

На правах рукописи

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»

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:
доктор геолого-минералогических наук, профессор
Кондратьев Валентин Георгиевич

Чита – 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АВТОДОРОГИ «АМУР»	13
1.1. Технические параметры дороги	13
1.2. Земляное полотно	14
1.3. Дорожная одежда	16
1.4. Искусственные сооружения	17
ГЛАВА 2. КЛИМАТО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ЧАСТИ АВТОДОРОГИ «АМУР»	23
2.1. Климат	24
2.2. Рельеф	40
2.3. Геологическое строение	43
2.4. Гидрогеологические условия	45
ГЛАВА 3. ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ЧАСТИ АВТОДОРОГИ «АМУР» И ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ ИХ ИЗМЕНЕНИЙ	46
3.1. Геокриологические условия трассы	46
3.2. Возможные изменения геокриологических условий трассы	61
ГЛАВА 4. ДЕФОРМАЦИИ ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ЧАСТИ АВТОДОРОГИ «АМУР» НА УЧАСТКАХ ЛЬДИСТЫХ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ И АКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ	70
4.1. Деформации Забайкальской части автодороги «Амур» на участках льdistых многолетнемерзлых грунтов и анализ практики их устранения	70
4.2. Теплофизические основы управления температурным режимом грунтов основания автодороги	77
4.3. Активные методы и технологии управления состоянием грунтов тела и основания земляного полотна дорог в криолитозоне	83
ГЛАВА 5. АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИЙ АВТОДОРОГИ «АМУР» НА УЧАСТКЕ ПЕРЕХОДА ЧЕРЕЗ РУЧ. ЧИЧОН: ПРИЧИНЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ	114
5.1. Развитие деформаций участка автодороги в 2001-2006 гг.	115
5.2. Капитальный ремонт участка автодороги в сентябре 2006 г.	119
5.3. Развитие деформаций участка автодороги после капитальных ремонт в 2006, 2009 и 2010 гг.	122
5.4. Анализ мероприятий, предложенных для стабилизации участка автодороги в 2011-2013 гг.	128
5.5. Инженерно-геокриологические условия участка автодороги	136
5.6. Причины деформаций и пути стабилизации участка автодороги	142

ГЛАВА 6. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОДОРОГИ «АМУР»	147
6.1. Задачи инженерно-геокриологического обеспечения эксплуатации автодороги	147
6.2. Инженерно-геокриологические обследования трассы автодороги.....	149
6.3. Инженерно-геокриологические наблюдения на ключевых участках трассы автодороги	153
6.4. Наблюдения за деформациями земляного полотна дороги	174
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	179
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	183
ПРИЛОЖЕНИЯ	192
1. Схема мерзлотно-геоморфологического районирования Забайкальской части трассы автодороги «Амур», км км 0 – 794	193
2. Инженерно-геокриологические условия участка км км 72 – 75	194
3. Инженерно-геокриологические условия участка км км 112 – 115	198
4. Инженерно-геокриологические условия участка км км 332 – 335	202
5. Инженерно-геокриологические условия участка км км 348 – 350	206
6. Инженерно-геокриологические условия участка км км 389 – 392	211
7. Инженерно-геокриологические условия участка км км 536 – 539	216
8. Инженерно-геокриологические условия участка км км 757 – 760	221

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Федеральная автомобильная дорога «Амур» Чита – Хабаровск, протяженностью 2165¹ км, является одной из крупнейших строек в современной России [25]. Ее строительство было начато в 1978 г., завершено – в 2010 г. и обошлось государству в 200 млрд рублей.

Дорога в широтном направлении пересекает Забайкалье и Приамурье – территории с весьма неоднородными геолого-тектоническими, геоморфологическими и ландшафтно-климатическими условиями, что предопределяет сложность и значительную неоднородность инженерно-геокриологических условий трассы и их изменчивость при строительстве и эксплуатации дороги, развитие инженерно-геокриологических процессов и явлений, осложняющих эксплуатацию стратегически важной федеральной автодороги – третьего по историческому значению, после Транссиба и БАМ, сухопутного пути между Байкалом и Дальним Востоком. Весь более чем 120-летний опыт Транссиба [21, 36, 61, 73, 81, 82] и 40-летний опыт БАМ [36, 39] показывают, что основной научно-технической проблемой строительства и эксплуатации дорог в регионе была и остаётся проблема обеспечения стабильности земляного полотна и искусственных сооружений в условиях вечной мерзлоты и глубокого сезонного промерзания грунтов. Шестилетняя эксплуатация автодороги «Амур» также свидетельствует об этом: во многих местах дорога уже разрушается под воздействием природных криогенных и инженерно-геокриологических процессов и явлений.

Наиболее характерный, но не единственный пример – переход автодороги «Амур» через долину руч. Чичон, 247 км. Здесь деформации дороги происходят практически с момента сдачи участка в эксплуатацию в 2000 г. и по настоящее время – 16 лет, несмотря на систематические ремонты, скорость движения автомобилей постоянно ограничена до 30-50 км/час при проектной – 100 км/час. Без кардинального изменения

¹ По уточненным данным – 2107 км

методологии содержания земляного полотна на льдистых многолетнемерзлых грунтах участок 247 км, как и многие другие, будет деформироваться 70-80 лет, о чем свидетельствует опыт Забайкальской ж.д., вблизи которой проходит автодорога «Амур».

Цель исследования – разработать научно-методические основы геокриологического обеспечения стабильности земляного полотна Забайкальской части федеральной автомобильной дороги «Амур» Чита – Хабаровск на участках льдистых многолетнемерзлых грунтов.

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 инженерно-геокриологических условий трассы Забайкальской части автодороги «Амур».

2. Дать оценку возможных изменений инженерно-геокриологических условий Забайкальской части трассы автодороги «Амур» в период её эксплуатации.

3. Охарактеризовать деформации Забайкальской части автодороги «Амур» на участках льдистых многолетнемерзлых грунтов и выявить возможности их предотвращения.

4. Выявить причины многолетних деформаций дороги «Амур» на переходе через долину руч. Чичон и определить пути решения проблемы.

5. Разработать рекомендации по инженерно-геокриологическому обеспечению эксплуатации автодороги «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 инженерно-геокриологических процессов и явлений на земляное полотно автодороги «Амур» на участках льдистых многолетнемерзлых грунтов.

Основная идея работы состоит в том, что геокриологические условия трассы автодороги «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 криогенных процессов и явлений, поэтому геокриологическая обстановка на трассе должна постоянно контролироваться, анализироваться и оцениваться для своевременного принятия мер по предотвращению, ослаблению или устранению вредного воздействия инженерно-геокриологических процессов и явлений на автодорогу «Амур».

Методы исследования при решении поставленных задач: анализ и синтез материалов инженерно-геологических изысканий и опубликованных сведений о деформациях земляного полотна на льдистых многолетнемерзлых грунтах 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 альбедо 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 мерзловедения и инженерной геологии, изложенные в трудах В.Р. Алексеева [1], Л.С. Гарагули [10], В.А. Давыдова [18], Б.Н. Достовалова [20], Э.Д. Ершова [55, 56], В.Г. Кондратьева [31-36, 51], В.А. Королёва [52], В.А. Кудрявцева [20, 54-56, 63, 69], В.К. Лапердина [57], А.М. Лехатинова [59], А.В. Львова [61], В.И. Осипова [71], А.В. Павлова [72], Е.М. Сергеева [75], М.И. Сумгина [82], Н.И. Толстихина [88], В.Т. Трофимова [89], М.М. Филатова [90], Р.В. Чжана [91] П.Ф. Швецова [68, 126], Шестернева Д.М [93], Н.А. Шполянской [94] и др., а также на региональные и методические работы по геокриологии и инженерной геологии [11-13, 26, 58, 60, 54-61, 63-67, 72], дорожному строительству в криолитозоне [27, 92, 102, 103].

Достоверность и обоснованность выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертационной работе, подтверждаются анализом и

теоретическим обобщением большого объёма материалов инженерно-геологических изысканий по трассе автодороги «Амур» [107, 118, 122-124], проведенных ОАО «Иркутскгипродорнии» и другими организациями, а также данными многолетних натуральных наблюдений и исследований ООО «ТрансИГЭМ» [109-111, 114-115], в которых автор принимал непосредственное участие с 2004 по 2016 гг.

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

1) собраны, проанализированы и обобщены сведения об инженерно-геокриологических условиях федеральной автодороги «Амур», совместно с проф. Кондратьевым В.Г. и с.н.с. Соболевой С.В. составлена обзорная схема мерзлотно-геоморфологического районирования Забайкальской части трассы автодороги и 7 крупномасштабных врезок в виде схем ландшафтного микрорайонирования, инженерно-геокриологических профилей по оси автодороги и таблиц инженерно-геокриологических условий характерных (ключевых) участков, позволяющие охарактеризовать пространственные закономерности сложных и неоднородных инженерно-геокриологических условий 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 Забайкальской части трассы автодороги «Амур» в период её эксплуатации при двух сценариях изменения климата: потепления и похолодания, показавшая закономерное развитие опасных инженерно-геокриологических процессов и явлений: 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 деформаций земляного полотна на участках льдистых многолетнемерзлых грунтов Забайкальской части автодороги «Амур», показавший, что главной причиной их является деградация многолетней мерзлоты в основании дороги, предотвратить

которую предложено с помощью активных способов управления теплообменом между атмосферой и массивом многолетнемерзлых грунтов;

4) обобщены материалы 16-летних наблюдений за развитием постоянных деформаций автодороги «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 автодороги «Амур», предложенной проф. Кондратьевым В.Г., рекомендации по инженерно-геокриологическому обеспечению эксплуатации Забайкальской части автодороги «Амур», позволяющие постоянно отслеживать возникновение и развитие инженерно-геокриологических процессов и явлений, 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 инженерно-геокриологических условиях и их изменении Забайкальской части трассы автодороги «Амур»; участии в составлении обзорной схемы мерзлотно-геоморфологического районирования Забайкальской части трассы и 7 крупномасштабных инженерно-геокриологических врезок на ключевые участки трассы, в разработке прогнозной оценки возможных изменений мерзлотных условий Забайкальской части трассы при эксплуатации автодороги, в разработке рекомендаций по инженерно-геокриологическому обеспечению эксплуатации автодороги «Амур», в разработке рекомендаций по стабилизации земляного полотна на участках льдистых многолетнемерзлых грунтов Забайкальской части автодороги «Амур»; в обобщении материалов многолетних наблюдений за развитием постоянных деформаций автодороги «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 инженерно-геокриологического обеспечения эксплуатации федеральной автодороги «Амур», изложенные в диссертации и переданные в виде рекомендаций в Росавтодор, ОАО «Иркутскгипродорнии», ФКУ Упрдор «Забайкалье», позволяют разработать проект создания системы инженерно-геокриологического мониторинга автодороги «Амур», реализация которого обеспечит наиболее полный учет инженерно-геокриологических особенностей трассы автодороги для повышения ее надежности и безопасности при одновременном снижении непроизводительных затрат на ее содержание, разработать мероприятия по стабилизации земляного полотна автодороги «Амур» на участках льдистых многолетнемерзлых грунтов, включая наиболее сложный участок перехода автодороги через долину руч.

Чичон. Рекомендации могут быть использованы и для других автомобильных дорог, 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: 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 «Геокриологические проблемы Забайкалья

и сопредельных территорий» (Чита, 2015), 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 геокриологов 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 наименования, 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 кафедры гидрогеологии и инженерной геологии, а также кафедры открытых горных работ и кафедры техносферной безопасности ЗабГУ за внимание, консультации и активное участие в обсуждении и апробации диссертации.

ГЛАВА 1.

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АВТОДОРОГИ «АМУР»

Федеральная автомобильная дорога «Амур» Чита – Хабаровск имеет генеральное направление с запада на восток и протяженность 2165² км. Дорога проходит в пределах Сибирского и Дальневосточного федеральных округов по территории четырех субъектов Российской Федерации: Забайкальского края – (км 0 – км 794), Амурской области – (км 794 – км 1811), Еврейской автономной области – (км 1811 – км 2155) и Хабаровскому краю – (км 2155 – км 2165).

Решение о строительстве автодороги Чита – Хабаровск было принято Советом Министров СССР в 1966 г., затем более 10 лет Союздорпроект, Иркутскгипродорнии и Дальгипродорнии проводили изыскания и проектирование дороги. Строительство началось в 1978 г., завершилось в сентябре 2010 г. и обошлось в 200 млрд. рублей.

Конструктивно-технологическая характеристика автодороги «Амур», приводимая ниже, составлена в соответствии с технико-экономическим обоснованием, разработанным ОАО «Иркутскгипродорнии» в 1995 г.

1.1. Технические параметры дороги

Основные технические характеристики дороги приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Технические характеристики автодороги «Амур»

<i>Название характеристики</i>	<i>Ее значение</i>
Категория дороги	III
Расчетная скорость движения автомобилей	100 км/ч ((на отдельных участках пересеченной местности – 80 км/ч)
Ширина земляного полотна	12 м
Ширина проезжей части	7 м
Ширина обочин	2.5 м
Наименьшая ширина укрепленной кромки обочин	0.5 м
Наименьший радиус в плане	600 м
Наименьший радиус выпуклой кривой	10000 м (на отдельных участках – 5000 м)
Наименьший радиус вогнутой кривой	3000 м (на отдельных участках – 2000 м)
Наибольший продольный уклон	50 ‰ (на отдельных участках – 60 ‰)

² По уточненным данным, 2107 км.

1.2. Земляное полотно

В соответствии с пп. 3.1 и 3.25 СНиП 2.02.04-88 [76] был принят второй принцип проектирования автодороги, предусматривающий допущение оттаивания вечномерзлых грунтов основания земляного полотна на величину прогнозируемой строительной осадки или замену льдистых просадочных при оттаивании грунтов на непросадочные грунты на расчетную глубину оттаивания грунтов основания.

