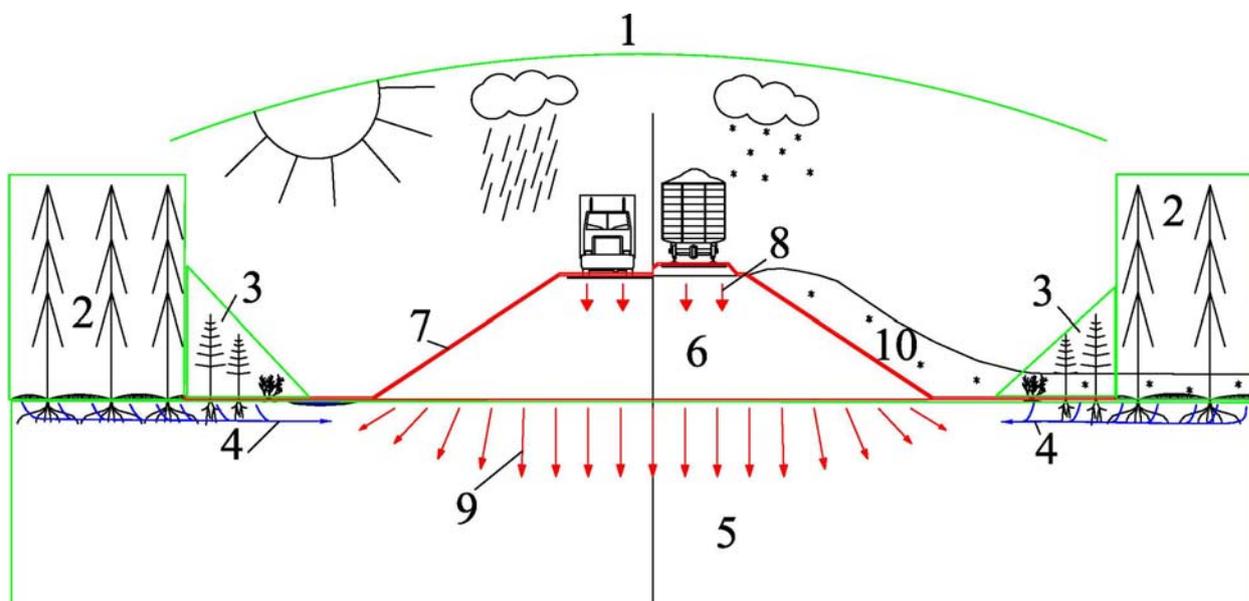


Рис 1. Схематическое изображение компонентов ПТС автомобильной и железной дорог. Числами обозначены: 1 – климат, 2 – растительность, 3 – сукцессия растительности, 4 – грунтовый сток, 5 – естественные мерзлые грунты, 6 – насыпные грунты, 7 – техногенные условия теплообмена через поверхность, 8 – динамические нагрузки от движущегося транспорта, 9 – статическая и тепловая нагрузки от насыпи, 10 – снежный покров.

Выделены также основные типы грунтовых массивов, слагающих ПТС и отличающихся друг от друга генезисом, степенью техногенной переработки и воспринимаемыми техногенными нагрузками, рис 2.

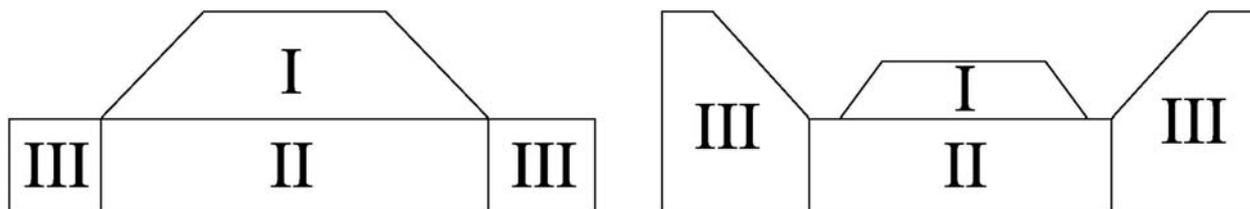


Рис. 2. Основные типы грунтовых массивов в пределах ПТС автомобильных и железных дорог в криолитозоне. Цифрами обозначены: I- насыпные грунты; II – естественные грунты в основании земляного полотна; III – естественные грунты в зоне техногенного влияния земляного полотна

Устойчивость автомобильных и железных дорог понимается в данной работе как способность ПТС автомобильных и железных дорог в криолитозоне сохранять целостность и эксплуатационные характеристики дорожной одежды и верхнего строения пути.

Глава 2. Методика проведения исследований

В главе приводится описание основных методов, примененных в ходе исследования: изучение научной, производственной и нормативной литературы, полевые наблюдения на объектах дорожной сети в криолитозоне, камеральная обработка результатов инженерно-геологических работ и обследований, проведённых в разные годы на различных объектах дорожной сети в криолитозоне, математическое моделирование теплового состояния массивов насыпных и естественных грунтов в разных климатических условиях, оценка возможности активизации криогенных процессов в пределах ПТС автомобильных и железных дорог в криолитозоне, анализ полученных данных с целью систематизации и выявления закономерностей функционирования и эволюции природно-технической системы земляного полотна в криолитозоне.

В ходе исследования были изучены работы, посвященные как динамике температурного поля в основании насыпи (Хрусталева Л.Н., Пассек В.В., Оспенников Е.Н., Дыдышко П.И. и др.), так активизации криогенных процессов вдоль трассы автомобильных и железных дорог (Кондратьев В.Г., Оспенников Е.Н., и др.). Постановка проблемы, выполненная в работе, обуславливала необходимость изучения не только непосредственно земляного полотна, но и многочисленных природных факторов, значимых для динамики выделенной природно-технической системы – геологического строения, климатических условий, растительности, геокриологических условий. Значительное различие этих факторов в пределах криолитозоны России вызвало необходимость регионального подразделения работы. В связи с этим был рассмотрен значительный массив публикаций по региональной геологии, геокриологии,

криолитологии, а также климатическим и ландшафтным условиям различных регионов криолитозоны. Для оценки устойчивости и изменения структуры природно-технической системы земляного полотна были рассмотрены работы посвященные механике мёрзлых грунтов, прочностным и реологическим свойствам льда и мёрзлых пород, миграции вещества и криогенезу в многолетнемёрзлых грунтах.

