



КОНДРАТЬЕВ Сергей Валентинович

**ДЕФОРМАЦИИ ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ЧАСТИ ФЕДЕРАЛЬНОЙ
АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ «АМУР» ЧИТА – ХАБАРОВСК
НА УЧАСТКАХ ЛЬДИСТЫХ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ:
ПРИЧИНЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ
(на примере перехода через руч. Чичон)**

25.00.08 – «Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение»

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-
минералогических наук**

Работа выполнена на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Забайкальский государственный университет».

Научный руководитель: Доктор геолого-минералогических наук, профессор
Кондратьев Валентин Георгиевич,
профессор кафедры гидрогеологии и
инженерной геологии ФГБОУ ВПО ЗабГУ, г. Чита

Официальные оппоненты: Доктор технических наук
Чжан Рудольф Владимирович,
главный научный сотрудник лаборатории инженерной
геокриологии ФГБУН «Институт мерзлотоведения
им. П.И. Мельникова СО РАН», г. Якутск

Кандидат геолого-минералогических наук
Верхозин Иван Иванович,
Заведующий кафедрой прикладной геологии
ФГБОУ «Иркутский государственный национальный
исследовательский технический университет,
г. Иркутск

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Томский государственный
архитектурно-строительный университет», г. Томск

Защита состоится « » _____ 2016 г. в __ часов на заседании диссертационного совета Д 003.022.01 при Институте земной коры СО РАН по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Иркутского научного центра в здании Института земной коры СО РАН.

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенных печатью учреждения, просим направлять по указанному адресу учёному секретарю совета к.г.-м.н. В.В. Акуловой. Тел: (3952) 42-61-33, fax: (3952) 42-69-00, e-mail: akulova@crust.irk.ru

Автореферат разослан « » _____ 2016 г.

Учёный секретарь диссертационного совета,
кандидат геолого-минералогических наук

В.В. Акулова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Федеральная автомобильная дорога «Амур» Чита – Хабаровск, протяженностью 2165¹ км, является одной из крупнейших современных строек в России. Ее строительство было начато в 1978 г., завершено – в 2010 г. Дорога в широтном направлении пересекает Забайкалье и Приамурье – территории с разнообразными геолого-тектоническими, геоморфологическими и ландшафтно-климатическими условиями, что предопределяет сложность и значительную неоднородность инженерно-геокриологических условий (ИГУ) трассы и их изменчивость при строительстве и эксплуатации дороги, развитие инженерно-геокриологических процессов и явлений (ИГПЯ), существенно осложняющих эксплуатацию стратегически важной дороги – третьего по историческому значению, после Транссиба и БАМ, сухопутного пути между Байкалом и Дальним Востоком. Весь более чем 120-летний опыт Транссиба и 40-летний опыт БАМ показывают, что основной научно-технической проблемой строительства и эксплуатации дорог в регионе была и остаётся проблема обеспечения стабильности земляного полотна (ЗП) и искусственных сооружений (ИССО) в условиях вечной мерзлоты и глубокого сезонного промерзания грунтов. Шестилетний опыт эксплуатации дороги «Амур» также свидетельствует об этом: во многих местах она разрушается под воздействием ИГПЯ.

Цель исследования – разработать научно-методические основы геокриологического обеспечения стабильности ЗП Забайкальской части (ЗЧ) дороги «Амур» на участках льдистых многолетнемерзлых грунтов (ММГ).

Задачи исследования.

Для достижения цели поставлены задачи:

1. Собрать, проанализировать и обобщить данные инженерно-геологических изысканий, а также опубликованные сведения и охарактеризовать основные пространственные закономерности ИГУ трассы ЗЧ дороги «Амур».
2. Дать оценку возможных изменений ИГУ ЗЧ трассы дороги «Амур» в период её эксплуатации.
3. Охарактеризовать деформации ЗЧ дороги «Амур» на участках льдистых ММГ и выявить возможности их предотвращения.
4. Выявить причины многолетних деформаций дороги «Амур» на участке перехода через долину руч. Чичон и определить пути решения проблемы.
5. Разработать рекомендации по инженерно-геокриологическому обеспечению (ИГО) эксплуатации дороги «Амур».

Объектом исследования в работе являются сезонно-мерзлые, сезонно-талые и многолетнемерзлые горные породы, криогенные процессы и явления, а **предметом** – состав системных мер по предотвращению, ослаблению или устранению вредного воздействия ИГПЯ на ЗП дороги «Амур» на участках льдистых грунтов.

¹ По уточненным данным – 2107 км

Основная идея работы состоит в том, что геокриологические условия трассы дороги «Амур», проходящей по южной окраине криолитозоны, являются весьма неоднородными и динамичными в естественной обстановке и кардинально изменяются под воздействием техногенных факторов при строительстве и эксплуатации дороги, вызывая развитие опасных ИГПЯ, поэтому геокриологическая обстановка на трассе должна постоянно контролироваться, анализироваться и оцениваться для своевременного принятия мер по предотвращению, ослаблению или устранению вредного воздействия их на дорогу «Амур».

Методы исследования, применённые для решения поставленных задач: анализ и синтез материалов инженерно-геологических изысканий и опубликованных сведений о деформациях земляного полотна (ДЗП) на льдистых ММГ и способах их прекращения, натурные наблюдения и обследования, тематическое картографирование и теоретические обобщения.

Защищаемые научные положения.

1. Геокриологические условия Забайкальской части дороги «Амур», проходящей по южной окраине криолитозоны, характеризуются сложностью, неоднородностью и высокой динамичностью в естественных условиях и, в особенности, под техногенным воздействием при строительстве и эксплуатации дороги. Отмечено, что опасные инженерно-геокриологические процессы и явления здесь могут развиваться как при возможном потеплении климата, так и при возможном похолодании. Характер и масштаб их развития, степень опасности для различных участков трассы определяются конкретными инженерно-геокриологическими условиями и конструктивными особенностями дороги.

2. Многолетние деформации Забайкальской части дороги «Амур» обусловлены деградацией льдистых многолетнемерзлых грунтов в её основании под воздействие солнечной радиации, теплых летних осадков, повышенной мощности снежного покрова на откосах насыпи и части прилегающей территории. Обеспечение стабильности дороги в этих условиях необходимо осуществлять преимущественно путем прекращения деградации многолетней мерзлоты регулированием теплотоков между земляным полотном и атмосферой с помощью солнцезащитных навесов, снегоочистки, изменения альbedo поверхности и противодиффузионной пленки.

3. Концепция специального инженерно-геокриологического сопровождения эксплуатации дороги «Амур» предусматривает мониторинг естественных и техногенных изменений природно-климатических условий, температурного режима, оттаивания и промерзания грунтов, развития инженерно-геокриологических процессов и явлений, воздействия их на дорогу, что позволяет своевременно оценивать степень их опасности и разрабатывать превентивные и компенсационные защитные мероприятия, повышающие экономичность и безопасность дороги.

Методологические и теоретические основы исследования. При выполнении работы автор опирался на теоретические разработки в области мерзлотоведения и инженерной геологии, изложенные в трудах В.Р. Алексеева, Л.С. Гарагули, В.А. Давыдова, Б.Н. Достовалова, Э.Д. Ершова, В.Г. Кондратьева, В.А. Королёва, В.А. Кудрявцева, В.К. Лапердина, А.М. Лехатинова, А.В. Львова, В.И. Осипова, А.В. Павлова, Е.М. Сергеева, М.И. Сумгина, Н.И. Толстихина, В.Т. Трофимова, М.М. Филатова, Р.В. Чжана, П.Ф. Швецова, Шестернева Д.М., Н.А. Шполянской, и др., а также на региональные и методические работы по геокриологии, инженерной геологии и дорожному строительству в криолитозоне.