Расчет высоты насыпи и величины осадки произведен согласно рекомендациям ВСН 84-89 [6]. Руководящая отметка составила 2,5-2,7 м, в зависимости от свойств грунтов основания и грунтов насыпи.

Наименьшее возвышение поверхности покрытия над уровнем подземных или длительно стоящих поверхностных вод назначено по табл. 21 СНиП 2.05.02-85 [77] и составляет 1,1 м.

Строительная осадка грунтов основания от подвижной нагрузки и веса насыпи определена на основании расчетов по прил. 7 ВСН 84-89 [6] с учетом сроков производства работ при круглогодичной отсыпке.

На участках, где в основании насыпи находятся слабые грунты – текучие, текуче-пластичные и с примесью органических веществ, а также в “нулевых” местах с целью скорейшего обеспечения устойчивости земляного полотна, произведена замена грунтов на скальные.

В насыпях для обеспечения рабочего слоя толщиной 1 м верхний слой земляного полотна 50 см отсыпан из скальных грунтов с размером частиц не более 0,2 м согласно п. 6.22 СНиП 2.05.02-85 [77].

На участках, отнесенных к трудным участкам пересеченной местности, в связи с резкими очертаниями рельефа, проектная линия продольного профиля характеризуется чередованием насыпей и выемок. Наибольшая высота насыпи составляет 19,8 м, наибольшая глубина выемки 43,37 м. Выемки устраивались, как правило, в скальных грунтах. Максимальный продольный уклон на таких участках принят 59-60 ‰.

Возведение насыпи на вечномёрзлых грунтах производилось с сохранением почвенно-растительного слоя, в соответствии с ВСН 84-89 [6].

Снятие почвенно-растительного слоя применялось только в резервах, на выемках и в кюветах.

Конструкция земляного полотна назначена на основе решений по продольному профилю с учетом гидрологических, геологических и климатических условий. Ширина земляного полотна принята в соответствии с требованиями СНиП 2.05.02-85 [77] для дорог III категории и равна 12 м для полного развития.

Для I стадии строительства ширина земляного полотна принята переменной в зависимости от крутизны откосов, с учетом последующего устройства на 2-ой стадии усовершенствованного типа покрытия.

Поперечные профили земляного полотна запроектированы с учетом требований СНиП 2.05.02-85 [77] и рекомендаций ВСН 84-89 [6].

Крутизна откосов насыпей принята: высотой до 3 м – 1:4; высотой от 3 м до 6 м – 1:1,5; свыше 6 м – переменной: 1:1,5 и 1:1,75.

Крутизна откосов выемок принята: в скальных слабо выветриваемых – 1:0,5; в скальных легко выветриваемых – 1:1; в обычных грунтах – 1:1,5.

Для осуществления механизированного сброса и удаления продуктов выветривания откосов выемок предусмотрен кювет шириной 3 м.

Скальные грунты разрабатывались экскаватором после предварительного разрыхления буровзрывным способом.

Возведение земляного полотна производилось из грунтов выемок и грунтов сосредоточенных резервов. Отсыпка земляного полотна предусмотрена в два этапа: 1) зимняя отсыпка в один слой, с уплотнением до $K = 0,9$ с последующим дополнительным уплотнением до $K = 0,95$; 2) летняя (зимняя) послойная отсыпка и уплотнение оставшихся слоев с учетом строительной осадки земляного полотна каждого слоя, с последующей отсыпкой по нему рабочего слоя и дорожной одежды первой стадии.

Для отвода поверхностных вод предусмотрена система водоотводных сооружений – водопропускные трубы и мосты, местами нарезаны кюветы.

Кюветы вдоль земляного полотна устраивались следующим образом:

- на участках низких насыпей с необеспеченной высотой по теплотехническому расчёту закладывался кювет шириной 3 м;
- на участках кюветов, нарезанных в слабых грунтах и с продольным уклоном более 20‰, предусматривалось укрепление кюветов скальным грунтом: котлован углублялся на 0,2 м, засыпался скальным грунтом на высоту 0,5 м с удалением излишка скального грунта после уплотнения, который использовался для укрепления сбросов, дамб;
- укрепление откосов насыпи, отсыпанных из обычных грунтов, засевом трав;
- укрепление подтопляемых откосов скальной наброской.

На всей дороге, за исключением скальных выемок, верхний слой земляного полотна на глубину 1 м от поверхности покрытия 2-й стадии устраивался из непучинистых грунтов, согласно п. 6.14 СНиП 2.05.02-85 [77].

В местах затяжных склонов, где по условиям рельефа на верховой бровке насыпи не удастся выдержать величину минимального возвышения земляного полотна, а также в местах перехода проектной линии из выемки в насыпь, предусматривалась замена пучинистых грунтов на глубину от бровки земляного полотна, равную руководящей отметке.

1.3. Дорожная одежда

В соответствии с расчетной интенсивностью движения, требований СНиП 2.05.02-85 [77] дорожная одежда принята облегченного типа.

С учетом состава движения за расчетную нагрузку принята нагрузка, соответствующая расчетному автомобилю группы А.

Требуемый модуль упругости дорожной одежды на полное развитие определился в размере 280-295 МПа. С учетом особенностей расчета дорожных одежд в зоне вечной мерзлоты (с коэффициентом 1,15 – для вечномерзлых грунтов) и в соответствии с ВСН 46-83 [5], а также в

зависимости от характеристик грунтов и обеспеченности дорожно-строительными материалами общий модуль на поверхности покрытия принят в пределах 320-340 Мпа.

К строительству на полное развитие рекомендована конструкция дорожной одежды, состоящая из однослойного покрытия из горячего мелкозернистого плотного асфальтобетона тип Б марки II толщиной 10 см, основания из щебня по способу заклинки толщиной 25 см, выравнивающего слоя из щебеночной смеси фракции 0-40 мм толщиной 25 см.

Для обеспечения стабилизации земляного полотна после затухания строительных и послепопостроечных осадков, устройство дорожной одежды предусматривалось в две стадии: 1) устройство покрытия переходного типа из щебеночной смеси толщиной 25 см; 2) устройство усовершенствованного покрытия после стабилизации земляного полотна.

В соответствии с п. 4.7. СНиП 2.05.02-85 [77] при продольном уклоне более 30‰ на участке более 1 км и уклоне более 40‰ на участке более 0,5 км, для обеспечения безопасности движения устраивались затяжные дополнительные полосы для движения транспорта в сторону подъема.

На кривых в плане радиусом 2000 м и менее предусмотрено устройство виражей с уширениями проезжей части в необходимых случаях.

Каменный материал для устройства дорожной одежды предусмотрено получать из притрассовых резервов – месторождений.

1.4. Искусственные сооружения

Автомобильная дорога "Амур" пересекает множество постоянных и временных водотоков, для переходов через которые предусмотрены искусственные сооружения в виде водопропускных труб и мостов.

Водопропускные трубы

На автодороге применены трубы различных конструкций, изготавливаемые отечественным промышленным производством для особо суровых климатических условий: трубы железобетонные круглые,

овоидальные, прямоугольные, металлические гофрированные, комбинированные.

Железобетонные трубы. Конструкция железобетонных труб выбиралась в зависимости от расхода водотока.

При расчетных расходах до $7,11 \text{ м}^3/\text{сек}$ наиболее часто применялись трубы по типовому проекту [83], разработанному специально для дороги "Амур", а затем отнесенному в разряд общероссийского использования. Проект имеет одну типоконструкцию безоголовочной железобетонной трубы, предусматривает строительство труб в зимний период из длинномерных звеньев длиной 2-3 м, диаметром 1,5 м, на лекальных фундаментных блоках, уложенных на замененное несжимаемыми скальными грунтами основание либо на берму подсыпанного основания на косогорах.

При расчетных расходах от $7,11$ до $11 \text{ м}^3/\text{сек}$ использовались типовые решения «Трубы водопропускные овоидальные железобетонные сборные для автомобильной дороги «Амур». Для опытного применения. Рабочие чертежи». Этот типовой проект также разработан Санкт-Петербургским институтом "Трансмост" и носит региональный характер.

При расчетных расходах более $11 \text{ м}^3/\text{сек}$ и высоких насыпях применены прямоугольные трубы по типовым конструкциям [78].

Все малые искусственные сооружения запроектированы под нагрузку НК-80 и А-11.

Металлические гофрированные трубы большого диаметра. В ходе строительства производилась замена части малых мостов на более экономичные и технологичные в строительстве гофрированные трубы большого диаметра. Замена малых мостов на трубы произведена на водотоках с расчетным расходом менее $40 \text{ м}^3/\text{сек}$, не имеющих наледи в зимний период, ледохода в весенний период и карчехода в летний.

Диаметр каждой металлической гофрированной трубы принят в соответствии с расчетным расходом воды, а также с учетом требований

СНиП 2.05.03-84* [78] на габариты сооружений для миграции диких животных.

По расчету на устойчивость формы поперечного сечения, прочность конструкции на расчетные нагрузки и с учетом высоты насыпи толщина листа принималась для каждой трубы индивидуально.

Для предотвращения фильтрации со стороны верхнего бьефа сооружения предусмотрено устройство экрана из цементогрунта на длине по дну котлована 6 м. Конфигурация экрана повторяет ядро грунта засыпки трубы. Кроме того, к нижней части концов трубы закреплены металлические экраны шириной 14 м.

Каждая труба запроектирована как грунтово-стальная единая конструкция и поэтому устройству основания и уплотнению ядра вокруг трубы уделялось повышенное внимание для обеспечения её прочности.

В связи с тем, что в основании труб часто находятся вечномёрзлые грунты, а сезонно-талый слой представлен различными грунтами с текучим и мягкопластичным заполнителем, предусматривалась замена их на скальный грунт. Глубина замены определена расчетом.

При скальных грунтах основания конструкция фундамента трубы и глубина его заложения приняты по типовому проекту серии 3.501.01-168 выпуск 0-1. Фундамент под телом труб принят из сборных плит.

Для предотвращения размывов у трубы предусмотрено укрепление входного и выходного оголовков скальным грунтом. Присыпная берма из скального грунта укрепляется проливкой цементным раствором М-150.

Мосты

На автодороге «Амур» построены малые, средние и большие мосты.

Малые и средние мосты. Высота и отверстия мостов приняты по аналогии с запроектированными мостами на водотоках с равными расходами

и подобным рельефом, с учётом проектного продольного профиля. Учитывалась возможность образования наледей и наличия карчехода. При проектировании сооружений, находящихся в районах с повышенной сейсмичностью в конструкции мостов включены противосейсмические устройства.

В плане мосты и путепроводы расположены на прямых участках дороги и на виражах кривых радиусом 1000 м и выше, в профиле – на уклонах от 5 до 25‰.

Схемы мостов и путепроводов приняты однопролетные и многопролетные балочно-разрезной системы из сборных балок из обычного железобетона длиной 12, 15 и 18 м и предварительно напряженного железобетона длиной 24 м. Балки применены с увеличенной толщиной плиты проезда по рабочим чертежам повторного применения.

Схемы путепроводов назначены из условия пропуска пересекаемых железнодорожных путей и автодорог, размещения конусов и нормативных требований по габаритам приближений конструкций.

Береговые опоры мостов приняты обсыпной конструкции при высоте насыпи до 7-8 м в зависимости от типа грунтов, окружающих сваю, и габаритов, а также двух-трех рядные столбчатые безростверковые из железобетонных столбов диаметром 0,8 м длиной 12-15 м. При более высоких подходах и глубококом расположении коренных пород применены столбы буронабивной конструкции диаметром 1,0-1,2 м или комбинированной – с достройкой сборных столбов монолитной вставкой в верхней части. Каждая пара столбов объединяется вдоль моста монолитными наголовниками.

При высоте насыпи более 8 м береговые опоры имеют стоечную козловую конструкцию на монолитном железобетонном ростверке из сборных железобетонных столбов диаметром 0,8 м и буронабивных столбов диаметром 1,0-1,2 м. Ригели опор одноблочные и двухблочные. Шкафные стенки без обратных открылков по типу заборных стенок

Промежуточные опоры – двух, трех столбчатые безростверковые из железобетонных буронабивных столбов диаметром 1,0-1,2 м и сборных железобетонных столбов диаметром 0,8 м длиной 12-15 м или комбинированные – с достройкой сборных столбов монолитной вставкой в верхней части. Ригели промежуточных опор – двухблочные.

Опорные части – резиновые слоистые типа РОЧСО 30х40х7.8-1.0 и РОЧСО 20х25х6.2-0.8.

Поперечный уклон проезжей части двухскатный – 20‰, при расположении мостов на виражах – односкатный 30‰.

Многопролетные мосты запроектированы с объединением пролетов в температурно-неразрезную систему по продольным швам объединения балок.

Продольные перемещения обеспечиваются деформационными швами типа К-8 с резиновыми компенсаторами. При значительных длинах объединенных балок рекомендованы к применению деформационные швы типа германской фирмы «Mauger Sohne».

Гидроизоляция проезжей части – «мостопласт» толщиной 5 мм.

Покрытие проезжей части – цементобетонное из бетона класса В40, F300, W8 толщиной 8 см, армировано сварной сеткой по [14].

Водоотвод с проезжей части осуществляется за счет продольного и поперечного уклонов через водоотводные трубки, расположенные в пределах полос безопасности. На обочинах по концам мостов, уложены бетонные лотки, по откосам насыпи устроены водоотводные канавы и водоприёмники из камня у подошвы насыпи.