Полевые исследования проводились автором в 2008-2011 гг. на автомобильных и железных дорогах на полуострове Ямал, Надым-Пур-Тазовском междуречье, в Норильском промышленном районе, Центральной Якутии и на Дальнем Востоке. Всего было обследовано около 290 км автомобильных и железных дорог. В состав полевых исследований входили бурение скважин, выполнение шурфов и закопшек на земляном полотне и вблизи от него, выполнение лабораторных анализов грунтов земляного полотна и прилегающих к нему грунтовых массивов, термометрические наблюдения в скважинах, маршрутные обследования и составление карт активизации неблагоприятных криогенных процессов вдоль насыпи и схем участков деформаций земляного полотна.

Математическое моделирование температурного поля ПТС автомобильных и железных дорог в криолитозоне проводилось в программе «WARM». Климатические данные для численного моделирования брались за весь доступный период наблюдений, чтобы избежать влияния циклов колебания температуры воздуха, сопоставимых по продолжительности со сроками эксплуатации дорог. Необходимая корректировка климатических данных осуществлялась с учётом поправок на приход прямой солнечной радиации, а также на интенсивность турбулентного теплообмена с атмосферой. В качестве базовой модели массива насыпных грунтов была выбрана насыпь высотой 6 м, шириной основной площадки 9 м, откосами крутизной 1:1,5. Состав насыпных грунтов изменялся в зависимости от целей моделирования. Для получения общей картины изменения температурного поля моделировалась насыпь сложенная гравийно-галечниковыми грунтами. Для исследования возможности сегрегационного льдовыделения, криогенного пучения и, частично, морозобойного растрескивания в насыпных грунтах в качестве материала насыпи использовались тонкодисперсные грунты, применение которых допускается нормативными документами по транспортному строительству. Состав массива естественных грунтов выбирался в зависимости от региональных криолитологических особенностей.

При проведении аналитических исследований процессов и их динамики автор руководствовался результатами исследований посвященных предпосылкам возникновения и особенностям протекания криогенных процессов (А.И. Попов, Н.Н. Романовский, Э.Д. Ершов, В.В. Рогов, Б.Н. Доставалов, В.А. Кудрявцев и др.).

Глава 3. Региональные закономерности формирования геокриологической обстановки в основаниях дорог

В главе выполнен региональный обзор основных факторов природной среды, влияющих на устойчивость дорожной сети и многолетнемёрзлых пород в её основании, необходимый для составления целостной картины динамики и эволюции природно-технических систем возникающих при сооружении дорог. Для всех исследованных регионов кратко рассмотрены основные черты геологического строения, рельефа, климата, растительности. Более подробно рассмотрены геокриологические и криолитологические условия выделенных регионов. Также в главе приведены результаты моделирования теплового состояния земляного полотна и опыт эксплуатации автомобильных и железных дорог на территории различных регионов криолитозоны. Исследование охватывало следующие регионы криолитозоны России, примерно соответствующие её криолитологическому районированию: Кольский, Мало-Большеземельский, Западносибирский, Таймырский, Центрально-Якутский, Чукотский, Приамурский, Забайкальский.

Сравнение результатов моделирования температурного состояния природно-технической системы земляного полотна с опытом эксплуатации земляного полотна в различных регионах показало, что в целом результаты моделирования достаточно достоверно отражают характер динамики температурного поля ПТС автомобильных и железных дорог для каждого из исследованных регионов.

В результате проведенных расчётов можно сделать следующие выводы:

1. Проведённое моделирование температурного поля для 11 пунктов в криолитозоне России показало наличие значительной региональной дифференциации в динамике геокриологической обстановки в основании дорожных насыпей. Выделено 4 основных типа квазистационарного (с относительно стабильной среднегодовой температурой грунтов на разных глубинах) температурного поля в насыпных и естественных грунтах:

А) Устойчивый тип (Амдерма, Анадырь) – характеризуется стабильностью или понижением температуры насыпных и естественных грунтов и подъёмом кровли вечной мерзлоты в пределах сооружения.

Б) Переходный низкотемпературный тип (Воркута, Тазовский, Норильск) – характеризуется повышением температуры грунтов в пределах отрицательных значений при подъёме кровли вечной мерзлоты и, в отдельных случаях, локальным понижением температуры под основной площадкой насыпи. Конфигурация верхней границы

многолетнемёрзлых пород приближена к конфигурации поверхности насыпи. У подножий откосов формируются таликовые зоны незначительной (до 1-2 м) мощности.

В) Переходный высокотемпературный тип (Нарьян-Мар, Салехард, Якутск) – характеризуется значительным повышением температуры в основании насыпи и формированием таликовых зон под откосами насыпей. Под основной площадкой сохраняется отрицательная среднегодовая температура насыпных и многолетнемёрзлое состояние естественных грунтов при их высокой (не ниже -1°C) температуре.

Г) Неустойчивый тип (Краснощелье, Чита, Бомнак) – характеризуется формированием значительной по мощности чаши оттаивания под дорожной насыпью.

Характер залегания кровли многолетнемёрзлых грунтов для пунктов с различными типами квазистационарного температурного поля (КТП) в грунтах ПТС автомобильных и железных дорог представлен на рисунке 3.