Достоверность и обоснованность выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертационной работе, подтверждаются большим объёмом теоретических обобщений материалов инженерно-геологических изысканий по трассе дороги «Амур», проведенных ОАО «Иркутскгипродорнии» и другими организациями, а также данными многолетних натуральных наблюдений и исследований ООО «ТрансИГЭМ», в которых автор принимал непосредственное участие в 2004-16 гг.

Научная новизна работы заключается в том, что в ходе исследования впервые:

1) собраны, проанализированы и обобщены сведения об ИГУ дороги «Амур», совместно с проф. Кондратьевым В.Г. и с.н.с. Соболевой С.В. составлена обзорная схема мерзлотно-геоморфологического районирования ЗЧ части трассы дороги и 7 крупномасштабных врезок в виде схем ландшафтного микрорайонирования, инженерно-геокриологических профилей по оси дороги и таблиц ИГУ характерных (ключевых) участков, позволяющие охарактеризовать пространственные закономерности сложных и неоднородных ИГУ в зависимости от геоморфологических, геолого-тектонических и ландшафтно-климатических факторов;

2) дана, совместно с проф. Кондратьевым В.Г. и проф. Гарагулей Л.С., прогнозная оценка возможных техногенных изменений мерзлотных условий ЗЧ трассы дороги «Амур» в период её эксплуатации при двух сценариях изменения климата: потепления и похолодания, показавшая закономерное развитие опасных ИГПЯ: термокарста, термоэрозии, солифлюкции, сезонного пучения грунтов в первом случае и морозобойного растрескивания грунтов и дорожных одежд, многолетнего пучения, наледей – во втором;

3) выполнен анализ длительных ДЗП на участках льдистых ММГ ЗЧ дороги «Амур», показавший, что главной причиной их является деградация ММП в основании дороги, предотвратить которую предложено с помощью активных способов управления теплообменом между атмосферой и массивом ММГ;

4) обобщены материалы 16-летних наблюдений за развитием постоянных деформаций дороги «Амур» на участке перехода через руч. Чичон, проанализирована практика многочисленных попыток стабилизировать участок, выявлены причины деформаций и определены пути решения проблемы;

5) разработаны, на основе концепции системы инженерно-геокриологического мониторинга дороги «Амур», предложенной проф. Кондратьевым В.Г., рекомендации по ИГО эксплуатации ЗЧ дороги «Амур»,

позволяющие постоянно отслеживать возникновение и развитие ИГПЯ, оценивать степень их опасности и разрабатывать защитные мероприятия.

Практическое значение работы в том, что по результатам исследования разработаны «Рекомендации по инженерно-геокриологическому обоснованию эксплуатации федеральной автомобильной дороги «Амур» Чита – Хабаровск», которые переданы в Росавтодор Министерства транспорта Российской Федерации по государственному контракту № ОПО-12/736 от 26.11.2004 г., разработана «Программа инженерно-геокриологического мониторинга автодороги Р-297 «Амур» Чита – Хабаровск» и передана ОАО «Иркутскгипродорнии» – генеральному проектировщику автодороги «Амур» по договору ООО «ТрансИГЭМ» № 81 от 30.07.2012 г., разработано по поручению Управления эксплуатации и сохранности автомобильных дорог Росавтодора «Заключение о проектных решениях ООО «СметаПлюс» по стабилизации участка автомобильной дороги Р-297 «Амур» Чита – Хабаровск, км 246+500 – км 247+500», которое передано в Росавтодор и в ФКУ Упрдор «Забайкалье» в феврале 2013 г.

Материалы исследования используются в учебном процессе в ЗабГУ по курсу «Методология и методика геокриологических исследований» и в МГУ им. М.В. Ломоносова по курсу «Геокриологическое обоснование изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации линейных сооружений».

Личный вклад автора состоит в постановке цели и задач исследования; в сборе, анализе и обобщении данных об ИГУ и их изменении ЗЧ трассы дороги «Амур»; участии в составлении обзорной схемы мерзлотно-геоморфологического районирования ЗЧ трассы и 7 крупномасштабных инженерно-геокриологических врезок на ключевые участки трассы, в разработке прогнозной оценки возможных изменений мерзлотных условий ЗЧ части трассы при эксплуатации дороги, в разработке рекомендаций по ИГО эксплуатации дороги «Амур», в разработке рекомендаций по стабилизации ЗП на участках льдистых ММГ ЗЧ дороги «Амур»; в обобщении материалов многолетних наблюдений за развитием постоянных деформаций дороги «Амур» на участке перехода через руч. Чичон, в анализе практики многочисленных попыток стабилизировать участок, в выявлении причин деформаций и в разработке путей решения проблемы.

Реализация результатов работы. Научно-методические основы ИГО эксплуатации федеральной дороги «Амур», изложенные в диссертации и переданные в виде рекомендаций в Росавтодор, ОАО «Иркутскгипродорнии», ФКУ Упрдор «Забайкалье», позволяют разработать проект создания системы инженерно-геокриологического мониторинга дороги «Амур», реализация которого обеспечит наиболее полный учет ИГУ трассы дороги для повышения ее надежности и безопасности при одновременном снижении непроизводительных затрат на ее содержание, разработать мероприятия по стабилизации ЗП дороги «Амур» на участках льдистых ММГ, включая участок перехода её через долину руч. Чичон. Рекомендации могут быть использованы и для других автодорог, а также других линейных сооружений в районах с вечной мерзлотой и глубоким сезонным промерзанием грунтов.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались, обсуждались и получили поддержку на конференциях и совещаниях, в том числе: Международной научно-практической конференции по инженерному мерзлотоведению, посвященной XX-летию ООО НПО «Фундаментстройаркос» (Тюмень, 2011); XX совещании по подземным водам Сибири и Дальнего Востока России (Иркутск, 2012); Международной научно-практической конференции «Инновационные факторы развития Транссиба на современном этапе», посвященной 80-летию Сибирского гос. ун-та путей сообщения (Новосибирск, 2012); Третьем Дорожном Конгрессе «Модернизация и научные исследования в дорожной отрасли» (Москва, 2013); Четвертом Дорожном Конгрессе «Перспективные технологии в строительстве и эксплуатации автомобильных дорог» (Москва, 2015); Научно-практической конференции «Современные методы проектирования транспортных магистралей как элементов природно-технической системы», посвященной 100-летию А.К. Дюнина (Новосибирск, 2013); Международной практической конференции по мерзлотоведению «Ресурсы и риски регионов с мерзлотой» (Новосибирск, 2014); Научно-технической конференции с международным участием «Экологически безопасные и энергоэффективные решения в технике низких температур» (Санкт-Петербург, 2014); Международной научно-практической конференции «Наука и инновационные разработки – Северу» (Мирный, 2014); XVI Сергеевских чтениях – Годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (Москва, 2014); X Международном симпозиуме по инженерному мерзлотоведению (Китай, Харбин, 2014); Девятой, Юбилейной Десятой и Одиннадцатой общероссийских конференциях «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в РФ» (Москва, 2013 и 2014; Санкт-Петербург, 2015), Пятой международной научно-практической конференция «Геоэкологические проблемы Забайкалья и сопредельных территорий» (Чита, 2015), на научно-технической конференции с международным участием «Энерго – и экологически эффективные рабочие вещества в технологиях генерации холода и теплоты» (Санкт-Петербург, 2016); XIII Международной научно-технической конференции «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути». Чтения, посвященные памяти профессора Г.М. Шахунянца (Москва, 2016), Пятой конференции геоэкологов России «Геотехника в криолитозоне» (Москва, 2016).