Тротуары шириной 2х0.75 м устроены по плите крайних балок. Покрытие на тротуарах аналогично покрытию проезжей части моста.

Водоотвод с тротуаров предусмотрен по поперечному уклону в сторону водоотводных трубок.

Барьерное ограждение проезжей части – металлическое высотой 750 мм с увеличенными сечениями стоек.

Конструкция сопряжения с насыпью подходов предусмотрена из полузаглубленных переходных плит длиной 6-8 м с опиранием последних на консоли шкафных стенок и на сборные железобетонные лежни.

Конуса отсыпаны из скального грунта резервов и выемок. Поверхность конусов выравнена камнем крупностью 0.15-0,20 м с устройством в основании конусов присыпных берм из камня.

У начала и конца сооружений, установлены железобетонные лестничные сходы шириной 0.75 м.

Большие мосты. Конструкции береговых опор больших мостов (длиной более 100 м) в зависимости от высоты насыпи и глубины залегания несущих слоев грунта аналогичны конструкциям береговых опор средних мостов, при значительной высоте насыпи – стоечные опоры козловой конструкции на ростверках из сборных столбов диаметром 0,8 м.

ГЛАВА 2.

КЛИМАТО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ЧАСТИ АВТОДОРОГИ «АМУР»

Автомобильная дорога «Амур» Чита – Хабаровск пересекает с запада на восток Забайкалье и Приамурье – обширную территорию с весьма различными геоморфологическими, геолого-тектоническими и ландшафтно-климатическими условиями, что предопределяет значительную неоднородность инженерно-геокриологических условий трассы.

На трассе автомобильной дороги имеются районы с очень сложными, сложными, относительно сложными и относительно простыми инженерно-геокриологическими условиями, что определяется в основном наличием и льдистостью многолетнемерзлых пород, их просадочностью при оттаивании, а также пучинистостью при промерзании сезонно-талых и сезонно-мерзлых грунтов.

Строительство и эксплуатация дороги вызвали существенные изменения мерзлотной обстановки и активизацию таких неблагоприятных инженерно-геокриологических процессов, как термокарст, пучение, солифлюкция, термоэрозия, наледеобразование, выветривание и др.

В соответствии с административным делением пересекаемой территории автодорога Амур разделена на три части: Забайкальскую – км км 0-794, протяженностью 794 км в пределах Забайкальского края; Амурскую – км км 794-1811, протяженностью 1017 км в пределах Амурской области; Еврейскую – км км 1811-2165, протяженностью 354 км в пределах Еврейской автономной области и частично Хабаровского края.

Наши исследования касаются Забайкальской части автодороги «Амур», хотя полученные результаты могут быть использованы и на других частях дороги.

Пространственное представление о геолого-геоморфологических и мерзлотных условиях Забайкальской части трассы автодороги «Амур», км км

0-794, отражено на Схеме мерзлотно-геоморфологического районирования Забайкальской части трассы федеральной автомобильной дороги «Амур» Чита - Хабаровск (приложения 1) и 7 крупномасштабных врезках, составленных с использованием материалов Иркутскгипродорнии [107], а также опубликованных данных [11-13].

На Схеме выделены 3 геоморфологические области: Даурское сводовое поднятие, Восточно-Забайкальская депрессия и Пришилкинская горно-долинная страна; 2 мерзлотные зоны: сплошного распространения вечной мерзлоты и не сплошной вечной мерзлоты с островами таликов.

К этой обзорной Схеме для иллюстрации конкретных инженерно-геокриологических условий на наиболее характерные (ключевые) участки составлены 7 крупномасштабных врезок (приложения 2-8) в виде схем микрорайонирования в масштабе от 1:8300 до 1:20000, продольных профилей и таблиц: км км 72-75, 112-115, 332-335, 348-350, 389-392, 536-539, 757-760).

Ниже описаны климатические, геоморфологические, геологические и гидрогеологические условия территории прохождения автодороги «Амур» – основные природные факторы формирования мерзлотных условий региона.

2.1. Климат

Развитие сезонной и многолетней мерзлоты и процессов ею обусловленных, как известно, тесно связано с климатом, формирующим условия теплообмена на границе литосфера - атмосфера.

Положение в центре огромного Азиатского материка, господство сибирского антициклона, значительная приподнятость над уровнем моря, гористый рельеф создали в Забайкалье специфический по сравнению с аналогичными широтами Сибири и Дальнего Востока резко континентальный климат, характеризующийся отрицательной среднегодовой температурой воздуха, теплым летом, суровой зимой, значительными амплитудами температуры воздуха, как в годовом, так и суточном циклах, малым количеством осадков и преобладанием их (до 95% от годовой суммы)

в летнее время, малой высотой снежного покрова, высоким дефицитом влажности воздуха, зимними безветрием и температурной инверсией.

Общая характеристика климата района исследований дается в основном по метеостанции Чита (табл. 2.1), отдельные характеристики климата даются по метеостанциям Карымская, Чернышевск, Могоча, Амазар и др., расположенным вдоль трассы автодороги «Амур» (рис. 2.1), а также по литературным источникам [2-4, 9, 70, 94, 95]), использованы и Интернет-ресурсы [127, 129].

Циркуляционные факторы

Циркуляция атмосферы над территорией Забайкалья имеет следующие характерные особенности в разные сезоны года [94].

Зимой основным барическим образованием у поверхности земли является мощный сибирский антициклон. Его формирование начинается уже в сентябре, а в октябре он охватывает все Забайкалье. По мере охлаждения материка атмосферное давление начинает постепенно увеличиваться и достигает максимума (1031-1032 мбар). В этих условиях формируется воздух с очень низкими температурами в приземном слое, мощными приземными инверсиями и малой влажностью.

Весной сибирский антициклон постепенно разрушается, начинает проявляться зональная циркуляция с преобладанием западно-восточного переноса, усиливается циклоническая деятельность, сопровождающаяся холодными и сильными ветрами.

Лето характерно барическим полем пониженного давления. Западно-восточный перенос ослабевает. В начале лета еще слабо выражается циклоническая деятельность, преобладают процессы, связанные с радиационным прогреванием. Во второй половине лета над Забайкальем развивается циклоническая деятельность, обычно малоподвижные или медленно смещающиеся к западу циклоны вызывают обильные дожди.

Таблица 2.1. Основные климатические характеристики Читы за период с 1910 по 1995 гг.: температура воздуха: t в- среднее значение, t мин -абсолютный минимум, t макс- абсолютный максимум, O_c - сумма осадков, V - скорость ветра, a - альbedo поверхности, Q - суммарная радиация, R - радиационный баланс.

Характеристика	Период наблюдений	Среднемесячные значения												Ср. год.	Миним.	Максим.
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			
T в, $^{\circ}C$	1910-95	-24,6	-20,4	-10	1,1	10,1	16,2	19	16	8,6	-0,3	-13,1	-22,4	-1,7	-3,5	0,1
	1985-95	-23,7	-18,2	-8,3	1,3	9,3	16,2	18,1	16	8	0,6	-11,7	-21,5	-1,1	-2,2	0,1
t мин., $^{\circ}C$	1910-95	-49	-42	-39	-25	-11	-3	0,3	-3,3	-16	-34	-47	-43	-26,3		
	1985-95	-42	-36	-33	-17	-8	-2	3	2	-8	-20	-33	-39	-12,4		
t макс., $^{\circ}C$	1910-95	0	6	19	27	34	40	38	36	32	23	14	4	22,8		
	1985-95	-2	2	19	24	33	36	34	33	27	20	14	2	20,2		
O_c , мм.	1910-95	2	3	3	10	19	52	94	79	42	10	6	4	324	162	546
	1985-95	2	2	2	10	18	69	110	88	36	5	10	5	357	258	546
V , м/с	1955-80	1,7	2	2,6	3,5	3,5	2,4	1,9	2	2,4	2,4	2	1,6	2,3		
a , %	1954-70	60	59	33	20	19	18	18	19	19	27	44	59	32,9		
Q , ккал/см ²	1954-70	3	5,3	10	12,4	14,9	15,6	14,2	12	9	6,1	3,5	2,2	9		
R , ккал/см ²	1954-70	-1,02	-2,23	2,75	5,1	6,9	8,01	7,7	6,06	3,6	0,85	-0,84	-1,2	2,97		

Метеостанция Чита



Рис. 2.1. Схема расположения основных метеостанции на Забайкальской части автодороги «Амур»

Осенью над Забайкальем происходит общий западно-восточный перенос, часто нарушаемый вторжением с севера холодного арктического воздуха. Эти вторжения вместе с очень медленным (по сравнению с весенним) западно-восточным движением барических систем являются источником питания сибирского антициклона, позволяя воздушным массам интенсивно выхолаживаться. Переход к зимним условиям циркуляции осуществляется в середине ноября, когда антициклон становится достаточно устойчивым. Переход к зиме (также и переход к лету) не является резким.

Радиационные факторы

Радиационный режим района приводится по данным метеостанции Чита, а также по публикациям [70, 94] и Интернет-ресурсам [127, 129].

Трасса автодороги «Амур» проходит в узкой по широте территории (от 50 до 53° с.ш.), поэтому её солярный климат примерно одинаковый [94]. Прозрачность атмосферы в Забайкалье необычайно высока, что связано с очень малой абсолютной влажностью воздуха (5,5 - 6 мбар / год). Облачность в Забайкалье невелика (табл. 2.2) и число случаев ясного неба (особенно по нижней облачности) чрезвычайно велико (табл. 2.3).

Таблица 2.2. Облачность, баллов, за многолетний период наблюдений по метеостанции Чита [127]

месяц	янв	фев	мар	апр	май	июн	июл	авг	сен	окт	ноя	дек	год
общая	4.1	4.3	5.0	6.0	6.4	6.7	6.9	6.6	6.0	5.4	5.3	4.8	5.6
нижняя	0.1	0.2	0.7	1.6	2.1	2.8	3.0	3.1	2.2	1.1	0.6	0.2	1.5

Таблица 2.3. Число ясных, облачных и пасмурных дней за многолетний период наблюдений по метеостанции Чита [127]

	янв	фев	мар	апр	май	июн	июл	авг	сен	окт	ноя	дек	год
Общая облачность													
ясных	9	7	6	3	2	1	1	2	3	5	5	6	50
облачных	18	18	19	19	20	18	18	18	19	19	19	19	224
пасмурных	4	3	6	8	9	11	12	11	8	7	6	6	91
Нижняя облачность													
ясных	30	27	27	19	15	11	9	10	16	23	27	30	244
облачных	1	1	4	11	16	19	22	20	14	8	3	1	120
пасмурных	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1

Годовые значения составляющих радиационно-теплового баланса поверхности по ст. Чита, по разным авторам, приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4. Составляющие радиационно-теплового баланса по ст. Чита

<i>Составляющие баланса, ккал/см² год</i>	<i>По Е.Я. Щербаковой, 1961</i>	<i>По Е.П. Барашковой и др., 1961</i>	<i>По И.М. Осокину 1962</i>
Суммарная радиация	106,4	104,1	102,0
Прямая радиация		57,9	
Рассеянная радиация		46,2	
Поглощенная радиация	79,1	76,4	74,8
Эффективное излучение	44,1		67,7
Радиационный баланс	35,0	37,4	24,1
Затраты тепла на испарение	18,7		
Турбулентный поток тепла	16,3		

Месячные значения солнечной радиации и радиационного баланса по наблюдениям ст. Чита в 1954 -1970 гг. приведены на рис. 2.2.

Значительное поглощение радиации связано с малым альбедо поверхности вследствие быстрого таяния снега в начале весны.

Альбедо естественной поверхности (рис. 2.3) летом колеблется обычно в пределах 18-20% и только ранней весной и поздней осенью составляет 27-32%. Зимой альбедо поверхности наибольшее – 44-60%.

Небольшие затраты тепла на испарение связаны с недостатком влаги.

Важнейшей особенностью радиационного режима Забайкалья является необычайно большое солнечное сияние: в Чите – 2476 ч/год, в Могоче – 2261ч/год (табл. 7) [129]. В 1957 г. оно в Чите составило 2628 ч/год, тогда как в Кисловодске – 2007 ч/год. Зимой солнечное сияние составляет 50-70% от возможного (в феврале – 70-75%). В Забайкалье прямая солнечная радиация (60%) больше рассеянной (40%), что вызывает чрезвычайно неравномерное распределение солнечной энергии на поверхности земли. Так, по [94] южные склоны крутизной 20-22⁰ 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 Забайкалье годовой турбулентный теплоток является наибольшим в Восточной Сибири и почти равен затратам на испарение. Весной и в начале лета турбулентный поток значительно больше затрат тепла на испарение.