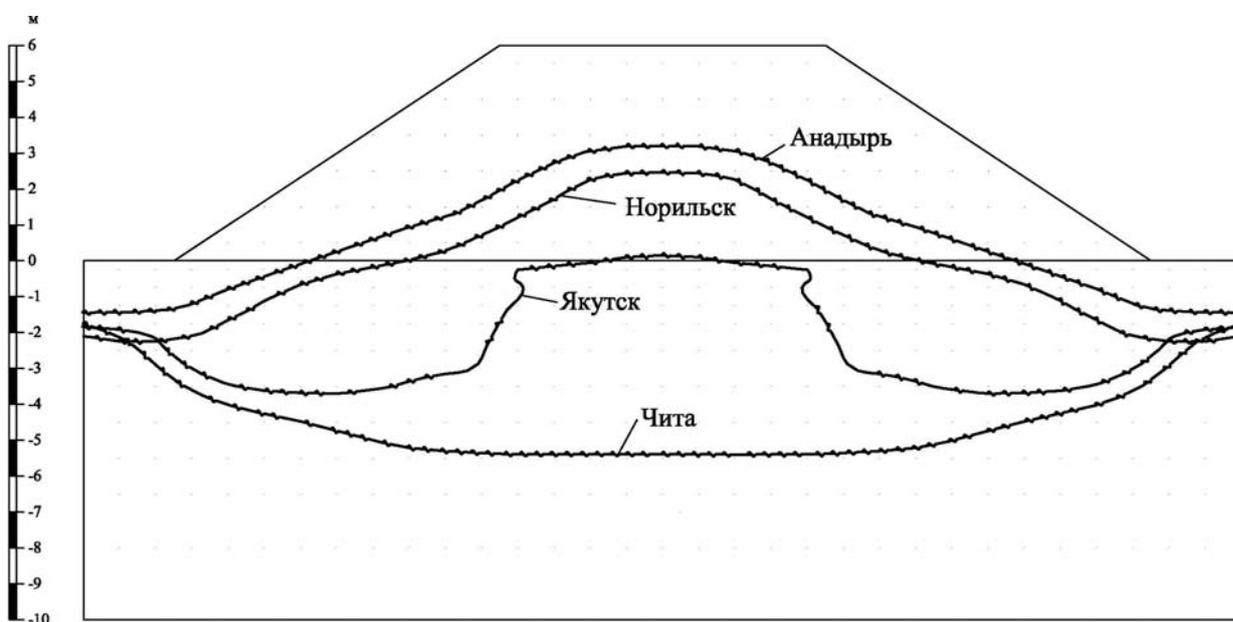


Рис 3 Положение кровли многолетнемёрзлых пород в основании насыпи в регионах, характеризующихся различными типами квазистационарного состояния температурного поля.

2. Сооружение и эксплуатация земляного полотна значительно увеличивает роль региональных различий таких климатических факторов, как приход прямой солнечной радиации, соотношение продолжительность тёплого и холодного периодов и мощность снежного покрова в обеспечении термической устойчивости грунтов оснований земляного полотна.

3. Апробация результатов моделирования температурного поля и анализ опыта эксплуатации земляного полотна показал, что деформации дорог наблюдаются также в пунктах, где по результатам моделирования температурного поля не фиксируется значительного повышения температуры мёрзлых пород в основании земляного полотна или их оттаивания. В таких условиях деформации связаны не с климатически-

обусловленным повышением среднегодовой температуры грунтов, а с активизацией опасных криогенных процессов, либо сезонным промерзанием и протаиванием грунтов.

Глава 4. Условия развития криогенных процессов в разных типах грунтовых массивов природно-технических систем автомобильных и железных дорог в криолитозоне

В данной главе рассмотрены условия развития криогенных процессов в различных типах грунтовых массивов ПТС автомобильных и железных дорог с учётом их термодинамического состояния, генезиса, физико-механических свойств и воспринимаемых нагрузок.

В разделе 4.1 рассмотрены условия активизации криогенных процессов в насыпных грунтах в пределах ПТС автомобильных и железных дорог в криолитозоне, а также оценка изменений состава и свойств насыпных грунтов под воздействием этих процессов.

Было рассмотрено влияние следующих криогенных процессов на строение, состав и свойства насыпных грунтов:

Криогенное выветривание - Влияние криогенного выветривания на устойчивость ПТС автомобильных и железных дорог в криолитозоне выражается преимущественно в направленном ухудшении физико-механических свойств насыпных грунтов. Снижение прочности грунтов делает их менее устойчивыми к динамическим нагрузкам, будет способствовать ускоренному истиранию грунтовых частиц. Диспергация материала насыпи создает благоприятные условия для накопления и миграции влаги и активизации других криогенных процессов.

Сегрегационное льдообразование – Изучение условий для сегрегационного льдообразования показало, что в насыпных тонкодисперсных грунтах, особенно при их переувлажнении, возможно образование как минимум одной зоны, благоприятной для интенсивного сегрегационного льдовыделения. На основании термодинамических условий формирования различных криогенных текстур был выполнен прогноз криогенного строения сезоннопромерзающих насыпных грунтов, рис. 4. В сезонно-промерзающих грунтах насыпи за счёт перераспределения влаги под воздействием криогенных факторов возможно формирование участков повышенной льдистости, которые могут снижать устойчивость земляного полотна как в мёрзлом состоянии (за счёт пластических деформаций льда) так и при оттаивании (за счёт переувлажнения грунтов).