Публикации. По материалам диссертационной работы имеется 14 публикаций, из них 3 статьи в журналах из перечня ВАК, 1 – в зарубежных изданиях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа содержит 191 стр. машинописного текста, включающего 21 таблицу, 84 рисунка, библиографию из 129 наименований, а также 22 приложения на 34 стр. – всего 225 стр.

Автор выражает глубокую признательность и благодарность научному руководителю д.г.-м.н., проф. Кондратьеву В.Г., за неоценимую помощь, консультации, постоянную поддержку и внимание при подготовке диссертации; руководству и специалистам ООО «ТрансИГЭМ» за внимание и помощь при сборе

материалов для исследования; профессорско-преподавательскому составу кафедр гидрогеологии и инженерной геологии, открытой разработки месторождений полезных ископаемых, техносферной безопасности, водного хозяйства и инженерной экологии ЗабГУ за внимание, консультации и активное участие в обсуждении и апробации диссертации.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** показана актуальность исследования, сформулированы основная идея, цель и задачи исследования, обозначены положения, выносимые на защиту, раскрыта их научная новизна, приведены другие необходимые сведения.

В **первой главе** по материалам ТЭО, разработанного ОАО «Иркутскгипродорнии», приводится конструктивно-технологическая характеристика дороги «Амур», протяженностью 2165 км, как дороги III категории, с расчётной скоростью движения автомобилей 100 км/час (80 км/час на отдельных участках), с дорожной одеждой облегченного типа. ЗП запроектировано по второму принципу, допускающему оттаивание ММГ основания на величину прогнозируемой строительной осадки или замену льдистых просадочных при оттаивании грунтов на непросадочные грунты на расчетную глубину оттаивания грунтов основания. Для переходов через постоянные и временные водотоки предусмотрены ИССО в виде малых, средних и больших мостов, а также железобетонных и металлических гофрированных водопропускных труб.

Во **второй главе** изложены сведения о климатических, геоморфологических, геологических и гидрогеологических условиях ЗЧ дороги «Амур», полученных путем сбора, анализа и обобщения фондовых и опубликованных материалов по трассе автодороги и прилегающей территории Восточного Забайкалья. На их основе с привлечением материалов инженерно-геологических изысканий по трассе дороги «Амур» составлены обзорная схема мерзлотно-геоморфологического районирования ЗЧ дороги, км км 0-794 и крупномасштабные врезки в виде схем ландшафтного микрорайонирования, инженерно-геокриологических профилей по оси дороги и таблиц ИГУ на 7 наиболее характерных (ключевых) участков трассы автодороги: км км 72-75, 112-115, 332-335, 348-350, 389-392, 536-539, 757-760. Обзорная схема и крупномасштабные врезки приведены в диссертации в виде приложений и используются при характеристике ИГУ на период изысканий и при прогнозной оценке возможных изменений их в период эксплуатации (глава 3), при выборе пунктов инженерно-геокриологического мониторинга дороги «Амур» (глава 4).

В **третьей главе** описаны геокриологические условия трассы и приведены результаты прогнозной оценки возможных изменений мерзлотных условий ЗЧ дороги «Амур». На примере ключевых участков показано, что геокриологические условия трассы весьма изменчивы как в естественной обстановке, так и в особенности при техногенном воздействии в процессе строительства и эксплуатации дороги; при этом могут активизироваться такие неблагоприятные

ИГПЯ как термокарст, термоэрозия, солифлюкция, наледеобразование, пучение, морозобойное растрескивание и другие.

Четвертая глава содержит характеристику длительных ДЗП автодороги «Амур», рекомендации по управлению состоянием грунтов тела и основания ЗП ЗЧ дороги «Амур» на участках льдистой многолетней мерзлоты. При этом описана динамика развития просадок ЗП в 2010-13 гг. и дан критический анализ стабилизационных мероприятий, предложенных научными и проектными организациями; изложены теплофизические основы управления температурным режимом ММГ основания дороги; охарактеризованы наиболее перспективные методы и технологии управления состоянием ММГ тела и основания ЗП дорог (снегоочистка и окраска, солнцезащитный навес, поперечные охлаждающие трубы, пленочный экран, продольные охлаждающие устройства, превентивное оттаивание льдистых грунтов); освещен отечественный и зарубежный опыт их применения.

Пятая глава содержит анализ развития ДЗП дороги «Амур» на переходе через руч. Чичон в 2001-16 гг., многочисленных попыток и проектов стабилизировать участок, ИГУ, причин деформаций и путей решения проблемы. При этом отмечается, что изначально неправильно был выбран принцип проектирования ЗП на участке – второй, необходимо было применить первый принцип проектирования, поскольку из-за большой мощности льдистых грунтов основания вырезать их заблаговременно не представлялось возможным. Попытки стабилизировать участок в 2005-10 гг., применяя традиционные технические решения (утепленный дренаж, прижимные бермы из скального грунта и щебня по обе стороны насыпи), а также некоторые новшества (укрытие откоса укрепляющей композицией из высоко-кремнеземистого и карбонатно-минерального сырья), были обречены на провал, поскольку никак не содействовали устранению главной причины деформаций участка – прекращению деградации ММГ основания насыпи. Реализация проекта, предложенного в 2013-14 гг. ООО «СметаПлюс», также не приведет к длительной стабилизации участка, поскольку не решает главной задачи – прекращения деградации ММГ в основании насыпи. Предложены другие технические решения, которые позволят не только стабилизировать участок и предотвратить дальнейшее опасное развитие деформаций дороги «Амур» на переходе через долину руч. Чичон, но и кардинально уменьшить стоимость и продолжительность ремонта.

В шестой главе изложены рекомендации по ИГО эксплуатации дороги «Амур», задачи которого: 1) предупреждение опасного проявления ИГПЯ на основе наблюдений за состоянием ЗП, возникновением и развитием ИГПЯ в полосе отвода земель, а также на основе прогноза их динамики; 2) разработка мер превентивной защиты ЗП и ИССО от негативного влияния деструктивных ИГПЯ. Подробно описаны содержание и основные требования к обследованиям дороги и наблюдениям на ключевых участках трассы, в том числе наблюдениям за температурным режимом, динамикой сезонного оттаивания и промерзания грунтов, развитием ИГПЯ и воздействием их на ЗП дороги.

Заключение содержит основные выводы и задачи дальнейших исследований.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ВНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ, И ИХ ОБОСНОВАНИЕ

1. Геокриологические условия Забайкальской части дороги «Амур», проходящей по южной окраине криолитозоны, характеризуются сложностью, неоднородностью и высокой динамичностью в естественных условиях и, в особенности, под техногенным воздействием при строительстве и эксплуатации дороги. Отмечено, что опасные инженерно-геокриологические процессы и явления здесь могут развиваться как при возможном потеплении климата, так и при возможном похолодании. Характер и масштаб их развития, степень опасности для различных участков трассы определяются конкретными инженерно-геокриологическими условиями и конструктивными особенностями дороги.

Дорога «Амур» проходит 2107 км с запада на восток по обширной территории Забайкалья и Приамурья вблизи южной границы криолитозоны с различными природными условиями, что предопределяет значительную неоднородность ИГУ трассы: здесь имеются районы с очень сложными, сложными, относительно сложными и относительно простыми ИГУ, что определяется в основном наличием и льдистостью ММП, их просадочностью при оттаивании, а также пучинистостью при промерзании сезонно-талых и сезонно-мерзлых грунтов. При строительстве и эксплуатации дороги происходят существенные изменения мерзлотной обстановки и активизируются неблагоприятные ИГПЯ, в частности, термокарст, пучение, солифлюкция, термоэрозия, наледообразование, посткриогенное выветривание и др.