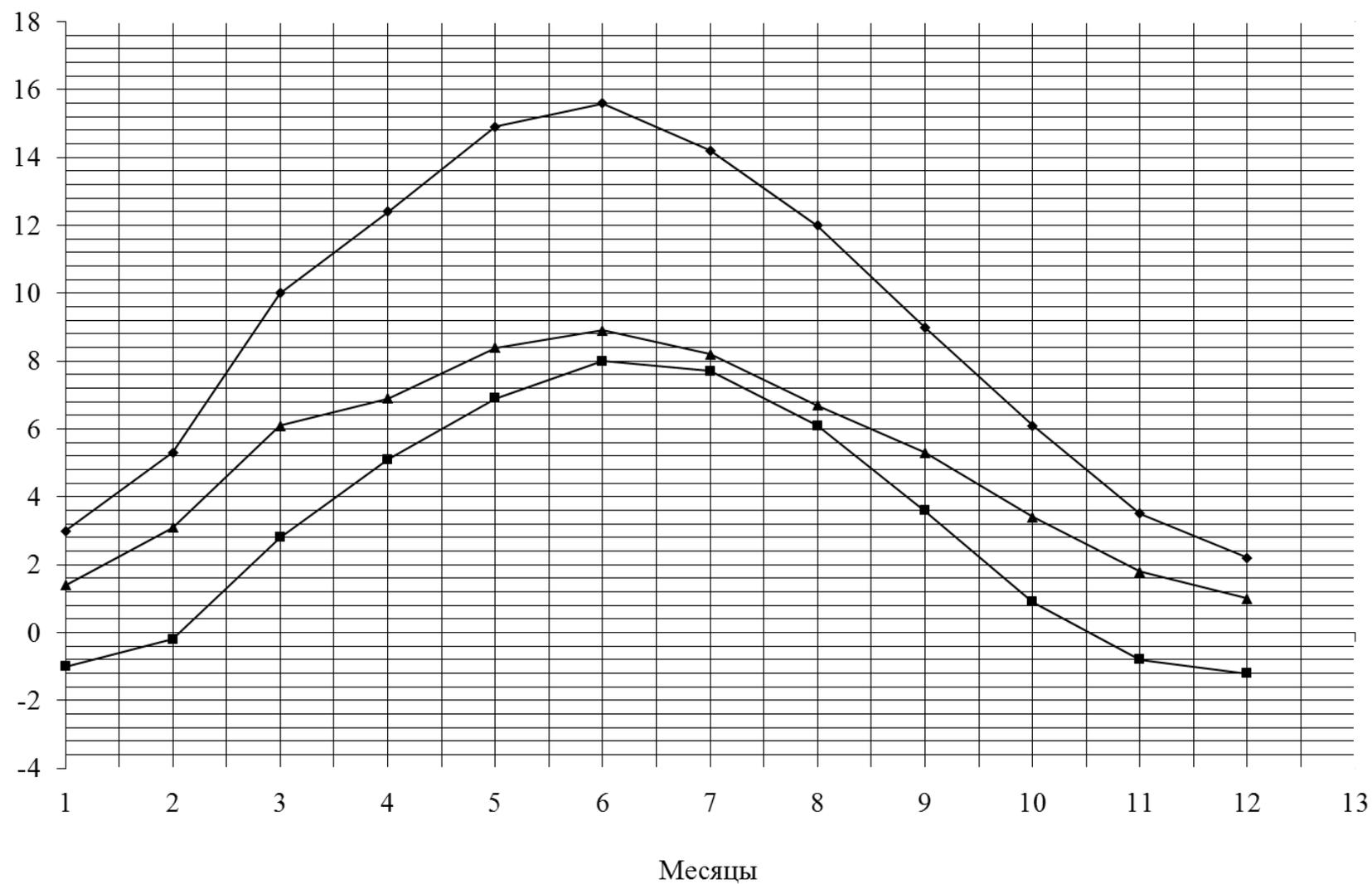


Рис. 2.2. Суммарная (Q), прямая (q) солнечная радиация и радиационный баланс (R) по метеостанции Чита, средние за 1954-70 гг., ккал/см²

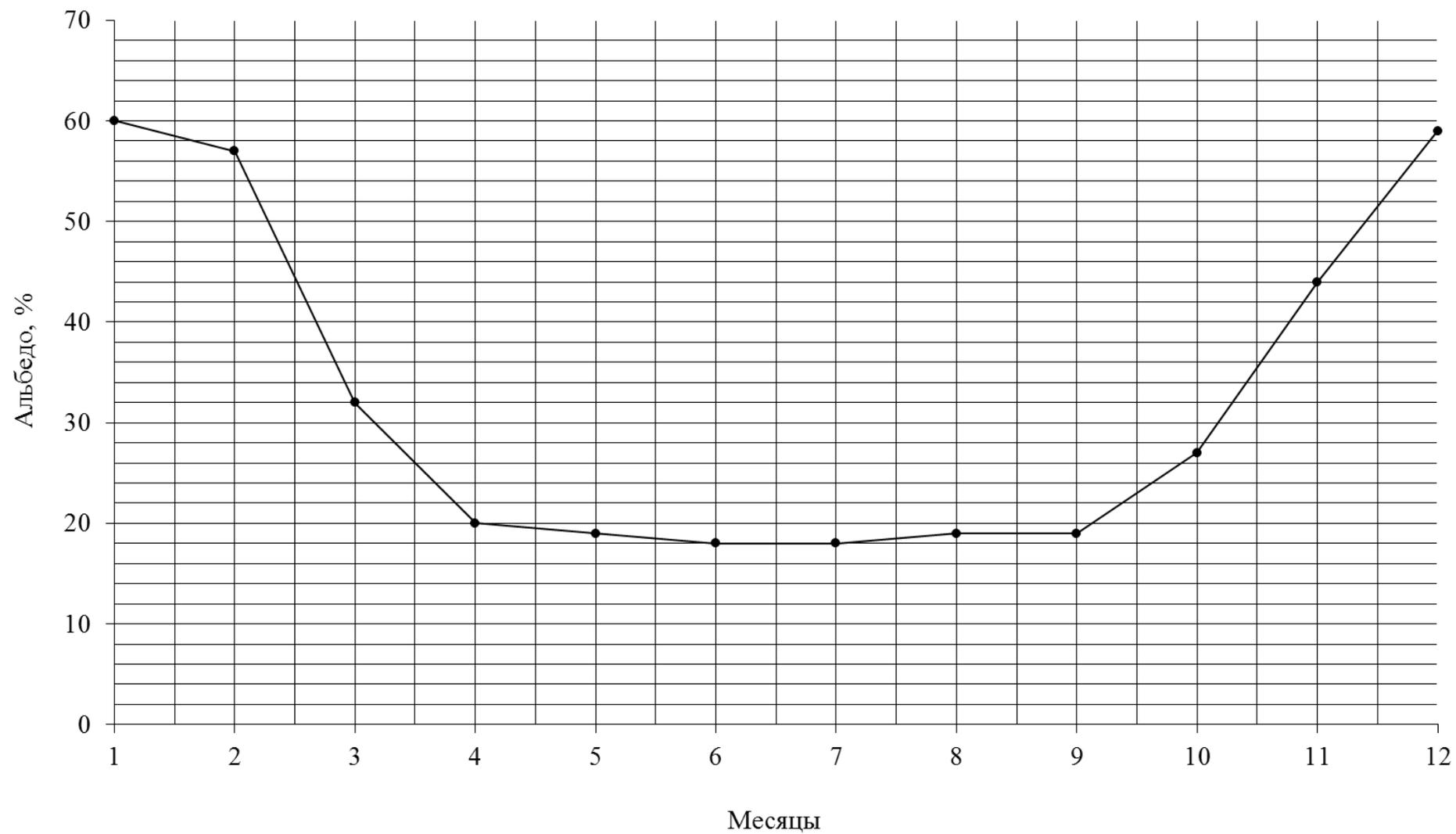


Рис. 2.3. Среднее альbedo поверхности по метеостанции Чита за 1954-70 гг., %

Общая характеристика климата

Температура воздуха. Климат района характеризуется, прежде всего, температурой воздуха. Период с отрицательными среднемесячными температурами воздуха составляет 6 месяцев (октябрь - март, иногда ноябрь - апрель). Наиболее холодный месяц, как правило, январь, редко декабрь.

По метеостанции Чита диапазон изменения средней январской температуры за период с 1910 по 1996 гг. составляет от -19,2 в 1942 г. до -32,0 в 1919 г. со средним значением -24,6. Наиболее теплый месяц - июль, среднемесячная температура которого 19,0, а диапазон изменения от 16,2 в 1957 и 1983 гг. до 26,4 в 1943 г. Среднегодовая температура воздуха за период с 1910-1995 гг. (за исключением 1911-1913, 1920-1927, 1937 и 1945 гг. в связи с отсутствием сведений) составила -1,7, изменяясь от -0,1 в 1943 и 1995 гг. до -3,4 в 1936 и 1947 гг. Годовая амплитуда среднемесячных температур воздуха, средняя за период 1910-1995 гг. равна 43,7. Диапазон её изменения от 37,0 в 1983 и 1995 гг. до 53,8 в 1919 г.

Средние и экстремальные месячные и годовые температуры воздуха за многолетний период наблюдений в Чите приведены в табл. 2.5 и на рис. 2.4.

Таблица 2.5. Месячные и годовые средние и экстремальные значения температуры воздуха за многолетний период наблюдений по метеостанции Чита [127]

Месяц	Абс. минимум	Сред. минимум	Средняя	Сред. максимум	Абс. максимум
январь	-49.6 (1892)	-31.2	-25.2	-17.6	0.4 (1974)
февраль	-48.0 (1892)	-27.1	-19.2	-10.0	7.4 (1998)
март	-45.3 (1906)	-16.9	-9.0	-0.7	18.3 (1932)
апрель	-29.6 (1977)	-5.5	1.6	9.1	29.3 (2014)
май	-13.3 (1939)	1.6	9.7	17.8	36.9 (1898)
июнь	-5.4 (1967)	8.7	16.4	24.3	43.2 (1898)
июль	0.1 (1984)	12.3	18.7	25.9	43.0 (1898)
август	-3.0 (1966)	10.1	16.0	23.0	40.9 (1898)
сентябрь	-10.8 (2014)	2.3	8.7	16.4	35.0 (1898)
октябрь	-33.1 (1976)	-6.2	-0.4	6.8	26.0 (1898)
ноябрь	-41.1 (1979)	-18.3	-12.6	-6.0	12.7 (1988)
декабрь	-47.8 (1916)	-27.3	-21.9	-15.4	5.0 (2013)
год	-49.6 (1892)	-8.1	-1.4	6.1	43.2 (1898)

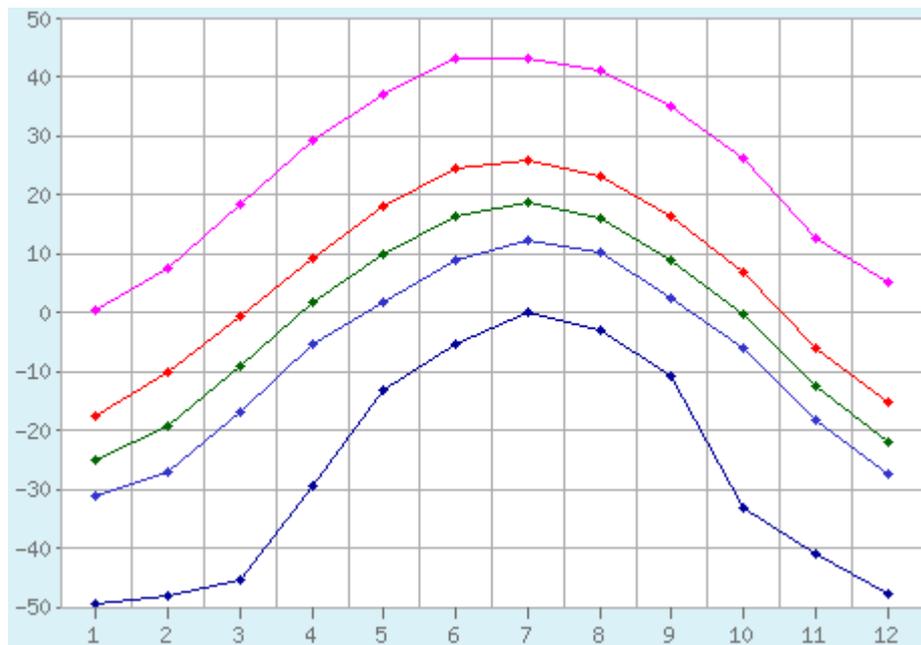


Рис. 2.4. Графики распределения месячных средних и экстремальных значений температуры воздуха за многолетний период наблюдений по метеостанции Чита [127] (в соответствии с табл. 2.5)

За 2000-15 гг. температура воздуха Читы характеризуется следующим (табл. 2.9). Средне январская температура $-25,1$, её изменения от $-19,5$ в 2002 г. до $-30,0$ в 2000 г. Средне июльская температура $19,7$, её изменения от $18,0$ в 2000 г. до $22,2$ в 2015 г. Среднегодовая температура $-1,3$, её изменения от $-0,2$ в 2002 г. до $-2,2$ в 2000 и 2012 гг. Годовая амплитуда среднемесячных температур $45,3$, её изменения от $40,7$ в 2014 г. до $49,0$ в 2001 г.

Эти данные хорошо согласуются с данными обсерватории Гонконг (табл. 2.6). Там же приведены аналогичные данные и по Могоче.

Таблица 2.6. Температура воздуха, осадки и инсоляция по Чите и Могоче (средние за 1961-1990 гг.) [127]

Метеостанция, координаты		Месяц												За год
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Чита 52.08° N, 113.48° E, высота 671 м	Температура	-25.2	-19.2	-9.0	1.6	9.7	16.4	18.7	16.0	8.7	-0.4	-12.6	-21.9	-1.4
	Осадки, мм	2.1	2.6	3.1	9.5	23.6	58.6	103.2	80.6	38.1	10.6	5.8	4.7	342.5
	Инсоляция, ч	139.5	179.2	238.7	243	267	288.3	248	226.3	213	189.1	135	108.5	2476
Могоча 53.75° N, 119.73° E, высота 625 м	Температура	-29.3	-24.3	-14.3	-2.0	7.1	14.1	17.0	13.9	6.7	-3.8	-18.8	-27.8	-5.1
	Осадки, мм	3,2	4,2	7,2	16,8	31,5	83,5	110,2	105,3	42,2	14,6	8,7	5,6	433
	Инсоляция, ч	121	172	223	225	254	240	229	202	180	180	132	102	2261

Осадки. Забайкалье, характеризуется небольшим количеством осадков, составляющим за год в среднем за 1910-1995 гг. 327 мм при диапазоне изменения от 163 мм в 1931 г. до 546 мм в 1990 г. Количество осадков, выпадающих за теплый период в виде дождя, может достигать 90% от годового количества (рис. 2.6) Твердые осадки в виде снега составляют 6-10%, смешанные в виде дождя и мокрого снега – 3-4% (табл. 2.7). Устойчивый снежный покров образуется обычно в конце октября – начале ноября, разрушается в конце марта – начале апреля. Число дней со снежным покровом – 160-166.