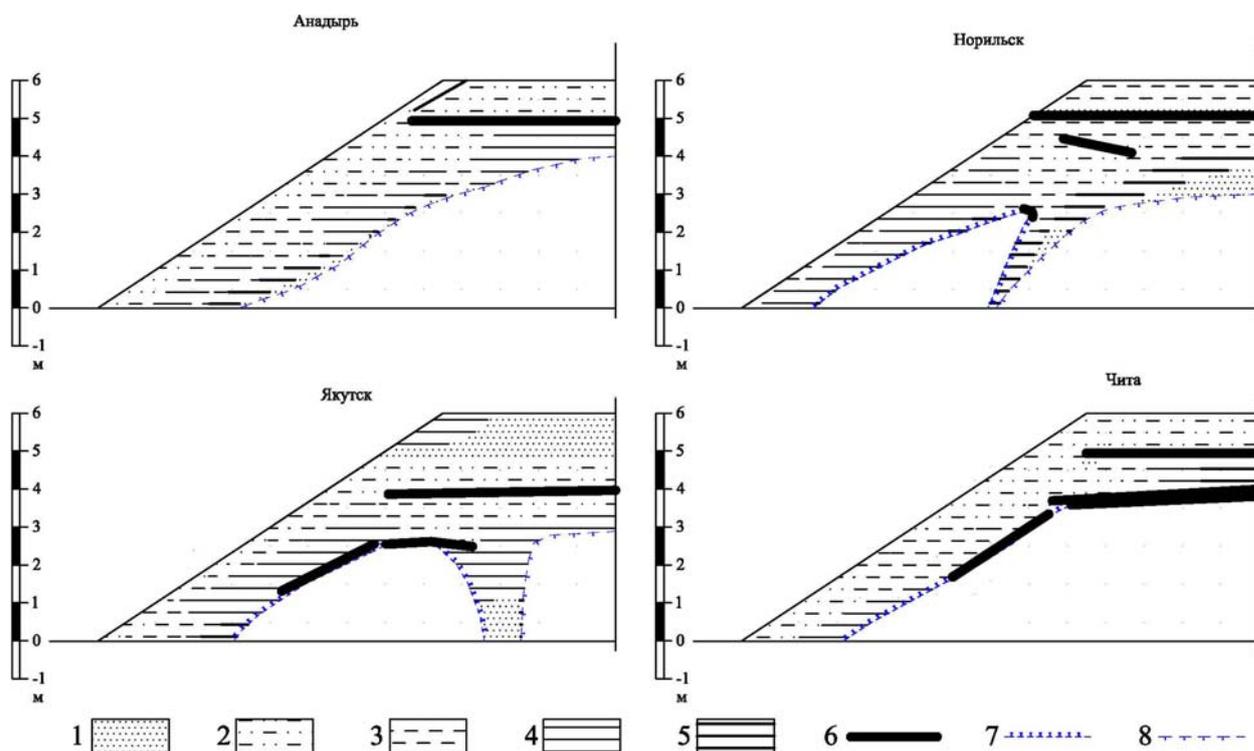


Рисунок 4. Прогноз криогенного строения сезонномёрзлых грунтов насыпи в пунктах характеризующихся различными типами квазистационарного температурного поля в грунтах ПТС автомобильных и железных дорог. Цифрами обозначены: 1-6 - криогенные текстуры: 1 – массивная, 2 – линзовидная, 3 – микрошлировая 4 – тонкошлировая, 5 – средне- и крупношлировая, 6 – зоны интенсивного льдовыделения; 7 – подошва сезонно-мёрзлого слоя, 8 – кровля многолетнемёрзлых пород.

Криогенное пучение – Активизация криогенного пучения в насыпных тонкодисперсных грунтах возможна по миграционному и инъекционному механизму. В зависимости от КТП пучение по миграционному механизму может развиваться в условиях закрытой системы (устойчивый тип), закрытой и открытой системы (переходные типы) и открытой системы (неустойчивый тип). Инъекционный механизм пучения характерен для насыпей с устойчивым типом КТП.

Результатом криогенного пучения тонкодисперсных грунтов насыпи будет являться сезонное разрушение дорожного полотна и откосов насыпи за счёт напряжений пучения и оттаивания льдистых ядер сезонных бугров пучения. Под влиянием криогенного пучения неравномерность свойств грунтов насыпи будет увеличиваться, что негативно скажется на устойчивости дорог.

Морозобойное растрескивание – расчёт устойчивости грунтов земляного полотна к морозобойному растрескиванию позволил вычислить минимальные вертикальные температурные градиенты для формирования морозобойных трещин в различных средах (8,1-9,8°С/м в асфальтобетоне, 6,7°С/м в пылеватой супеси льдистостью 0,15 д.е. и 2-2,5°С/м для чистого льда). С учётом данных моделирования температурного поля был выполнен расчёт расстояний между морозобойными трещинами в земляном полотне для различных пунктов в пределах криолитозоны, таблица 1.

Таблица 1 Расстояние между морозобойными трещинами земляном полотне

Пункты	Месяцы						
	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель
Анадырь	-	5,1/4,2/1,2*	2,9/2,4/0,7	4,6/3,8/1,3	5,4/4,9/1,6	8,3/6,8/2,3	-
Норильск	16,6/13,8/4,1	3/2,5/0,7	3,2/2,6/0,9	4,2/3,4/1,1	5/4,1/1,4	8/6,6/2,2	15,7/13/4,3
Якутск	-	2,3/1,9/0,6	2,2/1,8/0,6	2,5/2,1/0,7	3,4/2,8/0,9	7,6/6,3/2,1	-
Чита	-	4,7/3,9/1,1	2,7/2,2/0,7	2,4/2/0,7	4/3,3/1,1	8,9/7,4/2,1	-

- * расстояние между морозобойными трещинами в м для асфальтобетона/супеси пылеватой/льда

Также была проведена оценка глубины проникновения морозобойных трещин для данных пунктов: для Читы и Анадыря она составила 2-3 м, для Якутска – 3-4 м, для Норильска – 4-5м.

Влияние морозобойного растрескивания на устойчивость ПТС автомобильных и железных дорог в криолитозоне проявляется, в первую очередь, через возможность повреждения твёрдого покрытия автодорог, формирование неравномерностей в насыпных грунтах и увеличении их льдистости в зимний период и влажности в летний.