ЗЧ дороги «Амур», км 0-794, проходит в пределах Забайкальского края, занимает около 37,7% протяженности дороги и характеризуется наиболее сложными геокриологическими условиями.

На эту часть дороги «Амур» с использованием материалов ОАО «Иркутскгипродорнии» и кафедры криолитологии МГУ составлена обзорная схема мерзлотно-геоморфологического районирования ЗЧ трассы дороги «Амур» в масштабе 1:1000000. На схеме выделено 3 геоморфологические области: Даурское сводовое поднятие, Восточно-Забайкальская депрессия, Пришилкинская горно-долинная страна и 2 мерзлотные зоны: зона сплошного распространения вечной мерзлоты, зона не сплошного распространения вечной мерзлоты с островами таликов.

К этой схеме для иллюстрации конкретных ИГУ трассы на характерные (ключевые) участки по материалам изысканий ОАО «Иркутскгипродорнии» составлено 7 крупномасштабных (от 1:8300 до 1:20000) врезок в виде схем микрорайонирования, продольных профилей и таблиц (км км 72-75, 112-115, 332-335, 348-350, 389-392, 536-539, 757-760).

ЗЧ трассы дороги характеризуется суровым резко континентальным климатом с холодной малоснежной зимой и жарким летом. Среднегодовая температура воздуха повсеместно отрицательная: в Чите – $-1,4^{\circ}$; в Могоче – $-5,1^{\circ}$, сумма годовых осадков соответственно: 343 и 433 мм, причем 70-90% их выпадает летом. Важнейшей особенностью радиационного режима Забайкалья

является необычайно большое солнечное сияние: в Чите – 2476 ч/год, в Могоче – 2261ч/год. Зимой солнечное сияние составляет 50-70% от возможного (в феврале – 70-75%). Прямая солнечная радиация (60%) больше рассеянной (40%), что вызывает неравномерное распределение солнечной энергии на поверхности земли. Так, по Шполянской Н.А., 1978 южные склоны крутизной 20-22° получают 138,5 ккал/см² год, а такие же северные склоны – всего лишь 96,6 ккал/см² год. Зимой крутые северные склоны получают в 10 раз меньше солнечной радиации, чем южные. В целом климат благоприятен для существования высокотемпературных ММП; климатические характеристики существенно изменяются в разные годы; возможна динамичность мерзлотной обстановки в естественных и техногенных условиях; можно управлять мерзлотными условиями, воздействуя на структуру радиационно-теплого баланса поверхности участка дороги.

Рельеф территории является типичным для горной страны с разновысотными горными хребтами и межгорными впадинами. Разнообразие элементов рельефа, их различие по абсолютным отметкам, экспозиции и крутизне предопределяют разнообразие мерзлотных условий ЗЧ дороги «Амур».

ЗЧ дороги «Амур» пересекает 3 крупные геологические морфоструктуры: 1) Даурское поднятие – массивный, лишенный крупных межгорных впадин, широкий свод северо-восточного простирания, ограниченный зонами тектонических разломов; 2) Восточно-Забайкальский синклиорий с массивами палеозойских гранитоидов, гранитов и диоритов и 3) Пришилкинскую горно-долинную страну с разновозрастными структурно-литологическими комплексами пород. Все формации прорваны многочисленными интрузиями гранитоидов палеозойского и мезозойского возраста. Отложения четвертичного возраста представлены среднеплейстоценовыми делювиальными и современными, голоценовыми элювиальными, делювиальными, делювиально-пролювиальными и аллювиальными образованиями.

Разнообразие генетических типов, состава и свойств рыхлых отложений, зависящих от возраста, генезиса и состава коренных пород, неотектоники и геоморфологических условий района, в значительной степени предопределяет разнообразие мерзлотных условия трассы дороги «Амур».

Гидрогеологические условия ЗЧ дороги «Амур» предопределяются наличием прерывистой и сплошной многолетней мерзлоты. Грунтовые воды в основном сосредоточены в аллювиальных отложениях. В таликах они обычно гидравлически связаны с трещинными водами подстилающих пород. Зимой они полностью или частично промерзают и уровень их понижается. Наблюдаются резкие колебания уровня в зависимости от выпадения атмосферных осадков. Надмерзлотные воды обычно залегают на глубине до 1-3 м и содержатся как в аллювиальных, так и элювиально-делювиальных образованиях горных склонов и водоразделов. Большую часть года воды его находятся в твердой фазе. В процессе промерзания в надмерзлотных водах развивается гидродинамический напор, приводящий к образованию сезонных бугров пучения и наледей. Подмерзлотные

воды по трассе автодороги мало исследованы. Во многих местах зимой они питают наледи.

Геокриологические условия ЗЧ дороги «Амур» в основном определяются: 1) широтной зональностью и высотной поясностью климатических характеристик и ландшафтных условий; 2) особенностями рельефа местности; 3) составом и влажностью пород; 4) наличием подмерзлотных вод и величиной геотермического градиента. На первых 355 км трассы отмечается не сплошное распространение вечной мерзлоты с островами таликов, далее – сплошное. Состояние горных пород, их среднегодовые температуры зависят от рельефа местности, состава пород, гидрогеологических и гидрологических условий. Многолетнемерзлоте способствует затенённость склонов, тонкодисперсный состав пород, заболоченность. Талому и немерзлоте – южная экспозиция склонов, крупнодисперсный состав пород или их значительная трещиноватость, циркуляция подземных вод. Имеют место практически все криогенные процессы и явления: термокарст, термоэрозия, пучение, солифлюкция, курумы, морозобойное растрескивание, наледи.

Таким образом, трасса ЗЧ дороги «Амур» характеризуется весьма неоднородными геолого-тектоническими, геоморфологическими и ландшафтно-климатическими условиями, что предопределяет: 1) сложность и значительную неоднородность ИГУ, 2) их изменчивость при строительстве и эксплуатации дороги, 3) развитие ИГПЯ.

Анализ общих закономерностей формирования и пространственной изменчивости мерзлотных условий ЗЧ части дороги «Амур», изучение опыта освоения аналогичных территорий показали, что как в естественной обстановке, так и под влиянием техногенных факторов происходят существенные, часто коренные изменения ИГУ в короткие отрезки времени, активизируются ИГПЯ. Этому способствуют высокие значения отрицательной среднегодовой температуры и небольшие мощности ММП территории, пересекаемой дорогой, а также близкая к 0°C положительная среднегодовая температура грунтов на участках их сезонного промерзания.

Влияние отдельных компонентов природной среды на температурный режим ММП оценивается нами с учётом ранее выполненных исследований (*Геокриология СССР, 1988-89 гг.*) следующим образом.

За счет изменения условий инсоляции среднегодовая температура (t_{cp}) земной поверхности может повышаться на $1,0-2,5^{\circ}$ (Δt_R), а физическая амплитуда годовых колебаний этой температуры ($A_{\text{п}}$) увеличиваться на $3-4^{\circ}$ (ΔA_R) на склонах южной экспозиции по сравнению со значениями их на горизонтальной поверхности и склонах северной экспозиции. Эти закономерности наиболее четко выражены в низкогорьях и менее четко прослеживаются в долинах.