Таблица 2.7. Суточные, месячные и годовые средние и экстремальные значения атмосферных осадков в мм за многолетний период наблюдений по метеостанции Чита [127]

Месяц	Норма	Месячный минимум	Месячный максимум	Суточный максимум
январь	3	0.0 (1900)	10 (1911)	9 (1907)
февраль	2	0.0 (1897)	10 (1955)	7 (2006)
март	3	0.0 (1903)	33 (1930)	22 (1930)
апрель	12	0.0 (1899)	57 (2002)	29 (1990)
май	26	0.1 (1946)	77 (2010)	50 (1980)
июнь	63	0.0 (1965)	185 (1985)	51 (1920)
июль	90	13 (1946)	254 (1980)	98 (1980)
август	89	19 (1964)	239 (1969)	104 (1910)
сентябрь	41	0.8 (1954)	114 (1960)	53 (2005)
октябрь	9	0.0 (1894)	54 (1936)	37 (1892)
ноябрь	6	0.0 (1958)	30 (1940)	14 (1979)
декабрь	5	0.0 (1910)	17 (2010)	5 (1943)
год	349	152 (2007)	578 (1897)	104 (1910)

Зимой осадков выпадает крайне мало: в среднем за 6 месяцев с октября по март всего 28 мм. Засушливой является также весна (апрель - май) со средним количеством осадков 29 мм.

Для лета характерны интенсивные крупнокапельные ливневые дожди, вызывающие сильный поверхностный сток. Имеют место также обложные затяжные дожди, продолжающиеся по несколько дней. Суточный максимум осадков может превышать 100 мм

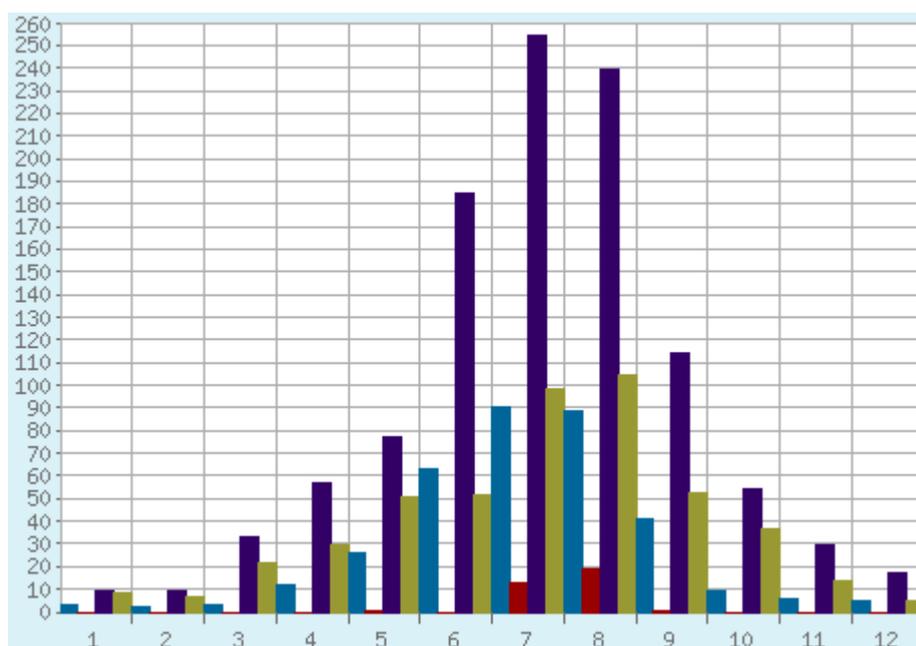


Рис. 2.6. Графики распределения суточных и месячных средних и экстремальных значений атмосферных осадков в мм за многолетний период наблюдений по метеостанции Чита [127]
(в соответствии с табл. 2.)

Число дней в году с различными осадками показано в табл. 2.8

Таблица 2.8. Число дней с твердыми, жидкими и смешанными осадками за многолетний период наблюдений по метеостанции Чита [127]

вид осадков	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	год
твердые	15	8	7	4	1	0	0	0	0.2	4	11	15	65
смешанные	0	0	1	4	2	0	0	0	1	3	0.2	0	11
жидкие	0	0	0.2	2	10	16	18	18	12	2	0	0	78

За последние 16 лет, 2000-2015 гг., (табл. 2.9) годовое количество осадков составило в среднем 335 мм, а диапазон изменений от 151 мм в 2007 г. до 492 мм в 2012 г. Осадки имеют ярко выраженный сезонный характер (рис. 2.6). Их максимум приходится на два летних месяца - июль и август, когда в среднем выпадает 173 мм при диапазоне изменения от 50 мм в 1931 г. до 364 мм в 1990 г.

Таблица 2.9. Температура воздуха и осадки по Чите в 2001-2016 гг. [127]

Год	Месяц												t _{ср}	А	Σ _{год} , мм
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			
2000	-30,0/5	-22,0/1	-6,9/3	2,9/1	11,8/31	18,7/77	18,0/77	16,9/83	9,4/38	-3,7/12	-16,3/2	-26,2/7	-2,2	48,7	337
2001	-29,6/8	-22,9/0	-10,7/5	1,9/20	10,6/16	19,8/27	19,3/134	17,9/139	9,2/47	0,0/16	-7,4/1	-22,0/5	-2,8	49,0	418
2002	-19,5/8	-14,1/0	-3,6/1	1,3/57	11,4/42	17,7/78	21,0/37	18,8/59	9,9/7	-4,5/36	-14,9/3	-26,1/1	-0,2	47,1	329
2003	-23,1/2	-16,0/2	-6,7/0	2,9/0	8,9/3	17,1/4	18,8/72	14,9/93	8,5/52	0,9/13	-16,9/13	-18,9/3	-0,8	41,9	257
2004	-22,5/2	-17,2/3	-9,8/3	1,9/3	8,7/7	20,2/16	21,1/47	16,1/50	9,9/33	2,0/5	-9,8/1	-24,0/2	-0,3	41,1	172
2005	-24,8/1	-23,7/3	-7,2/3	1,5/21	9,3/41	17,4/59	19,2/130	17,4/55	9,6/90	2,7/0	-13,0/12	-25,5/9	-1,4	44,7	424
2006	-27,0/4	-22,4/7	-9,0/4	-2,0/12	8,6/30	15,8/57	19,8/18	15,4/68	10,1/43	-0,6/0	-11,4/5	-22,8/7	-1,8	46,8	255
2007	-23,1/2	-14,2/1	-9,8/2	3,5/12	11,3/23	17,5/34	20,9/42	19,0/27	12,2/3	0,1/2	-11,4/2	-20,4/4	0,5	44,0	151
2008	-25,8/0	-18,9/4	-3,8/0	2,5/13	8,0/46	18,7/57	19,4/70	16,2/101	8,8/88	1,6/16	-11,7/9	-19,0/1	-0,3	45,2	405
2009	-25,3/5	-20,2/6	-9,9/3	5,2/6	10,5/27	16,1/60	19,2/103	15,8/108	8,5/32	-1,2/2	-14,0/9	-27,0/12	-1,9	46,2	373
2010	-25,3/4	-22,8/3	-13,8/4	-2,2/1	10,9/77	19,9/49	20,7/60	16,1/75	10,3/21	-0,8/15	-11,6/7	-24,7/17	-1,9	46,0	333
2011	-27,2/1	-17,9/1	-6,6/2	4,9/1	9,8/21	18,6/42	19,1/113	18,3/54	7,3/21	1,8/2	-14,7/2	-23,4/5	-0,8	46,3	265
2012	-28,1/8	-20,2/1	-10,6/1	1,6/17	10,3/38	16,7/49	19,2/149	15,4/144	9,9/64	-0,4/5	-13,3/10	-27,0/6	-2,2	47,3	492
2013	-27,1/4	-21,6/4	-11,9/4	-0,3/3	11,2/23	16,0/77	18,5/66	16,6/70	8,3/40	0,1/2	-6,3/3	-18,0/1	-1,2	45,6	297
2014	-21,2/4	-20,0/2	-6,4/1	6,5/14	9,4/33	17,2/58	19,5/39	17,0/36	8,7/24	-2,5/19	-11,1/2	-21,0/2	-0,3	40,7	235
2015	-21,2/3	-15,5/0	-6,9/0	2,7/1	10,0/24	16,1/61	22,2/15	18,0/157	10,0/12	0,6/20	-16,5/3	-22,6/7	-0,3	44,8	301
Ср. 2000- 15	-25,1/4	-19,4/2	-8,4/2	2/11	10,0/33	17,8/47	19,7/73	16,9/82	9,4/38	-0,2/10	-12,5/5	-23,0/5	-1,3	45,3	335
Норма	-25,2/3	-19,2/2	-9,0/3	1,6/12	9,7/26	16,4/63	18,7/90	16,0/89	8,7/41	-0,4/9	-12,6/6	-21,9/5	-1,4	43,9	349

В связи с небольшим количеством зимних осадков образуется маломощный **снежный покров** (табл. 2.10), который к тому же в течение зимы обычно испаряется из-за большой радиации, вследствие чего мощность его зимой меняется незначительно. Благодаря слабому проявлению зимних ветров перенос снега и накопление его в понижениях рельефа не наблюдаются. Плотность снега обычно невелика, порядка 0,05-0,15 г/см³, и только к марту достигает 0,25-0,30 г/см³. Вместе с тем, в отдельные годы, как это случалось в 1996, 2014 гг., в первой половине зимы формируется более мощный снежный покров толщиной 15-30 см.

Таблица 2.10. Снежный покров за многолетний период наблюдений по метеостанции Чита [127]

месяц	июл	авг	сен	окт	ноя	дек	январь	фев	мар	апр	май	июнь	год
число дней	0	0	0.3	3	19	27	30	27	12	3	0.5	0	120
высота (см)	0	0	0	0	3	6	7	7	2	1	0	0	
макс.выс. (см)	0	0	5	21	26	31	47	26	39	25	29	0	47

С общей засушливостью района связана низкая величина относительной **влажности воздуха** (табл. 2.11), составляющая за год 64-71%. Наиболее высокая относительная влажность наблюдается в декабре (около 80%), в апреле она значительно понижается – почти до 40%. Наблюдается также осенний минимум – в октябре (около 60%).

Таблица 2.11. Влажность воздуха, %, за многолетний период наблюдений по метеостанции Чита [127]

январь	фев	мар	апр	май	июнь	июль	авг	сен	окт	ноя	дек	год
76	72	59	47	46	58	68	73	66	61	70	77	64

Низкая влажность воздуха обеспечивает высокую испаряемость, равную 600-700 мм/год [94].

Ветровой режим. В Забайкалье наблюдаются ветры небольшой скорости (табл. 2.12). Зимой преобладают штили и ветры со скоростью 1-2 м/с. Весной скорость ветра возрастает до 2-5 м/с., а летом снова снижается, лишь изредка достигая 3 м/с. Осенью все чаще возникает штилевая погода. Вместе с тем в долинах рек иногда бывают ветры со скоростью 17-20 м/с.

Иногда случаются шквальные ветры в узкой полосе, ломающие стволы деревьев и выворачивающие некоторые из них с корнем.

Таблица 2.12. Скорость ветра, м/с, за многолетний период наблюдений по метеостанции Чита [127]

январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	год
1.1	1.4	2.2	3.2	3.2	2.6	2.2	2.0	2.2	2.2	1.8	1.2	2.1

Повторяемость различных направлений ветра показаны в табл. 2.13 и на рис. 2.7.

Таблица 2.13. Повторяемость различных направлений ветра, %, за многолетний период наблюдений по метеостанции Чита [127]

направление	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	год
С	11	9	10	13	15	13	14	12	11	10	9	10	11
СВ	16	13	12	10	12	13	14	13	12	10	13	17	13
В	16	14	13	10	10	13	14	14	13	12	14	15	13
ЮВ	5	7	7	7	6	9	9	8	8	7	6	6	7
Ю	13	12	11	9	8	11	12	12	12	12	14	13	11
ЮЗ	16	16	13	13	12	15	15	17	14	15	18	18	15
З	10	13	15	15	14	11	10	11	14	16	13	10	14
СЗ	13	16	19	23	23	15	12	13	16	18	13	11	16
штиль	46	37	20	13	11	11	14	17	16	20	29	43	23

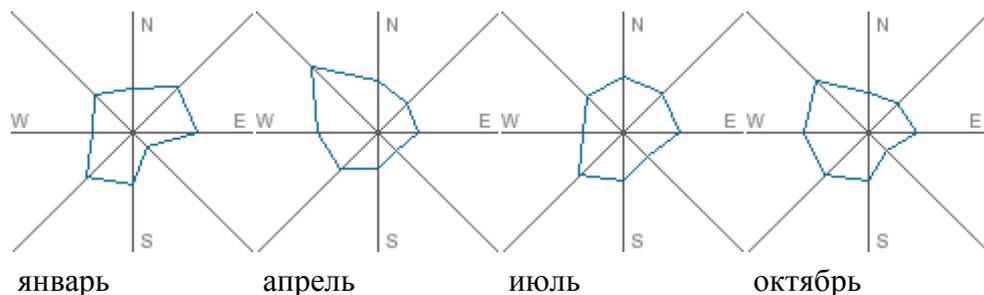


Рис. 2.7. Роза ветров за многолетний период наблюдений по метеостанции Чита [127] (в соответствии с табл. 2.)