В целом, можно сделать вывод о нарастающем снижении устойчивости насыпных грунтов во времени под воздействием криогенных процессов. Тип квазистационарного температурного поля ПТС в значительной мере определяет активность криогенных процессов в насыпных грунтах. В то же время, основной движущей силой рассмотренных криогенных процессов в насыпных грунтах являются сезонные колебания температуры. Специфические условия теплообмена в насыпных грунтах вызывают изменения механического состава, прочностных свойств и криогенного строения, которые при воздействии динамических нагрузок от движущегося транспорта могут проявляться в виде деформаций дорожного полотна. Особенно интенсивно криогенное преобразование грунтов насыпи идёт под основной площадкой насыпи.

В разделе 4.2 рассмотрены условия активизации криогенных процессов в естественных грунтах в основании земляного полотна ПТС автомобильных и железных дорог в криолитозоне. Было рассмотрено влияние следующих криогенных процессов на строение, состав и свойства насыпных грунтов:

Термокарст – Возможность активизации термокарста была оценена сопоставлением осадок при оттаивании грунтов и величин критической толщины снега и глубины водоёма для пунктов, по которым проводилось моделирование температурного поля. Превышение осадки при оттаивании над величиной критической толщины снега/глубины водоёма означает благоприятные условия для активизации термокарста. Результаты расчётов приведены в таблице 2.

Были также рассмотрены условия активизации термокарста в выемках. По результатам сравнения величины снежного покрова в выемках и критической мощности

снега для различных пунктов, а также анализа литературных источников сделан вывод о преимущественно деградиционных тенденциях эволюции ММП в выемках.

Таблица 2 Суммарная осадка в основании насыпей в различных пунктах криолитозоны.

Пункт	Средняя льдистость оттаивающих грунтов, д.е.	Средняя влажность оттаивающих грунтов, д.е.	Σ осадка оттаивающих грунтов, м.	Критическая глубина водоёма/мощность снега, м ($H_{кр}$)	Σ осадка/ $H_{кр}$
Краснощелье	0,32	0,5	2,2	0,3/0,4	6,3
Нарьян-Мар	0,28	0,37	1,1	0,9/0,7	1.4
Воркута	0,25	0,38	0,5	0,8/0,9	0,6
Салехард	0,25	0,25	1,1	1,2	0,9
Тазовский	0,25	0,37	0,4	1,0	0.4
Норильск	0,4	0,6	0,7	0,75	0,9
Якутск	0,2	0,23	0,2	Н.д.	$\approx 0.4-0.5$
Бомнак	0,17	0,22	0,6	0,2-0,7/0,4-0,7	1.1
Чита	0,18	0,24	0,6	Н.д.	≈ 1

Влияние термокарста на устойчивость автомобильных и железных дорог в криолитозоне будет проявляться в первую очередь через снижение несущей способности естественных грунтов оснований, вне зависимости от того будут они находиться в талом или мёрзлом состоянии. Мёрзлые грунты под воздействием термокарста будут испытывать повышение температуры, что будет снижать прочность их смерзания. Воздействие термокарста на талые грунты более опосредованно: сформировавшиеся под влиянием термокарста просадки на поверхности естественных грунтов будут являться центрами аккумуляции влаги, что будет способствовать их разжижению и снижению несущей способности.

Криогенное выветривание - Активизация криогенного выветривания в естественных грунтах основания земляного полотна происходит, в основном, на участках выемок. В основании насыпи обычно отсутствуют частые фазовые переходы воды, а также значительные колебания влажности и температуры. Кроме того, в основании насыпей залегают, как правило, грунты уже в значительной мере подвергшиеся процессам криогенного преобразования и в меньшей степени подверженные изменениям свойств под воздействием выветривания. В целом масштаб активизации криогенного выветривания грунтов в основании выемок в какой-то степени пропорционален глубине выемки и, как следствие, масштабу изменений термодинамических и влажностных условий в зоне аэрации. Резкое изменение условий теплообмена через поверхность будет провоцировать быстрое изменение свойств грунтов в основании выемки и снижение её устойчивости к воздействию механических нагрузок и криогенных процессов.

Криогенное пучение – активизация криогенного пучения естественных грунтов в основании земляного полотна возможна в первую очередь в условиях устойчивого и переходного низкотемпературного типов КТП за счёт характерного понижения температуры грунтов. Понижение температуры, сопровождающееся уменьшением

количества незамёрзшей воды и льдовыделением, будет вызывать объёмные деформации в грунтах. В условиях переходного низкотемпературного типа КТП возможно формирование направленного потока миграции влаги из горизонтов, характеризующихся повышением температуры (что сопровождается увеличением количества незамёрзшей воды) в массивы грунтов под основной площадкой насыпи, испытывающие некоторое понижение температуры. Активизация криогенного пучения естественных грунтов в меньшей степени свойственна пунктам с переходным высокотемпературным и неустойчивым типом КТП, так как величина температурного градиента при промерзании естественных грунтов редко превышает пороговое для начала миграции значение $0,3^{\circ}\text{C}/\text{м}$. Кроме температурного фактора и миграции влаги, важное значение для формирования ледяных прослоев играет литологическая неоднородность в промерзающей системе насыпь-естественное основание. Мигрирующая к фронту промерзания в виде плёнок в тонкодисперсных грунтах основания, влага, достигая грубообломочных насыпных грунтов, где уже невозможен плёночный механизм миграции, может накапливаться на литологической границе, формируя ледяной прослой.

Статическая нагрузка от насыпных грунтов будет препятствовать миграции влаги в естественных грунтах и, вероятно, при высоте насыпи более 6-10 м криогенное пучение не может будет проявляться из-за повышенной нагрузки и снижения величины температурных градиентов при промерзании.

Криогенное пучение грунтов естественного основания в выемках носит достаточно ограниченный характер, т.к. в основании выемок чаще залегают скальные, щебенистые или песчаные грунты, которым не свойственны процессы интенсивного влагопереноса под воздействием температурного фактора.