Снежный покров на равнинах повышает среднегодовую температуру пород (t_{cp}) на $2-3^{\circ}$ ($\Delta t_{\text{сн}}$) и на столько же сокращает $A_{\text{п}}$; в логах и долинах за счет снега t_{cp} повышается, а амплитуда $A_{\text{п}}$ сокращается на $3-4,5^{\circ}$. На склонах низкогорий снежный покров приводит к повышению среднегодовой температуры пород на $2-5^{\circ}$ и соответственно уменьшению амплитуды.

Отепляющее влияние теплых летних дождей на среднегодовую температуру пород (Δt_{oc}) может достигать 1,3-1,7° на плоских и слабонаклонных открытых участках, сложенных с поверхности крупнообломочными отложениями.

Два фактора приводят к понижению значений t_{cp} – это растительный покров и температурная сдвигка в сезонно-талом или сезонно-мерзлом слоях. Лесной покров способствует понижению среднегодовой температуры поверхности почвы (из-за уменьшения поступающей солнечной радиации) на 0,6-1,4°, мохово-кустарниковый покров (в качестве термического сопротивления) – на 0,1-0,7°, сфагновые мхи – до 2°. Уменьшение амплитуды годовых колебаний температуры соответствует этим значениям.

Понижение среднегодовой температуры пород на подошве слоя сезонного оттаивания или сезонного промерзания за счет температурной сдвигки составляет 0,5-0,6° в крупнообломочных образованиях, 0,8-1,5° в глинистых отложениях и 1,5-2,5° в торфах.

Суммарное влияние всех природных факторов обуславливает существование многолетнемерзлых или немерзлых (в том числе талых) горных пород. Однако нахождение вблизи 0° как отрицательных, так и положительных среднегодовых температур грунтов предопределяет большую динамичность мерзлотных условий. Так, достаточно нарушить условия поверхности или в верхнем слое грунта, и среднегодовая температура может либо повыситься (например, при удалении растительного покрова, создании асфальтового покрытия), либо понизиться (при полном удалении снежного покрова, обводнении грунтов в сезонно-талом или сезонно-мерзлом слое) вплоть до изменения знака.

Особую роль в динамике мерзлотных условий играет климат, отличающийся большой временной изменчивостью. Анализ температурного режима воздуха по данным метеостанции Чита за период 1994-2003 г.г. и сопоставление с данными СНиП 23-01-99 показали, что отмечается значительное повышение среднегодовой температуры воздуха, при незначительном увеличении значений амплитуды годовых колебаний среднемесячных температур. Так среднегодовая температура воздуха за анализируемый период составила -0,7°, что на 2,2° выше значений, приведенных в СНиП 23-01-99, при этом в течение указанного периода среднегодовая температура изменялась от +0,2° (2002 г.) до -1,6° (2000 г.). Годы 1994, 1995, 1998, 1999, 2002 и 2003 – это годы, когда температура была выше среднедесятилетнего значения. И даже в самый холодный год (2000 г.) значение среднегодовой температуры (-1,6°) значительно (на 1,3°) выше данных указанного СНиП. Значения амплитуды годовых колебаний среднемесячных температур воздуха варьируют от 38,0 (1995 г.) до 49,0 (2000 г.).

На протяжении всего XX века подобные потепления климата наблюдались неоднократно и всегда сменялись похолоданиями. Поэтому прогнозную оценку развития ИГПЯ на трассе автодороги необходимо делать с учетом разных тенденций изменения климата.

Прогноз развития ИГПЯ в работе сделан с учетом следующих предпосылок: на трассе удаляется растительный и дерново-почвенный покровы, уменьшается высота снежного покрова (вплоть до полного удаления), дорога асфальтируется, в

полосе трассы возможно подтопление (заболачивание) участков, прилегающих непосредственно к дороге.

Оценка возможных изменений мерзлотной обстановки на трассе дороги произведена для ЗЧ на примере ключевых участков км км 112-115, 348-350, 389-392, 536-539 и 757-760.

На участке км км 112-115 в пределах Восточно-Забайкальской депрессии следует ожидать, что под дорогой будет происходить многолетнее оттаивание мерзлых пород, начальная среднегодовая температура которых составляет от $-1,0$ до $-1,3^{\circ}$. В полосе отвода многолетнемерзлое состояние пород может сохраниться, но повысится их среднегодовой температуры и значительно увеличится глубина сезонного оттаивания. Однако изменения конфигурации и глубины залегания кровли ММП на большей части участка не должны привести к опасным ИГПЯ, так как отсутствуют льдистые ММП, а полого-выпуклый профиль трассы обеспечивает дренаж поверхности. Лишь в нижних частях склонов, вблизи км 112 и км 115 км, возможны небольшие просадки земной поверхности (до ~ 10 см) при многолетнем оттаивании пород на глубину более 4-6 м поскольку в разрезе имеются льдистые отложения. В целом, подобные участки трассы по ИГУ относительно благоприятны.

Участок трассы, пересекающий Пришилкинскую геоморфологическую область, км км 348 – 350, отличается сложными мерзлотными условиями. Здесь в долинах руч. Малый Жирекен и р. Алеур ММП отсутствуют, на всех остальных элементах рельефа они распространены повсеместно, их среднегодовая температура изменяется от $-0,1$ до $-3,7^{\circ}$. В разрезе долинных таликов отмечаются водонасыщенные крупнообломочные породы, а в нижних частях склонов – мерзлые дресвяно-суглинистые или щебнисто-суглинистые отложения, при оттаивании – текучие. При изменении мерзлотной обстановки, перераспределении и изменении режима стока поверхностных и подземных вод может активизироваться наледеобразование в долинах. На нижних частях склонов существует опасность образования мелких оползней-сплывов (особенно при подрезке склонов), на пологих заболоченных склонах возможно интенсивное проявление морозного пучения пород при увеличении глубины сезонного оттаивания. Здесь же существует опасность активизации солифлюкции.

При эксплуатации дороги на этом и на аналогичных участках могут происходить существенные ДЗП, что требует проведения специальных наблюдений и профилактических защитных мероприятий.

Аналогичные по методологии прогнозные оценки сделаны в работе и для других ключевых участков ЗЧ дороги.

Отметим также, что вследствие большой континентальности климата целостность дорожных одежд зимой может нарушаться морозобойным растрескиванием.

При похолодании, сменяющим потепление, возрастает опасность морозобойного растрескивания грунтов, интенсивного морозного пучения пород с образованием бугров высотой до 0,2-0,5 м (особенно на участках с несливающейся мерзлотой), а также наледеобразования.

Высокая динамичность мерзлотных условий трассы в естественной обстановки и особенно при техногенных воздействиях во время эксплуатации дороги должны учитываться при разработке стабилизационных мероприятий и требуют постоянного ИГО эксплуатации федеральной автодороги «Амур», по крайней мере её ЗЧ.

2. Многолетние деформации Забайкальской части дороги «Амур» обусловлены деградацией льдистых многолетнемерзлых грунтов в её основании под воздействие солнечной радиации, теплых летних осадков, повышенной мощности снежного покрова на откосах насыпи и части прилегающей территории. Обеспечение стабильности дороги в этих условиях необходимо осуществлять преимущественно путем прекращения деградации многолетней мерзлоты регулированием теплотоков между земляным полотном и атмосферой с помощью солнцезащитных навесов, снегоочистки, изменения альбедо поверхности и противодиффузионной пленки.