Преобладающее направление ветра северо-западное, составляющее в ноябре-марте 40-45%. Часты также ветры северного и западного направлений. Летом наиболее часты северные и северо-восточные ветры.

Климат межгорных впадин по своим особенностям резко отличается от зонального климата Забайкалья в целом. Зимой воздух внутри впадин оказывается холоднее, чем на вышерасположенных склонах и невысоких

водоразделах. Инверсия температуры захватывает слой воздуха мощностью 1-2 км. Разность температур при этом составляет в январе от 4 до 12°. В результате этого среднегодовая температура горных склонов повышается на 1,5-1,7°, реже 3,5° на каждые 100 м высоты по сравнению с днищами котловин. В связи с этим многолетнемерзлые породы, их температура и мощность в большой степени обусловлены положением их в рельефе Забайкалья и абсолютной высотой местности [94].

Характеристика климата по сезонам года

Зима. В Забайкалье зима устанавливается в середине - конце октября и продолжается 4,5-5 месяцев, примерно до середины апреля. Она характеризуется сильными устойчивыми морозами, небольшими осадками, незначительным снежным покровом и слабыми ветрами, необычайно ясной солнечной погодой (число дней с облачностью 0-2 балла достигает 120-125 за зиму), отсутствием оттепелей, резко выраженной температурной инверсией.

Устойчивый снежный покров образуется в ноябре, а нередко в декабре. Снег ложится на уже промерзшую землю. Наибольшей высоты он достигает в конце февраля - начале марта. Вскоре прекращаются устойчивые морозы и начинается разрушение снежного покрова. Вследствие роста солнечной радиации, усиления ветра и низкой влажности воздуха снег сходит быстро.

Весна. Обычно наступает во второй половине апреля. Первые 20-25 дней – ранневесенний период, когда наблюдается наибольшее в году повышение температуры, достигающее 11-14° от марта к апрелю. В этот же период отмечаются максимальные суточные колебания температуры.

Для весны характерны частые заморозки, преимущественно радиационные: в мае бывает в среднем 15 дней с заморозками, когда температура понижается до -3,5 - -5,5° [84].

Лето. Наступает в конце мая - начале июня. Лето теплое. Температура июля составляет 18-20°. Дневная температура воздуха может достигать очень больших значений, превышая 35°. Отмечается резкое различие между засушливостью весны и начала лета и обилием осадков во второй половине

лета (в июле-августе). В начале лета в связи с циклонической деятельностью осадков выпадает больше, чем весной, но всё-таки мало: 30-40 мм. Во второй половине лета выпадает основное количество дождей: 100-150 мм. Дней с осадками в июле бывает 12-15. Влажность воздуха, обычно небольшая в начале лета (45-50%), в июле возрастает до 50-60%.

Осень. Наступает быстро. Заморозки начинаются в начале сентября, иногда случаются в конце августа. Постепенно увеличивается число малооблачных дней и быстро уменьшается количество осадков: в сентябре их примерно в два раза меньше, чем в августе, а в октябре – уже в 6-9 раз.

Таким образом, анализируя климатические условия Забайкальской части автодороги «Амур», можно сделать выводы о том, что:

- 1) климат благоприятствует возникновению и существованию высокотемпературных многолетнемерзлых пород;
- 2) основные климатические характеристики существенно изменяются в разные годы;
- 3) возможна высокая динамичность мерзлотной обстановки как в естественных условиях, так и при техногенных воздействиях;
- 4) можно управлять мерзлотными условиями, воздействуя на структуру радиационно-теплового баланса поверхности участка дороги.

2.2. Рельеф

Территория Забайкальского участка трассы представляет собой сочетание горных областей и равнинных участков. Горные системы имеют характер вытянутых в восточном и северо-восточном направлениях хребтов, к югу и юго-востоку переходящих в высокие нагорья, а к долине р. Амур – в полого-увалистую равнину. Разнообразие природных ландшафтов на большей части территории дополняется микрорельефом, связанным, в основном, с криогенными процессами.

Трасса федеральной автомобильной дороги Чита – Хабаровск следует параллельно Транссибирской железнодорожной магистрали, то, приближаясь к ней, то, удаляясь и пересекает на Забайкальской части дороги три геоморфологические области Центрального и Восточного Забайкалья (см. приложение 1): Даурское сводовое поднятие, Пришилкинскую горно-долинную страну и Восточно-Забайкальскую депрессию.

Территория Центрального и Восточного Забайкалья является типичной горной страной, основу которой составляют разновысотные горные хребты и разделяющие их межгорные впадины. Хребты представляют собой сложные горные сооружения, состоящие из островных и останцовых гор и невысоких горных массивов с асимметричными и симметричными поперечными профилями.

Наиболее типичным для орографического облика этой территории является рельеф среднегорья (км км 0-780), характеризующийся мягкими плавными очертаниями с уплощенными, массивными округлыми или овальными вершинами гор с абсолютными отметками 800-1000 м, относительными превышениями 300-400 м, и пологими склонами широких долин. Крутизна склонов обычно 15-25°, местами может достигать 35-40°.

Для района низкогорья (км км 780-794) характерен грядово-холмистый и останцово-сопочный рельеф. Контуры сопок расплывчаты и пологи; абсолютные отметки вершин не превышают 700-800 м, а далее на восток 400-600 м. Относительные превышения составляют 100-250 м.

Гидрографическая сеть подчинена общей северо-восточной направленности основных горных хребтов. Верховья рек представляют собой чашеобразные амфитеатры с большим уклоном бортов, водотоки разделены между собой узкими водоразделами, днища слабо наклонены (до 10°), ширина долин рек и ручьев колеблется от 100 до 1000 м.

Хорошо разработанные долины крупных рек имеют широкие днища, с низкой и высокой поймами и несколькими эрозионно-аккумулятивными

террасами; борта долин изрезаны множеством падей и распадков, иногда очень глубокими.

Трассой пересекаются долины левых притоков р. Ингода – рек Никишиха, Кручина, Урульга; долины левых притоков р. Шилка – рек Нерча, Куэнга, Алеур, Черная и большое количество мелких рек и речек; долины левых притоков Амура – рек Амазар, Чичатка с притоком р. Урка.

Рельеф местами осложнен осыпями, делювиальными шлейфами. На плоских вершинах гор и в седловинах очень часто встречаются курумы, глыбовые россыпи и заболоченные участки.

В Забайкалье вечная мерзлота накладывает специфический облик на микрорельеф – здесь выделяются бугры пучения, наледи, морозобойные трещины. Часто встречаются мари на склонах водораздельных пространств, а также явление солифлюкции – образование террас при медленном течении оттаявших переувлажненных грунтов. Возможно образование оплывин и оползней при нагрузке или подрезке переувлажненных грунтов на склонах.

По характеру и степени увлажнения грунтов, мерзлотно-грунтовым особенностям в основании земляного полотна на всем протяжении дороги выделяются три типа местности: тип I – сухие места, приуроченные к склонам и водораздельным поверхностям; тип II – сырые места, приуроченные к долинам рек и падам; тип III – мокрые места, замаренные участки долин (встречаются значительно реже, чем первые два типа местности).

Долины пересекаемых водотоков параболаобразные, с некрутыми невысокими склонами, заросшие смешанным лесом с мелким подлеском. Русла, как правило, не выражены, или слабо выражены. Поймы широкие, заросшие мелким лесом, некоторые завалены буреломом, сток воды происходит между кочек.

Таким образом, разнообразие элементов рельефа, их различие по абсолютным отметкам, экспозиции и крутизне определяют значительное разнообразие мерзлотных условий Забайкальской части автодороги «Амур».

2.3. Геологическое строение

Как уже отмечалось, в пределах Забайкальской части трасса автодороги «Амур» пересекает три крупные морфоструктуры: Даурское сводовое поднятие, Восточно-Забайкальскую депрессию и Пришилкинскую горно-долинную страну (см. приложение 1), различающиеся геологическим строением [11-13].

Даурское поднятие представляет собой массивный, лишенный крупных межгорных впадин, широкий свод северо-восточного простирания, ограниченный зонами тектонических разломов. Эта крупная морфоструктура возникла в мезозое в связи с внедрением огромных масс гранитоидов и испытывает унаследованное интенсивное поднятие в неоген-четвертичное время.

На огромных пространствах **Восточно-Забайкальского синклинория** (с наложенным Восточно-Забайкальским мезозойским прогибом) распространены массивы палеозойских гранитоидов, среди которых выделяются: граниты, диориты, гранитоиды.

Пришилкинская горно-долинная страна является частью Шилкинско-Аргунского сводового поднятия северо-восточного простирания. Здесь распространены разновозрастные структурно-литологические комплексы, различающиеся степенью метаморфизации и дислоцированности пород.

Все формации прорваны многочисленными интрузиями гранитоидов палеозойского и мезозойского возраста. При изысканиях трассы дороги повсеместно (в пределах всех структур) вскрыты породы интрузивного комплекса, представленные гранитами биотитовыми, роговообманково-биотитовыми, гранодиоритами и диоритами.

Отложения четвертичного возраста представлены среднеплейстоценовыми делювиальными и современными, голоценовыми элювиальными, делювиальными, делювиально-пролювиальными и аллювиальными образованиями.

Делювиальные и делювиально-пролювиальные отложения встречаются в виде небольших пятен в верховьях падей, в логах и на склонах долин. Они представлены суглинками и супесями, обогащенными дресвой и щебнем гранитов, мощностью до 10 м. Местами они перекрывают аллювий современных пойменных террас. Глинистые разновидности делювиально-пролювиальных отложений имеют лессовидный облик.

Элювий представлен дресвяными и щебнистыми грунтами.

Современный аллювий характеризуется разнообразным литологическим составом, непостоянством мощностей и относительно быстрой сменой слоев по вертикали и горизонтали. Выделяются пойменная, старичная и русловая фации аллювия. Две первые фации слагают верхнюю часть разреза, мощностью 2-3 м.

Пойменная и старичная фации сложены супесями, суглинками и тонкозернистыми песками. Глинистые разновидности пород в большинстве случаев недоуплотненные, их пористость в среднем составляет 47,5%, среднее число пластичности равно 12. Пески пойменной фации характеризуются рыхлым сложением, их пористость в среднем равна 42,5%, они обладают плавунными свойствами.

Русловая фация аллювия представлена в основном гравийно-галечными отложениями с песчаным заполнителем. Большая неоднородность гранулометрического состава обуславливает их плотное сложение, что подтверждается значениями пористости в среднем 28,5%. Объемная масса влажного грунта изменяется от 1,65 до 2,12 г/см³ (среднее 1,88 г/см³).

Таким образом, наблюдается значительное разнообразие генетических типов, состава и свойств рыхлых отложений, зависящих от возраста, генезиса и состава коренных пород, неотектоники и геоморфологических условий района и являющихся в большинстве случаев основанием автодороги «Амур». Это разнообразие геологического строения в значительной степени влияет на мерзлотные условия дороги.

2.4. Гидрогеологические условия

В пределах Забайкалья трасса дороги пересекает территории с прерывистым и сплошным распространением многолетнемерзлых пород, что определяет режим грунтовых и надмерзлотных вод, расположенных в верхней части гидрогеологического разреза, попадающего в зону механического и теплового взаимодействия с дорогой.

Грунтовые воды в основном сосредоточены в аллювиальных отложениях. В таликах они имеют свободную поверхность уровня и в большинстве своем гидравлически связаны с трещинными водами подстилающих пород. Глубина залегания уровня грунтовых вод на пойме и в днищах падей 1-3 м, на первой террасе до 10 м. Залегающие близко от поверхности грунтовые воды отличаются значительными колебаниями режима во времени. Зимой они полностью или частично промерзают и уровень их понижается. Наблюдаются резкие колебания уровня в зависимости от выпадения атмосферных осадков. Глубокозалегающие грунтовые воды характеризуются относительным постоянством режима. Водовмещающие породы (разнозернистые пески, гравийно-галечные, валунные и реже супесчано-глинистые) обладают коэффициентом фильтрации от 0,2 до 150 м/сут со средним значением в 30-40 м/сут.

Надмерзлотные воды обычно залегают на глубине до 1-3 м и содержатся как в аллювиальных, так и элювиально-делювиальных образованиях горных склонов и водоразделов. Режим надмерзлотного водоносного горизонта изменчив. Большую часть года воды его находятся в твердой фазе. В процессе промерзания в надмерзлотном водоносном горизонте развивается большой гидродинамический напор, который оказывает влияние на образование сезонных бугров пучения и наледей.

Подмерзлотные воды по трассе автодороги «Амур» мало исследованы. Местами напор вод, залегающих под многолетнемерзлыми породами, достигает 15-70 м; в зимний период они питают наледи, нередко проявляющиеся на трассе автодороги.

ГЛАВА 3. ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ЧАСТИ АВТОДОРОГИ «АМУР» И ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ ИХ ИЗМЕНЕНИЙ

3.1. Геокриологические условия трассы

Общие закономерности пространственной изменчивости мерзлотных условий трассы автодороги, как и всего региона [12], определяются следующими основными факторами: 1) широтной зональностью и высотной поясностью климатических характеристик и ландшафтных условий; 2) особенностями рельефа местности (высотные отметки и площадь водоразделов; глубина вреза рек, размеры и ориентация падей, котловин, долин; экспозиция и крутизна склонов); 3) составом и влажностью пород в слое годовых теплооборотов; 4) наличием напорных подмерзлотных вод и величиной геотермического градиента.