Влияние криогенного пучения в естественных грунтах основания земляного полотна на устойчивость ПТС автомобильных и железных дорог проявляется в виде сезонного и многолетнего процесса накопления льда в основании земляного полотна. В случае сезонного пучения ежегодное оттаивание такого льдистого прослоя будет приводить к формированию объёма грунтов с повышенной влажностью, который может интенсивно деформироваться под воздействием динамической нагрузки от движения транспорта. В случае многолетнего пучения с формированием значительного по мощности льдистого ядра в основании насыпи произойдёт снижение несущей способности верхних горизонтов грунтов за счёт увеличения содержания льда и, возможно, активизация реологических процессов под действием статической и динамической нагрузок.

Реологические процессы в мёрзлых грунтах основания земляного полотна – реологические процессы в мёрзлых грунтах проявляются под действием статической нагрузки превышающей прочность смерзания грунтов. В работе приведено соотношение несущей способности мёрзлых грунтов за счёт сил смерзания и статической нагрузки от насыпи, рис 5.

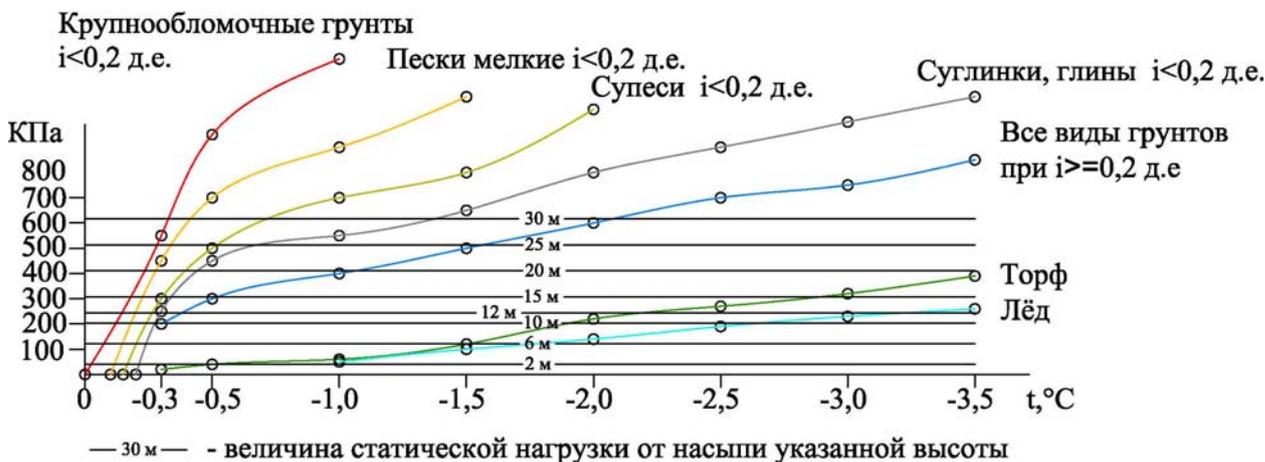


Рисунок 5. Несущая способность за счёт сил смерзания различных видов грунтов в зависимости от их механического состава, льдистости и температуры. Приведены также значения статической нагрузки под основной площадкой насыпей различной высоты.

Анализ данных приведённых на рисунке 5 позволяет сделать вывод, что наибольшую опасность развитие реологических процессов будет представлять для насыпей в условиях переходного высокотемпературного типа КТП, что объясняется высокой температурой мёрзлых грунтов и резким понижением несущей способности за счёт сил смерзания в диапазоне температуры от 0 до -1°C .

Развитие процессов ползучести в основании земляного полотна автомобильных и железных дорог в криолитозоне представляют значительную угрозу для устойчивости техногенных компонентов ПТС. Деформации естественного массива мёрзлых грунтов под влиянием нагрузки от насыпи могут развиваться длительное время и приводить не только к деформациям инженерных сооружений, но и к изменению криогенного строения и физико-механических свойств грунтов в основании насыпи.

По результатам данных приведённых в подглаве 4.2 можно сказать, что активизация криогенных процессов в естественных грунтах основания земляного полотна вызвана преимущественно многолетними изменениями температурного поля, под воздействием которых верхние горизонты многолетнемёрзлых пород могут значительно изменять свои свойства и, в первую очередь, несущую способность. Благоприятные условия для активизации криогенных процессов в основании земляного полотна дорог создаются, в первую очередь на участках льдистых, биогенных и глинистых грунтов. Термокарст и реологические процессы в естественных грунтах в основании насыпи могут

развиваться за счёт самоподдерживающихся механизмов даже после стабилизации температурного поля в ПТС.

В разделе 4.3 рассмотрены предпосылки активизации и условия протекания криогенных процессов на прилегающих к земляному полотну территориях.

В результате анализа изменения растительных сообществ в полосе техногенного воздействия выявлено, что в наибольшей степени термодинамическое равновесие нарушается при сведении лесов с высоким показателем сомкнутости крон (в первую очередь темнохвойных) и повреждении мохово-торфяных покровов. Рассмотрена и проанализирована также скорость сукцессии растительности и влияние сукцессионных видов на многолетнемёрзлые и сезоннопромерзающие грунты в пределах полосы техногенного воздействия.

Влияние механического нарушения поверхности грунтов проявляется в первую очередь в образовании благоприятных, в первую очередь геоморфологических, условий для активизации опасных криогенных процессов – искусственных отрицательных и линейно-вытянутых форм рельефа. Также важным аспектом механического нарушения поверхности является фрагментация теплофизических свойств верхних горизонтов мёрзлых пород и нарушение их прочностных свойств, что может вызвать неравномерность промерзания и повышенный уровень миграции вещества как в ходе процессов денудации, так и в результате протекания криогенных процессов, в частности криогенного пучения.