При строительстве и первых лет эксплуатации дороги произошли существенные изменения мерзлотной обстановки и активизировались неблагоприятные ИГПЯ, в частности, термокарст, пучение, солифлюкция, термоэрозия, наледи и др., разрушающие дорогу и создающие предпосылки к снижению скорости и безопасности движения автомобилей. Уже в год завершения строительства дороги 263 км (12,1%) нуждались в капитальном ремонте, а около 400 км (18,5%) – в реконструкции². Иными словами, проектная скорость движения автомобилей 100 км/час почти на трети только что построенной дороги «Амур» была не обеспечена. Через 3 года, дорога стала хуже. Стремительно увеличилось количество мест с просадками земляного полотна, обусловленными оттаиванием (деградацией) ММГ в основании дороги.

По данным ФКУ «Упрдор «Забайкалье» на ЗЧ дороги «Амур» в 2011 г. отмечалось 68 мест с просадками ЗП, их пытались устранить силами подрядных организаций в рамках гарантийных обязательств. В 2012 г. таких мест стало почти в 5 раз больше – 327 и на их устранение дополнительно было потрачено 34265 тыс. руб. На июнь 2013 г. насчитывалось 330 мест с просадками дороги и затраты составили уже 11738,8 тыс. руб. При этом отмечался рост затрат на устранение просадок с 838 руб. в 2012 г. до 950 руб. в 2013 г. на 1 м². К концу года затраты значительно возросли, поскольку основной объем дорожных работ выполнялся во второй половине года. Просадки дороги устранялись в основном засыпкой песчано-гравийным грунтом и дополнительным асфальтированием.

В 2013-14 гг. ОАО «Иркутскипродорнии» провел дополнительные изыскания и по рекомендациям ООО «Сибиндор», Института мерзлотоведения СО РАН и ООО «ТранСИГЭМ» разработал 7 типов стабилизационных мероприятий.

Типы 1-3 – Приоткосные бермы из суглинистого грунта с каменным заполнителем и водоотводными лотком или валиком. Бермы не могут защитить

² Из интервью директора ФГУ ДСД «Дальний Восток» Швецова В.А., опубликованного 10.02.2010 г. на сайте Росавтодора

дорогу от просадок и проваливаются вместе с ней поскольку продолжается деградация ММП в его основании при повышенном поглощении солнечной радиации черным асфальтом и при утепляющем влиянии снега на откосах насыпи.

Типы 4-5 – Укрепление грунтов основания криогелем или сухобетонной смесью. Эти мероприятия не могут остановить деградацию ММП в основании дороги, поскольку асфальтированная дорога будет по-прежнему прогреваться солнечной радиацией и летними дождями, а снежный покров на обочинах и откосах насыпи, а также в канавах будет препятствовать охлаждению их зимой – деформации будут продолжаться.

Тип 6. Сезонноохлаждающие устройства (СОУ). Одиночные СОУ, устанавливаемые через 3 м вдоль дороги, не могут прекратить деградацию ММП в её основании, вследствие их локального влияния – деформации будут продолжаться. Об этом свидетельствует опыт их применения на Тибете и на БАМе

Таким образом, мероприятия (типы 1-6) бесполезны, а первые 3 – к тому же вредны, поскольку приоткосные бермы окажут противоположное ожидаемому действие – увеличат чашу оттаивания ММП и вызовут дополнительные длительные просадки дороги. Это подтверждено 40-летним опытом БАМ, где также пытались бороться с просадками ЗП с помощью берм. Дополнение берм водоотводными лотками или валиками не спасет ситуацию.

Тип 7. Солнцеосадкозащитные навесы. Только навесы могут быть полезны, поскольку позволяют устранить 3 основные причины деградации ММП в основании ЗП и его просадки: солнечную радиацию, летние осадки и снежный покров. Они доказали свою эффективность на Аляске, Тибете, на БАМе и в Якутии. Стоимость же навеса, как показали эксперименты Н.А. Валиева на БАМе, в 20-25 раз меньше стоимости берм из скального грунта.

В диссертации подробно описаны разработанные и апробированные ООО «ТрансИГЭМ» активные способы стабилизации ЗП на льдистых ММП, основанных на дополнительном охлаждении грунтов путем регулирования природных охлаждающих и утепляющих факторов с помощью солнцеосадкозащитного навеса, снегоочистки и покраски поверхности в светоотражающий цвет или покрытия светлым щебнем, противодиффузионной пленки, поперечных и продольных охлаждающих устройств.

Этот комплекс может быть эффективно применён и на автодороге «Амур», в частности, на участке перехода через руч. Чичон, км 247, деформирующемся уже 16 лет. Переход автодороги через долину ручья осуществлен в виде высокой (до 20 м) насыпи из песчано-дресвяного грунта с водопропускной трубой диаметром 7,3 м из металлических гофрированных структур. Оголовки трубы укреплены отборным морозостойким камнем на 10,5-13,5 м по обе стороны от трубы и на 1,3 м от ее верхней образующей. Толщина слоя камня – 40-50 см.

Впервые деформации участка дороги были отмечены визуально в мае 2001 г., с января 2002 г. периодические визуальные обследования и фотографирование производит ТрансИГЭМ.

Из-за деформаций, развивавшихся в 2001-06 гг., участок признан аварийным, скорость движения ограничена до 40 при расчетной 100 км/час. На участке периодически выполнялись ремонтные работы в виде засыпки просадок и выравнивания проезжей части дороги, выправки или замены ограждения. Должного эффекта они не давали.

В декабре 2005 г. кооператив «Азимут» разработал проект восстановления участка, по которому ЗАО «Труд» в сентябре 2006 г. произвел первый капитальный ремонт участка. На ремонт 150 м дороги было затрачено около 10 млн. рублей, но стабилизации участка не произошло. Просадки ЗП продолжались. Проект кооператива «Азимут» был неверен по сути: не было детального изучения геокриологической обстановки и не сделана оценка дальнейших ее изменений, неправильно определены причины деформаций и, соответственно, не обоснованы стабилизационные мероприятия.

Через 2 года, в августе 2008 г., участок второй раз ремонтировали, но деформации продолжались.

В августе 2010 г., перед проездом В.В. Путина по дороге «Амур», был произведен третий ремонт участка и применено третье техническое решение: сооружение прижимных берм из скального грунта и щебня длиной 149 и 160 м по обе стороны насыпи, общим объёмом 17 200 м³. И этот ремонт положительных результатов не дал, поскольку стабилизационные мероприятия назначались без необходимого геокриологического обоснования.

Следует отметить, что изначально неправильно был выбран принцип проектирования ЗП на участке – второй, с допущением оттаивания льдистых ММП основания. Необходимо было применить первый принцип проектирования – сохранение льдистых грунтов основания в постоянно-мерзлом состоянии, поскольку из-за большой мощности вырезать их заблаговременно не представлялось возможным.

Попытки затем стабилизировать участок при капитальных ремонтах 2006, 2008 и 2010 гг., применяя традиционные технические решения (утепленный дренаж, прижимные бермы из скального грунта и щебня по обе стороны насыпи), а также некоторые новшества (укрытие откоса укрепляющей композицией из высоко-кремнеземистого и карбонатно-минерального сырья), были обречены на провал, поскольку никак не содействовали устранению главной причины деформаций участка – прекращению деградации ММП основания насыпи.

В 2013-14 гг. ООО «СметаПлюс» разработало проект четвертого капитального ремонта участка, содержащего 7 мероприятий.

Мероприятие 1 – разборка насыпи, вырезка талых грунтов из основания насыпи, заполнение котлована послойно промораживаемым грунтом и сооружение новой насыпи из послойно промораживаемого грунта – создание «холодного ядра». Мероприятие технически осуществимо, но предложенная технология не целесообразна. Надмерзлотный талик под насыпью можно проморозить и без разборки насыпи высотой до 20 м и разработки котлована глубиной до 7-8 м.