В Забайкалье распределение тепла, влаги, поверхностного и подземного стока имеет большую зависимость от абсолютных отметок местности, чем от ее широтного положения [54, 58, 60, 94]. В пределах отметок 1200-2000 м происходит малоградиентное понижение среднегодовой температуры воздуха, а в интервале 1000-1200 м она повышается с градиентом $0,04^{\circ}\text{C}/\text{м}$. В долинах и впадинах небольших размеров формируется инверсионный режим температуры. Долины и пади, благодаря низкому положению в рельефе, являются водосборниками поверхностных и подземных вод. Здесь большую роль в формировании температурного режима пород играет конвективный теплообмен. Наибольший эффект конвективного теплопотока проявляется на участках многолетней мерзлоты, так как непосредственно под влиянием тепло- и массопереноса здесь увеличивается слой сезонного оттаивания и формируются талики, параметры которых, определяются комплексом ландшафтно-климатических и геолого-гидрогеологических факторов. Маломощная многолетняя мерзлота в долинах рек и во впадинах встречается там, где имеется крупнообломочный материал

и находится русло водотоков. В средне- и низкогорьях мерзлые породы с наименьшей мощностью приурочены к водоразделам и склонам, где обеспечивается повышенное количество поглощенной солнечной радиации и влаги.

В центральной и восточной частях Забайкалья неравномерная инсоляция склонов в сочетании с характером земной поверхности (залесенность, заболоченность) существенно определяет их температурный режим и теплообмен горных пород с атмосферой, что приводит к асимметричному строению мерзлой зоны: на склонах северной экспозиции мощность мерзлых пород достигает 20-100 м, на склонах южной экспозиции на абсолютных отметках менее 1000 м мерзлые породы отсутствуют.

На формирование талых зон влияет и направление переноса воздушных масс. Преобладание северо-западного переноса в Центральном Забайкалье способствует большему увлажнению северо-западных склонов и меньшему их промораживанию.

В днищах котловин, в долинах и на пониженных частях склонов распределение талых и мерзлых пород отличается чрезвычайной пестротой и сложностью. Здесь теплообмен и промороженность пород являются результатом множества факторов. Отрицательная температура воздуха, распределение атмосферных осадков и их инфильтрация, испарение, зимняя температурная инверсия имеют региональное, повсеместное значение. Конкретный характер многолетнемерзлых пород в каждой межгорной впадине определяется также ориентацией впадин и склонов долин по странам света, неотектоническими условиями отдельных участков, литологией и влажностью пород, деятельностью поверхностных и подземных вод, залесенностью и др.

Атмосферных осадков в межгорных впадинах выпадает значительно меньше, чем на водоразделах. Устойчивый снежный покров на водоразделах обычно формируется раньше. Для крупных ландшафтных районов характерно также уменьшение испарения с увеличением их средней высоты.

Такая особенность испарения обеспечивает повышенный расход тепла в долинах.

На всей описываемой территории, за исключением крайнего северо-востока с муссонным характером климата, зимний антициклон и связанное с ним застаивание холодных воздушных масс приводят к охлаждению межгорных понижений и долин. Однако только в среднегорье и низкогорье зимняя температурная инверсия является одним из ведущих факторов теплообмена (в сочетании с другими физико-географическими и геологическими условиями), способствуя формированию низких температур поверхности и образованию многолетнемерзлых пород.

Следует отметить общие закономерности геокриологических условий в тектонических впадинах и некоторые особенности, свойственные определенному их типу. Во впадинах, имеющих значительную протяженность и меридиональное или субмеридиональное направление, особенности распространения многолетнемерзлых пород подчиняются широтной геокриологической зональности и обусловлены также высотной отметкой поверхности впадин. Наиболее глубоко проморожены отложения котловин широтного простирания по сравнению с субмеридиональными. При этом ориентация долин может определить не только расположение массивов мерзлых пород во впадинах, но и их мощность. Геокриологические условия каждой впадины зависят также от её структурных, тектонических, геоморфологических, литологических и гидрогеологических особенностей. Самые высокие значения тепловых потоков, геотермических градиентов, особенно при наличии подземных вод, отмечаются в антиклинальных структурах или в местных поднятиях кристаллического фундамента, что способствует снижению мощности мерзлых пород или полному их отсутствию. Минимальные значения теплового потока благоприятствуют образованию аномально большой мощности мерзлых пород в синклинальных структурах.

Тонкодисперсные отложения с небольшими значениями коэффициента фильтрации сосредоточены в центральных частях впадин, крупнозернистые и грубообломочные с более высокими фильтрационными свойствами – в краевых частях.

К бортам впадин приурочены и водоносные разрывные нарушения с повышенной термической активностью. Сами периферийные части вследствие того, что они являются местными областями питания и транзита подземных вод, поступающих с гор, характеризуются интенсивной циркуляцией этих вод. В целом это способствует прогреву краевых частей впадин, обуславливая отсутствие или нахождение здесь мерзлых пород значительно меньшей мощности.

При прочих равных условиях наибольшая мощность многолетнемерзлых пород приурочена к участкам с увлажненными глинистыми и илисто-торфяными разностями и к песчаным отложениям, подстилаемым или перекрытым глинистыми породами.

Максимальная мощность мерзлых пород достигает 100-350 м при температуре от $-0,1$ до $-4,4^{\circ}$. Кровля мерзлых пород залегает на глубине до 5 м и более (на юге).

Мерзлые породы этих впадин имеют эпигенетическое происхождение (в породах древнее плейстоцена), а в небольших прогибах, заполненных плейстоцен-голоценовыми осадками, сингенетическое.

Многолетнемерзлые породы забайкальского типа распространены в одноименных тектонических впадинах (табл. 3.1).

Забайкальская часть трассы по данным изысканий характеризуется неоднородностью геокриологических условий, проявляющейся в распространении многолетнемерзлых пород, в широком диапазоне значений их среднегодовой температуры и мощности, в различных проявлениях мерзлотно-геологических процессов. Пространственная изменчивость этих характеристик объясняется изложенными выше закономерностями, установленными для Забайкалья в целом.

Таблица 3.1. Геокриологическая характеристика Читино-Ингодинской впадины
(по [19])

Элемент рельефа	Состав пород	Тектоническая структура	Глубина залегания подземных вод, м	Среднегодовая температура пород, °С	Мощность многолетнемерзлых пород, м	Льдистость (влажность) пород, %
I надпойменная терраса р. Читинки	Супеси, суглинки	Черновская брахи-синклиналь	2-5	-0,5 ÷ -1	40-60	20-30
	Суглинки	Крыло Читинской синклинали	0-2	-0,5 ÷ -0,7	20-30	20-25
	Галечники с супесью	Читинская брахи-синклиналь	0-2	1; 4	-	-
Пойма рек Ингоды и Читинки	Суглинки, галечники	Читинская синклиналь	0-2	-0,5; -1	30-40	20-25
	Пески, гравий	Ингодинская антиклиналь	0-2	0,1; 0,2	-	-
Озеро Кенон	Суглинки и супеси	Читинская антиклиналь	Разгрузка вод	2; 4	-	-
III и IV аккумулятивные террасы рек Ингоды и Читинки	Пески разнозернистые	Крыло Читинской и Ингодинской синклинали	> 15	1; 2	-	(10-15)
	Глины, суглинки, супеси			-0,2; -0,5	3-15	(15-20)
Поверхности эрозионных террас	Суглинки с дресвой алевролитов	Различная	Отсутствует	0,1; -0,2	5-25	20-30 (до 100% в угле)
	Пески разнозернистые	То же	Отсутствует	1, 2	-	(10-17)
Юго-восточные делювиальные и эрозионные склоны хр. Яблонового	Дресва, щебень метаморфических пород	То же	> 15	0,1; 2	-	(5-6)
Северо-западные делювиальные склоны хр. Черского	Дресва, щебень гранитов, граносиенитов и др.	То же	Надмерзлотные в зоне выветривания	-0,1; -0,5	до 60	Нет сведений

Как видно из материалов, приведенных в приложениях 2-8, характеризующих различные микрорайоны на участках дороги км км 72-75, 112-115, 332-335, 348-350, 389-392, 536-539 и 757-760, наиболее суровые геокриологические условия с преимущественно сплошным распространением многолетнемерзлых толщ наблюдаются на западных,

северных и северо-восточных склонах Пришилкинского и Даурского низкогорий. Минимальная среднегодовая температура здесь составляет $-3,7^{\circ}$ (на пологих слабо-заболоченных склонах, со слоем торфа или оторфованного суглинка в сезонно-талом слое). Мощность многолетнемерзлых пород может достигать 40 м.

В пределах Восточно-Забайкальской депрессии многолетнемерзлые породы имеют несплошное распространение (км км 112-115). Залегают они преимущественно в логах, котловинах, на склонах северной и северо-восточной экспозиции со среднегодовой температурой от $-1,0$ до $-1,3^{\circ}$. Мощность их превышает 15 (?) м. Как правило, на этих участках с поверхности залегают слои оторфованного суглинка.

Пространственная изменчивость глубины сезонного оттаивания пород и промерзания (на талых участках) определяется составом и влажностью пород: по мере увеличения их дисперсности и влажности эти глубины уменьшаются. Данные Л.М. Демидюк [19], приведенные в табл. 3.2 и 3.3, хорошо иллюстрируют эту закономерность.

Таблица 3.2. Глубина сезонного промерзания горных пород Читино-Ингодинской впадины

<i>Элемент рельефа</i>	<i>Литологический состав</i>	<i>Влажность, %</i>	<i>Температура пород, °C</i>	<i>Глубина, м</i>
Пойма рек Ингода и Читинка	Гравий, галька с супесчаным и песчаным заполнителем	20	$0 \div 0,5$	3-4
	Суглинок (до 2 м), ниже галечник	25-30	$0 \div 0,5$	3-4
I надпойменная терраса р. Ингоды	Пески от разно- до крупнозернистых, иногда с галькой	5-10	$0 \div 0,5$	5,5 – 6,3
II надпойменная терраса р. Ингоды	Супеси, суглинки с галькой	10-15	$0,5 \div 1,0$	3,3-4,0
	Гравий, галька с супесчаным заполнителем	-	1-2	3,2-3,7
III и IV надпойменные террасы	Гравий, галька с супесчаным заполнителем	10-15	$0 \div 0,5$	3,5-4,2
	Пески разнородные с галькой	5-10	$0 \div 0,5$	5,0-5,5
	Пески от тонко- до крупнозернистых	-	$0,5 \div 1,0$	3,0-3,5
Склоны террас	Пески разнородные	10-15	1-2	3,0-3,5
	Суглинки	15-20	0,5 - 1,0	2,5-3,2

Таблица 3.3. Глубина сезонного оттаивания горных пород Читино-Ингодинской впадины

<i>Элемент рельефа</i>	<i>Литологический Состав</i>	<i>Влажность, %</i>	<i>Температура пород, °С</i>	<i>Глубина, м</i>
Пойма рек Ингоды и Читинка	<i>Гравий, галька с супесчаным заполнителем</i>	-	0 ÷ -0,5	3,0-4,5
	<i>Гравий, галька с супесчаным заполнителем</i>	20-25	-0,5 ÷ -1,0	2,5-3,5
	<i>Суглинки (1-1,5 м), ниже пески</i>	25-30	0 ÷ 0,5	2,5-3,0
I надпойменная терраса рек Читинка и Ингоды	<i>Гравий, галька с песчаным и супесчаным заполнителем</i>	10-15	0 ÷ 0,5	4,5-5,0
	<i>Суглинки, подстилаемые галечниками</i>	-	-0,5 ÷ -1,0	3,0-3,2
III надпойменная терраса р. Ингоды	<i>Суглинки</i>	15-20	0 ÷ 0,5	3,0-3,5
	<i>Суглинки</i>	15-20	0 ÷ -0,5	2,5-3,5
Склоны террас (уклоны 5-10°)	<i>Суглинки, супеси со щебнем</i>	10-15	0 ÷ -0,5	3-4
Днища котловин	<i>Супеси, суглинки</i>	25-30	-0,5 ÷ -1,0	2,5-3,0

Также в значительной мере изменяются глубины сезонного оттаивания и промерзания в зависимости от ориентации склонов. Так, на южных склонах глубина сезонного оттаивания грунтов в 1,5-2 раза больше, чем на северных при прочих равных условиях. К увеличению глубины оттаивания приводит фильтрация надмерзлотных и грунтовых вод в крупнообломочных породах.

В период максимального промерзания водоносный горизонт разобщается участками полного промерзания водоносного слоя и движение воды приобретает сложный характер, как по скорости, так и по направлению. Грунтовые воды по мере продвижения фронта промерзания и соответственно уменьшения живого сечения потока приобретают напор, величина которого иногда достигает 5-8 м. В местах их неполного промерзания в напорном состоянии они находятся до полного оттаивания сезонно-мерзлого слоя летом. Именно с этими участками обычно связано формирование наледей грунтовых вод.

Отклонения глубин сезонного оттаивания и промерзания грунтов в многолетнем аспекте согласно стационарным наблюдениям на метеостанции г. Читы могут достигать 10-30%.

На Забайкальской части трассы автодороги глубина сезонного оттаивания пород в среднем изменяется от 1,8 до 2,2 м. Минимальная глубина сезонного оттаивания (1,6 м) наблюдается на склонах северной ориентации, где с поверхности залегают оторфованные суглинки (супеси) или слой торфа. Максимальная глубина (3,6-4,3 м) отмечается в дресвяно-щебнистых образованиях с влажностью до 7%.