Изменения гидрологического режима (гидроморфности) территории происходят в первую очередь при наличии грунтового стока, направленного под углом к направлению трассы автомобильной или железной дороги. Интенсивность грунтового стока, значительно изменяющаяся в зависимости от факторов рельефа и климата, а также величина снижения фильтрационной способности грунтов в основании земляного полотна будут определять масштаб изменения гидрологического режима территории. Зависимость показателя интенсивности грунтового стока от условий конкретного ПТК делает данный, очень важный фактор, зависящим в первую очередь от локальных условий. Важную роль в изменении гидрологического режима играет и состав сезоннооттаивающих грунтов – связные грунты более подвержены изменению фильтрационной способности под нагрузкой, нежели песчаные и более грубые грунтовые разности.

Криогенные процессы, активизация которых будет происходить в зоне техногенного воздействия дорог, будут в целом, негативно влиять на устойчивость массивов естественных мёрзлых грунтов, способствуя изменению их свойств, сложения и структуры. Активизация криогенных процессов в полосе отвода может радикально

изменить условия микрорельефа и грунтового стока, что приведёт к перестройке ландшафтной структуры ПТК и, как следствие, условий теплообмена через поверхность.

Масштаб активизации криогенных процессов в зоне техногенного влияния дороги напрямую связан со степенью нарушения естественных потоков вещества и энергии в ПТК. Чем более сложной в геоморфологическом и геоботаническом аспекте является ландшафтная структура ПТК, тем большее количество таких потоков будет нарушено при техногенном воздействии и тем более разрушительным для мёрзлых пород будут последствия техногенного вмешательства.

Глава 5. Влияние криогенных процессов на деформации земляного полотна в криолитозоне

В главе на основании результатов полевых наблюдений выделены несколько основных морфологических типов деформаций земляного полотна. Рассмотрены комплексы криогенных процессов, которые могут быть причиной формирования данных деформаций в условиях криолитозоны и регионов с глубоким сезонным промерзанием.

Для каждого выделенного типа деформаций были определены криогенные процессы, способствующие их образованию. *Осадки земляного полотна* возникают в результате деструкции грубодисперсных грунтов насыпи, многолетнего оттаивания естественных грунтов в основании насыпи и недостаточной несущей способности мёрзлых и сезонно-оттаивающих грунтов. *Волнообразные деформации основной площадки* вызваны в основном неравномерностью промерзания и оттаивания грунтов земляного полотна, а также воздействием морозобойного растрескивания. *Локальные просадки* формируются в основном в результате воздействия криогенных процессов у основания земляного полотна. *Отседанию откосов земляного полотна* способствует неравномерность положения кровли мёрзлых пород под основной площадкой и откосами насыпи. *Оползание и эрозия откосов земляного полотна* во многом связаны с неравномерным увлажнением и переувлажнением грунтов насыпи, в том числе в результате неравномерного льдовыделения в сезонно-промерзающих грунтах насыпи. Основной причиной развития *отседания основной площадки земляного полотна* является развитие термокарста на прилегающих к земляному полотну территориях. *Пучины* вызываются в первую очередь неравномерным сезонным промерзанием грунтов насыпи сопровождающимся избыточным льдовыделением.

Высказанные предположения о генезисе деформаций позволили объединить их в три основные группы, которые отличаются в первую очередь условиями развития

криогенных процессов, которые определены как ведущие факторы при формировании различных типов деформаций.

В первую группу входят деформации, причиной возникновения которых являются в основном сезонные колебания температуры грунтов. К данной группе относятся осадки земляного полотна за счёт выветривания материала насыпи и деформации сезонно-талого слоя, волнообразные деформации, пучины, оползание и эрозия откосов земляного полотна. Деформации первой группы носят длительный характер, проявляясь зачастую в течение всего периода эксплуатации сооружения. Влияние таких деформаций на устойчивость ПТС автомобильных и железных дорог в криолитозоне в значительной мере зависит от характеристик насыпных грунтов.

Во вторую группу входят деформации, причиной которых является многолетнее изменение температурного поля в основании земляного полотна. К данной группе относятся осадки в результате многолетнего оттаивания и недостаточной несущей способности естественных грунтов основания, а также отседание откосов земляного полотна. Развитие деформаций второй группы может носить масштаб, угрожающий целостности сооружений и устойчивости природных комплексов их вмещающих. Деформации, возникающие вследствие многолетних изменений температурного поля, могут носить самоподдерживающийся характер и увеличивать масштаб проявлений во времени.

К третьей группе относятся деформации провоцируемые активизацией криогенных процессов на участках, прилегающих к земляному полотну. К таким деформациям, в первую очередь, относятся локальные просадки и отседание основной площадки. Развитие деформаций данной группы вызвана в первую очередь недоучётом изменений процессов в ПТК под воздействием техногенной нагрузки, её масштабом, а также недостаточностью мер инженерной защиты сооружения. Деформации третьей группы могут приобретать самоподдерживающийся механизм, а могут и стабилизироваться при восстановлении состояния ПТК в период эксплуатации сооружения.

Глава 6. Основные рекомендации по повышению устойчивости природно-технической системы автомобильных и железных дорог в криолитозоне

В данной главе, на основании выделенных групп деформаций и ведущих процессов их вызывающих, рассмотрены рекомендации для повышения устойчивости земляного полотна с учетом выявленных факторов осложняющих эксплуатацию автомобильных и

железных дорог. Обзор существующих методов стабилизации деформаций земляного полотна проводился применительно к выделенным в главе 5 группам деформаций исходя из того, что стабилизация участков дорог, пораженных деформациями определённой группы, должна основываться на специфических особенностях развития криогенных процессов в данной группе.

Для деформаций первой группы, которые вызываются сезонными колебаниями температуры, наиболее рациональным путём стабилизации дорожного полотна является ограничение амплитуды и глубины проникновения сезонных колебаний температуры и ликвидация возможностей для миграции и накопления влаги в грунтах. Достижению данной цели будет способствовать армирование грунтов, применение тепло- и гидроизолирующих материалов, а также использование в качестве материала насыпи местных дисперсных грунтов, имеющих большую стабильность свойств во времени, чем например осадочные скальные грунты.