Мероприятие 2 – консервация «холодного ядра» в насыпи с помощью теплоизоляции. Без ежегодной «подпитки» холодом «холодное ядро» исчезнет под отепляющим воздействием солнечной радиации через откосы насыпи и черное асфальтобетонное покрытие. Устройство вентилируемых труб диаметром 1 м в основании насыпи – полезное мероприятие для охлаждения нижележащих грунтов основания насыпи, в особенности в сочетании с теплоизоляцией над трубами, однако диаметр их должен быть в 2-3 раза меньше и укладывать их следует не выше 0,5 м от подошвы насыпи. «Холодное» же ядро вентилируемыми трубами охлаждаться не будет из-за расположения над ними теплоизоляции.

Мероприятия 3-6 – размещение гидроизоляционной пленки над «холодным ядром», устройство в ЗП каптажного дренажа, устройство банкета в нагорной стороне земляного полотна, размещение в насыпи естественно вентилируемых прослоек из бутового камня, засев многолетними травами откосов насыпи. Также бесполезны.

По нашему мнению, требования к мероприятиям по стабилизации участка автодороги «Амур», км 247, переход через руч. Чичон, должны быть следующими:

1. Необходимо, прежде всего, разработать мероприятия по прекращению деградации ММП под насыпью, поскольку они имеют мощность 20 м и более, а деградация их может продолжаться десятки лет.

2. Так как деградация ММП под насыпью происходит под воздействием ее отепляющего влияния (оголенная поверхность насыпи и черное асфальтовое покрытие поглощают много солнечной радиации, в насыпь легко инфильтруются теплые летние осадки, толстый слой насыпи защищает талые грунты основания от зимнего промерзания), необходимо отепляющую насыпь превратить в охлаждающую путем регулирования естественных отепляющих и охлаждающих факторов, снижающих летний прогрев насыпи и прилегающей территории и усиливающих зимнее охлаждение их.

Соответственно предлагаются следующие мероприятия:

1. Устройство дорожной одежды из светлого бетона или асфальтобетона с добавками светлого щебня для уменьшения прогрева поверхности дороги солнечными лучами.

2. Укладка под дорожные одежды противофильтрационной пленки или геомембраны для предотвращения инфильтрации дождевых вод в тело и основание насыпи.

3. Укладка поперечных труб в нижней части насыпи, вентилируемых холодным воздухом зимой и в ночное время поздней осенью и ранней весной.

4. Устройство на откосах насыпи и части прилегающей территории солнцезащитных навесов для исключения прогрева их солнечными лучами и дождевыми водами в весенне-летний период и устранения теплоизолирующего снежного покрова и охлаждения грунтов основания зимой.

5. Максимальное уменьшение высокой и широкой насыпи для снижения её отепляющего влияния на грунты основания земляного полотна.

Наиболее эффективно применение перечисленных мероприятий в комплексе, способном обеспечить сохранение многолетнемерзлого состояния грунтов основания насыпи и её стабильность.

При этом, в особенности на косогорных участках, должен быть обеспечен водоотвод дождевых и надмерзлотных вод от ЗП и полностью исключена возможность фильтрация отводимых вод через дно водоотводной канавы в основание дороги.

3. Концепция специального инженерно-геокриологического сопровождения эксплуатации дороги «Амур» предусматривает мониторинг естественных и техногенных изменений природно-климатических условий, температурного режима, оттаивания и промерзания грунтов, развития инженерно-геокриологических процессов и явлений, воздействия их на дорогу, что позволяет своевременно оценивать степень их опасности и разрабатывать превентивные и компенсационные защитные мероприятия, повышающие экономичность и безопасность дороги.

Экономически эффективное обеспечение эксплуатационной надежности дороги невозможно без специального ИГО, задачами которого являются: 1) предупреждение опасного проявления ИГПЯ на основе наблюдений за состоянием ЗП, за развитием и возникновением процессов в полосе отвода земель, а также на основе прогноза их динамики; 2) разработка мер превентивной защиты ЗП и ИССО от негативного влияния деструктивных процессов и явлений.

Контроль за состоянием ЗП и ИССО необходимо проводить как при аэро- и наземном обследовании всей трассы, так и при проведении режимных наблюдений на специальных площадках.

Изучение динамики ИГПЯ в полосе отвода земель и оценка их воздействия на дорогу следует осуществлять путем проведения режимных наблюдений на ключевых участках. Для решения этой задачи также целесообразно выполнять периодические аэрофотосъёмки, в том числе с использованием беспилотников.

Все виды наблюдений целесообразно разделить на 4 группы: 1) наблюдения за состоянием и динамикой факторов природной среды (микrokлиматическими, геоботаническими, гидрологическими, гидрогеологическими, геокриологическими) и техногенными факторами; 2) наблюдения за температурным и влажностным режимами грунтов основания и ДЗП; 3) наблюдения за развитием ИГПЯ; 4) наблюдения за эффективностью мероприятий противодеформационной защиты автодороги. Весь комплекс наблюдений проводится, как правило, на стационарах, организованных на ключевых участках.

Материалы наземного обследования используются для принятия решений о ремонтных работах и об организации режимных наблюдений на вновь выявленных опасных участках дороги.

В диссертации содержится развернутая характеристика обследования трассы и специальных режимных наблюдений на ключевых участках.

Особо подчеркнем, что все геокриологические исследования и наблюдения на дороге «Амур» должны не только констатировать те или иные характеристики геокриологической обстановки, но и выявлять закономерные связи их с геолого-

географической средой и техногенным воздействием дороги. Это позволит прогнозировать возможные изменения ИГУ и возникновение опасных ИГПЯ, а также своевременно разрабатывать превентивные защитные мероприятия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в диссертации на основе выполненных исследований решена актуальная научно-практическая задача разработки научно-методических основ геокриологического обеспечения стабильности ЗП ЗЧ дороги «Амур» на участках льдистых ММГ, на примере перехода через долину руч. Чичон.

Основные полученные научные и практические результаты:

1. Составлена обзорная схема мерзлотно-геоморфологического районирования трассы ЗЧ дороги «Амур» Чита – Хабаровск и крупномасштабные инженерно-геокриологические врезки на наиболее характерные (ключевые) участки, позволяющие охарактеризовать пространственные закономерности сложных и неоднородных ИГУ в зависимости от геоморфологических, геолого-тектонических и ландшафтно-климатических условий трассы.

2. Разработана прогнозная оценка возможных изменений геокриологических условий трассы дороги «Амур», показывающая высокую интенсивность их в естественных условиях и, в особенности, под воздействием техногенных факторов при строительстве и эксплуатации дороги. Установлено, что опасные ИГПЯ на трассе автодороги могут развиваться как на фоне возможного потепления климата, так и на фоне похолодания, обычно сменяющих друг друга. Масштаб развития процессов и степень их опасности могут быть существенно различными на разных участках трассы в зависимости от конкретных ИГУ и конструкций элементов дороги.

3. Выполнен анализ длительных ДЗП дороги «Амур», установлено, что главной причиной их является деградация ММП в основании дороги. Разработаны рекомендации по управлению температурным режимом ЗП на участках льдистых ММП ЗЧ дороги «Амур» путем регулирования теплоточков между ЗП и атмосферой, позволяющие своевременно назначать мероприятия по предотвращению деградации ММП и обеспечению стабильности дороги.

4. Выполнен анализ 16-летних ДЗП дороги «Амур» на участке перехода через руч. Чичон, ИГУ участка и многократных безуспешных попыток стабилизировать участок, что позволило выявить причины деформаций и определить пути решения проблемы.

5. Разработаны рекомендации по ИГО эксплуатации дороги «Амур», предусматривающего постоянный мониторинг естественных и техногенных изменений природно-климатических условий, температурного режима и оттаивания-промерзания грунтов, развития ИГПЯ, воздействия их на автодорогу на основе концепции системы инженерно-геокриологического мониторинга автодороги «Амур», предложенной проф. Кондратьевым В.Г., что позволяет своевременно выявлять опасные ИГПЯ и разрабатывать превентивные или компенсационные мероприятия по предотвращению, ослаблению или прекращению их вредного воздействия на дорогу.

В заключении отметим, что с начала изысканий на трассе дороги «Амур» прошло более 45 лет, строительство автодороги заняло более 30, почти 6 лет продолжается постоянная эксплуатация дороги, поэтому необходимо к числу ближайших приоритетных задач дальнейших исследований отнести проведение специального инженерно-геокриологического обследования дороги для установления кардинально изменившейся геокриологической обстановки в теле и основании ЗП, полосе отвода и на прилегающей территории, на площадках искусственных сооружений. С помощью космо- и аэрофотосъемки, геофизических методов, бурения, визуального обследования, режимных наблюдений, лабораторных и камеральных исследований, необходимо установить состав, криогенное строение, физико-механические и теплофизические свойства, распространение, температурный режим, условия залегания и мощность сезонно- и многолетнемерзлых и сезонно-талых грунтов, развитие ИГПЯ. В итоге анализа и обобщения материалов обследования и данных предшествующих изысканий должны быть выявлены общие и частные закономерности формирования и развития геокриологических условий в зависимости от геолого-географических факторов, конструктивных и технологических особенностей автодороги.

Затем, используя компьютерные и натурные модели, теплотехнические расчеты, следует выполнить геокриологическое прогнозирование для получения научно обоснованного, конкретного в пространстве и времени представления о характере возможных изменений ИГУ вследствие естественной эволюции и техногенных воздействий при эксплуатации дороги. Прогноз изменения мерзлотных условий должен содержать характеристики температурного режима, распространения, условий залегания, мощности, криогенного строения, физико-механических и теплофизических свойств сезонно- и многолетнемерзлых пород, глубин сезонного оттаивания и промерзания грунтов, развития ИГПЯ. Они нужны для разработки мероприятий по управлению ИГУ с целью создания оптимальных условий эксплуатации дороги.

Чем раньше будет создана система инженерно-геокриологического мониторинга дороги «Амур», тем более надежной и безопасной будет она, тем меньше будут непроизводительные расходы при ее содержании.

Необходимо обеспечить дорогу «Амур» Чита – Хабаровск эффективной защитой от опасных ИГПЯ – создать систему инженерно-геокриологического мониторинга дороги, сравнимой с Транссибом и БАМом по значению для развития Забайкалья, Дальнего Востока и страны в целом.

Без такой защиты дорога «Амур» обречена на перманентный ремонт, постоянные ограничения скорости движения автомобилей и колоссальные в связи с этим финансовые и материальные потери государства и населения.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

ВАК публикации:

1. Кондратьев В.Г., **Кондратьев С.В.** Как защитить федеральную автодорогу «Амур» Чита – Хабаровск от опасных инженерно-геокриологических процессов и явлений // Инженерная геология, 2013. № 5. С. 40-47.

2. Кондратьев В.Г., Валиев Н.А., **Кондратьев С.В.** Причины многолетних деформаций железнодорожного пути на станции Казанкан Восточно-Сибирской железной дороги и возможные пути стабилизации его // Инженерная геология, 2014. № 5. С. 16-28.

3. Кондратьев В.Г., Валиев Н.А., **Кондратьев С.В.** Как стабилизировать железнодорожный путь на ст. Казанкан Восточно-Сибирской ж.д. // Путь и путевое хозяйство, 2015. № 9. С. 9-13.

Материалы конференций:

4. Кондратьев В.Г., **Кондратьев С.В.**, Дементьев А.Д. Опыт оценки наледной опасности и разработки противоналедных мероприятий для водопропускных сооружений на одном из участков автодороги «Амур» Чита – Хабаровск // Материалы международной научно-практической конференции по инженерному мерзлотоведению, посвященной, XX-летию ООО НПО «Фундаментстройаркос» – Тюмень, 2011. С. 307-309.

5. Кондратьев В.Г., **Кондратьев С.В.**, Дементьев А.Д. Опыт оценки наледной опасности и разработки противоналедных мероприятий для водопропускных сооружений на одном из участков автодороги «Амур» Чита – Хабаровск // Материалы XX совещания по подземным водам Сибири и Дальнего Востока России. – Иркутск: Изд-во ООО «Географ», 2012. С 94-96.

6. Кондратьев В.Г., **Кондратьев С.В.** Естественный холод и солнечная радиация как основные ресурсы обеспечения стабильности земляного полотна железных и автомобильных дорог на вечной мерзлоте // Инновационные факторы развития Транссиба на современном этапе. Международной научно-практической конференции, посвященная 80-летию Сибирского гос. ун-та путей сообщения. Тезисы конференции. Ч. 1. Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2012. С. 19-20.

7. Кондратьев В.Г., **Кондратьев С.В.** Геокриологические проблемы эксплуатации федеральной автодороги «Амур» Чита-Хабаровск и пути их решения// Третий Дорожный Конгресс «Модернизация и научные исследования в дорожной отрасли»: сборник научных трудов /МОО «Дорожный Конгресс», МАДИ. – М.: ТехПолиграфЦентр, 2013. С.70-81.

8. Кондратьев В.Г., **Кондратьев С.В.** Проблемы геокриологического обоснования сооружения и содержания дорог в криолитозоне // Материалы Международной практической конференции по мерзлотоведению «Ресурсы и риски регионов с мерзлотой». Иркутск: Из-во ИГ СО РАН, 2014. С. 33-35.

9. Кондратьев В.Г., **Кондратьев С.В.** Автомобильные дороги в криолитозоне: проблемы и пути их решения // Сборник тезисов докладов Международной научно-практической конференции «Наука и инновационные разработки - Северу». М.: Изд-во «Перо», 2014. 57 с.

10. Кондратьев В.Г., **Кондратьев С.В.** Геокриологические проблемы федеральной автодороги «Амур» Чита – Хабаровск // Сергеевские чтения. Вып. 16 / Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии – М.: ГЕОС, 2014. С. 407-412.

11. Kondratiev V.G., **Kondratiev S.V.** Some Geocryological Problems of Railways on Permafrost // Conference Handbook of 10th International Symposium on Permafrost Engineering (China, Harbin, August 22-24.2014), Heilongjiang University, 2014. P. 59.

12. Валиев Н.А., Кондратьев В.Г., **Кондратьев С.В.** // Материалы Второго Международного симпозиума по проблемам земляного полотна в холодных регионах (Новосибирск, 24-26.09.2015). Новосибирск, СГУПС, 2015. С. 26-33.

13. Кондратьев В.Г., **Кондратьев С.В.** К вопросу о геокриологическом обосновании изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации магистрального газопровода «Сила Сибири» // Материалы XI Общероссийской конференции изыскательских организаций «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации». М.: Изд-во «Академическая наука». 2015. С. 147-148.

14. Кондратьев В.Г., **Кондратьев С.В.** Деформации автодороги «Амур» Чита – Хабаровск на участках льдистых многолетнемерзлых грунтов: причины и пути их прекращения // Материалы Пятой конференции геокриологов России. М.: Университетская книга, 2016. Т.1. С. 199-206.