Развитие деформаций второй группы определяется многолетним изменением (чаще всего повышением) температуры, а также составом и свойствами грунтов в основании дорог. Для их устранения разработано множество методов стабилизации, направленных в первую очередь на понижение температуры грунтов в основании дорог, что предупреждает их оттаивание и увеличивает устойчивость к активизации процессов ползучести. Наиболее эффективными методами является применение сезонно-охлаждающих установок и солнце- и осадкозащитных экранов.

Для предотвращения развития деформаций, вызванных активизацией криогенных процессов и ускоренной деградацией мёрзлых пород в пределах полосы отвода, можно использовать меры их предупреждения (активный подход) и методы стабилизации для снижения интенсивности развития процессов (пассивный подход). Меры предупреждения развития деформаций заключаются в первую очередь в особенностях трассирования дорог, заключающихся в обходе наименее устойчивых к техногенному воздействию ПТК, и минимизации повреждения растительных покровов в ходе строительства. Методы снижения интенсивности развития опасных криогенных процессов заключаются в основном в инженерной защите территории и компенсации негативных последствий строительства.

Отмечается повышенная важность геокриологического прогноза с точки зрения выбора участков и методов стабилизации для увеличения экономической целесообразности строительства. Геокриологическое прогнозирование для целей транспортного строительства должно учитывать три основных показателя – принадлежность участка к тому или иному типу КТП в грунтах, сложность природных

условий и тип строения земляного полотна, во многом определяющий величину техногенной нагрузки.

Неотъемлемой частью обоснования мер стабилизации на уже деформирующихся участках является система геокриологического мониторинга, которая для полноценного функционирования должна включать в себя данные о состоянии природной среды до начала строительства, масштабах техногенных нарушений в ходе изысканий и строительства, технические решения и эффективность их реализации на стадии строительства и эксплуатации сооружения.

В **заключении** приведены основные результаты диссертационной работы, состоящие в следующем:

1. Проведена типизация грунтовых масс в ПТС автомобильных и железных дорог в криолитозоне на основе анализа генезиса грунтов и воспринимаемых ими нагрузок. Выделено 3 типа грунтовых масс: насыпные грунты, грунты в основании земляного полотна и грунты в зоне техногенного влияния земляного полотна.
2. Определено, что в различных пунктах криолитозоны в пределах ПТС автомобильных и железных дорог формируются 4 типа квазистационарного температурного состояния (поля): устойчивый, переходный низкотемпературный, переходный высокотемпературный и неустойчивый.
3. Тип квазистационарного температурного поля является определяющим фактором развития криогенных процессов в грунтах ПТС автомобильных и железных дорог в криолитозоне.
4. Изучение типов деформаций и криогенных предпосылок их образования показало, что значительная часть деформаций дорог в криолитозоне в той или иной степени может быть объяснена активизацией криогенных процессов в пределах ПТС автомобильных и железных дорог. Предложена классификация типов деформаций в зависимости от связи вызывающих их процессов с различными типами грунтовых массивов и причинами активизации криогенных процессов в них.
5. В зависимости от принадлежности к генетической группе рассмотрены методы стабилизации выделенных деформаций и проведён краткий анализ их эффективности. Также предложены методы повышения эффективности мерзлотного прогноза для целей транспортного строительства и основные задачи геокриологического мониторинга на объектах дорожной сети.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Исаков В.А., Наумов М.С., Телков Ф.С. Обследование грунтов оснований на направлении «Улак – Эльга». // Путь и путевое хозяйство. №4, 2013. С. 28-31.
2. Исаков В.А. Прогноз температурного режима грунтов насыпи и естественного основания земляного полотна в различных регионах криолитозоны.// Инженерная геология. №4, 2014. С. 56-63.
3. Исаков В.А. Температурный режим в основании дорог в вечной мерзлоте. //Вестник Московского Университета. Серия 5:География. №3, 2015, С. 25-34.

Материалы конференций:

4. Исаков В.А., Панченко Е.Г. Мерзлотно–экологические проблемы при возведении трассы железной дороги «Обская – Бованенково».// Человеческое измерение в региональном развитии: Доклады II Всероссийской научно-практической конференции (Нижневартовск, 4-7 декабря 2008 г.) / Отв. ред. О.Ю. Вавер, И.Е. Клемина, Г.К. Ходжаева. – Нижневартовск: НГГУ, 2009. С. 42-44.
5. Исаков В.А. Анализ природно-техногенных геокриологических факторов влияющих на устойчивость основания железной дороги «Улак – Эльга» на участке 125 – 149 км. / Инженерные изыскания в строительстве (Мат-лы VII научно-практической конференции молодых специалистов) – М.: ОАО «ПНИИИС», 2011. С. 144 – 150.
6. Исаков В.А. Основные типы и причины развития деформаций автомобильных и железных дорог в Норильском промышленном районе. //Материалы Десятой Международной конференции по мерзлотоведению (TICOP), Том 3: Статьи на русском языке./Под ред. В.П. Мельникова. – Тюмень, Россия: Печатник, 2012. С. 207 – 211.
7. V. Isakov Main types and causes of deformations on railways and roads in Norilsk industrial district. //Proceedings of the Tenth international Conference on Permafrost. Vol.2: Translations of Russian contributions. Melnikov P.I. (ed.) The Northern publisher, Salekhard, Russia, 2012, pp. 133 – 136.
8. Байкова Л.А., Исаков В.А. Проявления опасных инженерно-геологических процессов в выемках железной дороги «Беркакит – Томмот - Якутск» и методы борьбы с ними.// Мат-лы Международной научно-практической конференции «ГЕОРИСК 2012»: в 2-х т. Т.1.- М.:РУДН, 2012. С. 279 – 284.
9. Исаков В.А., Телков Ф.С. Геокриологический мониторинг на объектах дорожной сети в криолитозоне России // Инженерные изыскания в строительстве: Мат-лы IX науч.-практ. конф. молодых специалистов. М.: ОАО «ПНИИИС», 2013. С. 191–197.