Льдонасыщенность многолетнемерзлых четвертичных пород зависит от их состава, влажности, наличия водоносных горизонтов к началу промерзания. В них встречаются включения сегрегационного, повторно-жильного и инъекционного льда (преимущественно в буграх пучения и гидролакколитах). Наиболее высокой льдистостью обладают аллювиальные отложения, слагающие низкие террасы и поймы рек и озер. Высокая льдистость грунтов прослеживается до глубины 10 м, местами глубже. В мерзлых суглинистых и илистых отложениях наблюдается переслаивание пород с линзами льда мощностью 0,5-2 м. Наиболее насыщены льдом суглинки в подошве сезонно-талого слоя и у верхней поверхности многолетнемерзлых пород, где они имеют слоистую криогенную текстуру с линзообразными прослойками льда толщиной до 25 см. Мощность слоя льдистостью до 80-98% обычно составляет 0,5-3 м. С глубиной льдистость суглинков уменьшается и лед встречается преимущественно в виде одиночных мелких кристаллов.

Для делювиально-солифлюкционных отложений суглинистого и супесчаного состава характерны слоистые, реже сетчатые криогенные текстуры. Последние характерны для сильно увлажненных супесей и суглинков у подножий южных склонов или на склонах северной экспозиции. Массивная или тонкослоистая криотекстуры наблюдаются в песках и супесях на склонах южной экспозиции, а на крутых склонах составляет не более 7%. Льдистые элювиальные и делювиально-солифлюкционные суглинки при переходе из мерзлого состояния в талое дают осадку, достигающую в отдельных случаях 23%, при оттаивании они приобретают текучую

консистенцию. Это приводит к широкому развитию в этих районах солифлюкции.

Криогенные процессы в Забайкалье проявляются дифференцированно и с различной интенсивностью в межгорных впадинах и в горных сооружениях. Для гор характерно: морозное выветривание, курумообразование, солифлюкция, наледи. В пределах межгорных впадин в различных мерзлотно-геологических условиях развиваются: морозное выветривание, пучение, морозное трещинообразование, солифлюкция, термокарст, термоэрозия, наледи.

Забайкалье по **пучению грунтов** является классическим регионом. Пучение наблюдается на поймах и террасах, сложенных суглинистыми сильно увлажненными грунтами, а также в днищах падей на эрозионных террасах, выработанных в верхнемезозойских породах, прослеживается практически повсеместно. По происхождению и характеру развития пучение подразделяется на сезонное, связанное с промерзанием и оттаиванием пород в годовом цикле, и многолетнее, вызванное длительным многолетним промерзанием несквозных и межмерзлотных таликов.

При подтоке подземных вод пучение пород приводит к образованию бугров пучения (рис. 3.1)



Рис. 3.1. Сезонный бугор пучения
(фото из архива ТрансИГЭМ, 1 апреля 2011)

Нередко они встречаются группами и достигают высоты 2-4 м, в поперечнике – 20-50 м. Вершины их обычно рассечены системой трещин глубиной до 1,5 м. Многолетние бугры пучения (гидролакколиты) (рис.3.2) развиваются в результате сосредоточения подземных вод на сравнительно небольшой площади и образования обильных выделений сегрегационного, инъекционного или смешанного типов льда в виде линз, прослоев и штоков мощностью до 5-10 м. Встречаются они в межгорных впадинах и долинах при наличии межмерзлотных водоносных горизонтов с устойчивым дебитом, переходящим при промерзании в напорное состояние. Они имеют куполообразную форму высотой от 3 до 15 м, в поперечнике от 20 до 150 м. Поверхность бугра разбита системой трещин шириной 0,5-1 м, свидетельствующих о напряжениях, возникающих в процессе формирования гидролакколитов. Зачастую этот процесс сопровождается взрывами, слышными за несколько километров, выбросами кусков породы на расстояние 40-50 м и образованием глубоких воронок, из которых в течение 2-3 часов бьет фонтан напорных вод.



Рис. 3.2. Гидролакколит в окрестностях Читы
(фото из архива ТрансИГЭМ, апрель 1996)

Наледи в Забайкалье имеют широкое развитие. Здесь формируются практически все генетические типы наледей. Наиболее часто встречаются наледи речных вод (рис. 3.8). Большие ледяные поля наблюдаются, как правило, ниже незамерзающих полыней, плотин, мостов и дорог, пересекающих русла рек, вблизи устьев притоков и на крутых поворотах долин. Наледи этого типа формируются практически на всех малых и средних реках Забайкалья. Развиваются они в основном в январе – феврале (в горных районах в декабре), стадии зрелости достигают в марте. В мае начинают таять и к концу лета исчезают. По размерам они преимущественно небольшие (100-1000 м²), мощность льда – 0,5-1, редко до 3 м.

Наледи подземных вод встречаются на участках выклинивания рыхлых водоносных пород, в зоне водовыводящих таликов, на участках разгрузки подземных вод (рис. 3.3), в ручьях, на реках и озерах (рис. 3.4).



Рис. 3.3. Выход наледи трещинно-жильных вод на 66 км автодороги «Амур»
(фото из архива ТрансИГЭМ, 1 апреля 2011)

Обычно размеры их незначительны, но иногда достигают 1-1,5 км². В долинах рек Ингоды и Шилки наледи представляют собой небольшие (до 25-30 м²) ледяные бугры на пойме, с мощностью льда до 3 м. Наледи всех типов имеют сезонный характер, в июне-июле все они полностью стаивают.



Рис. 3.4. Наледный бугор пучения на 465 км автодороги «Амур»
(фото из архива ТранСИГЭМ, 1 апреля 2011)

Морозное выветривание горных пород с их разрушением, образованием и накоплением грубообломочных или дисперсных отложений (3.5), играет большую роль в формировании многих криогенных процессов.



Рис. 3.5. Состояние левого, южной экспозиции, откоса выемки 390 км автодороги «Амур» на 8 августа 2003 г., через 4 месяца после вскрытия
(фото из архива ТранСИГЭМ)

На эрозионных террасах с полным разрезом зоны выветривания, четко отбиваемые горизонты выветривания хорошо согласуются с глубиной сезонного промерзания и оттаивания, а также с глубиной проникновения годовых температурных колебаний [12] – подошва глинисто-щебнистого горизонта соответствует глубине сезонного оттаивания, щебнисто-глыбового горизонта – мощности перелетков, горизонта узких трещин выветривания – глубине распространения годовых температурных колебаний. Это позволяет

прогнозировать интенсивность выветривания в вскрываемых котлованах и выемках с учетом примерных скоростей выветривания пород в различных ландшафтно-климатических условиях: базальты и диабазы – 0,1-0,2; граниты мелкозернистые – 0,1-0,2; граниты средне- и крупнозернистые – 0,2-0,4; гнейсы – 0,5-1,3 см в год.

Морозное трещинообразование пород также относится к числу наиболее распространенных криогенных процессов. В покровных супесчано-суглинистых отложениях склонов, днищ долин и впадин криогенные трещины приводят к образованию грунтовых жил глубиной 0,5-1,5 м, а в наледных поймах трещины фиксируются современными растущими эпигенетическими ледяными жилами (рис. 3.6).



Рис. 3.6. Полигонально-жильные структуры, формирующиеся на основе морозобойного трещинообразования (фото из архива ТранСИГЭМ, 31 мая 2012 г.)

Широко распространены морозобойные трещины в бассейне р. Шилки. На пологонаклонных поверхностях склонов и надпойменных террас отмечается сеть трещин, образующих многоугольники с длиной сторон от 0,4 до 5 м. На пониженных участках террас встречаются пятна-медальоны площадью от 40 до 79 см². Сложены они суглинками и приурочены чаще всего к местам с повышенной глубиной летнего оттаивания.

Термокарст встречается на террасах и в речных долинах (рис. 3.7), реже – на низких аккумулятивных междуречьях и в прибортовых частях

котловин. Проявляется в виде провальных озер и воронок в крупных речных долинах и озерных котловинах, выполненных достаточно мощными толщами четвертичных отложений. Размеры воронок и озер достигают нескольких десятков метров при глубине от 1 до 2,5 м. Часто проявление термокарста приурочено к пылеватым разностям песков и суглинистым грунтам.



Рис. 3.7. Термокарстовое озеро на 6277 км Забайкальской ж.д, возникшее по водоотводной канаве (фото из архива ТрансИГЭМ)

Термокарстовые просадочные блюдца и западины отмечены в районе Читы на террасах рек Читинка и Ингода. В поперечнике блюдца достигают 30 м, обычно заполнены водой. В ряде случаев термокарст связан с разрушением сезонных бугров пучения. При этом образуются просадочные воронки. Размеры их определяются величиной и степенью деградации бугров пучения и могут достигать в диаметре 100 м, а глубину иметь от 0,3 до 4 м.

Солифлюкция широко проявляется в горных районах. Основные ее формы – натечные террасы на склонах крутизной 3-25°. Высота их уступов 1-2 м, а ширина до 5-30 м. Толщина слоя развития солифлюкции – 0,5-1,9 м.

Курумообразованию в гольцовой зоне способствуют высокая обнаженность коренных пород и раздробленность их тектоническими и морозобойными трещинами. Курумы развиваются как на пологих (3-5°), так и на крутых (25-30°) склонах (рис. 3.8). При этом курумы смещаются вниз по склону со скоростью до 0,5-4,5 см/год. На пологих участках курумы долго

могут оставаться неподвижными, однако, при землетрясениях и затяжных дождях происходят резкие подвижки, приводящие к смещению больших объемов каменных масс, то же возможно при подрезке курумных склонов.



Рис. 3.8. Речная наледь и курум в долине р. Хани
(фото из архива ТрансИГЭМ, 1 июня 2012 г.)

На Забайкальской части автодороги «Амур» имеют распространение все перечисленные выше мерзлотно-геологические процессы. Типичным на участках Восточно-Забайкальского региона (км км 112-115) является морозное пучение пород; на участках Пришилкинского горно-долинного региона (км км 348-350 и 389-392) распространены морозное пучение, наледообразование, солифлюкция; на участках Даурского сводового поднятия (км км 757-760) наиболее характерным является морозное выветривание и осыпи.

На склоновые процессы большое влияние оказывают землетрясения. Сейсмичность в Забайкальском крае составляет 7 баллов. На участках многолетнемерзлых пород бальность землетрясений повышается и 6-бальные землетрясения могут вызвать деформации, соответствующие 7 и 8 баллам.

3.2. Возможные изменения геокриологических условий трассы

Анализ общих закономерностей формирования и пространственной изменчивости мерзлотных условий на Забайкальской части трассы автодороги «Амур», изучение опыта освоения аналогичных территорий показывают, что как в естественной обстановке, так и под влиянием техногенных факторов могут происходить существенные, иногда коренные изменения инженерно-геокриологических условий в короткие отрезки времени, выражающиеся в активизации геокриологических процессов и явлений и их новообразовании.

Этому способствуют высокие значения отрицательной среднегодовой температуры и небольшие мощности многолетнемерзлых пород территории, пересекаемой дорогой, а также близкая к 0°C положительная среднегодовая температура грунтов на участках их сезонного промерзания.

Как уже отмечалось, в пределах Восточно-Забайкальской депрессии среднегодовая температура пород на трассе изменяется преимущественно от 0 до $-1,3^{\circ}$ и только на склонах северной и северо-восточной экспозиций может быть ниже $-3,0^{\circ}$, а мощность многолетнемерзлых толщ составляет первые десятки метров.

В Пришилкинской горно-долинной стране и Даурском сводовом поднятии среднегодовая температура и мощность многолетнемерзлых пород изменяются в тех же пределах.

На протяжении всей трассы в Забайкальском крае многолетнемерзлые породы распространены практически повсеместно (см. приложение 1).

Близкая к 0° среднегодовая температура многолетнемерзлых грунтов свидетельствует о неустойчивости мерзлотной обстановки, формирующейся под влиянием климатических, ландшафтно-геоморфологических, геологических и гидрогеологических условий, которые могут изменяться в естественной обстановке и в особенности при техногенных воздействиях.

Влияние отдельных компонентов природной среды на температурный режим многолетнемерзлых пород оценивается нами в соответствии с закономерностями, приведенными в [12].

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

Снежный покров на равнинах может повышать среднегодовую температуру пород (t_{cp}) на $2-3^{\circ}$ ($\Delta t_{сн}$) и на столько же сокращать $A_{п}$; в логах и долинах за счет снега t_{cp} может повышаться, а амплитуда $A_{п}$ сокращаться на $3-4,5^{\circ}$. На склонах низкогорий снежный покров может повышать среднегодовую температуру пород на $2-5^{\circ}\text{C}$ и соответственно уменьшать амплитуду годовых колебаний.

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

Два фактора приводят к понижению значений t_{cp} – это **растительный покров** и теплопроводность мерзлых пород, превышающая теплопроводность талых, при сезонных изменениях их теплового состояния. Лесной покров способствует понижению среднегодовой температуры поверхности почвы (из-за уменьшения поступающей солнечной радиации) на $0,6-1,4^{\circ}\text{C}$, мохово-кустарниковый покров (в качестве термического сопротивления) на $0,1-0,7^{\circ}\text{C}$, сфагновые мхи до 2°C . Уменьшение амплитуды годовых колебаний температуры соответствует этим значениям.

Понижение среднегодовой температуры пород на подошве слоя сезонного оттаивания или сезонного промерзания за счет изменения

теплопроводности пород (соответственно их тепловому состоянию), так называемая **температурная сдвигка**, составляет $0,5-0,6^{\circ}\text{C}$ в крупнообломочных образованиях, $0,8-1,5^{\circ}\text{C}$ в глинистых отложениях и $1,5-2,5^{\circ}\text{C}$ в торфах.

Суммарно эти природные факторы обуславливают существование многолетнемерзлых или немерзлых (в т.ч. талых) горных пород.

Так, при среднегодовой температуре воздуха в Чите ($t_{\text{в}}$), равной $-2,9^{\circ}\text{C}$, на склонах южной экспозиции с разнородным лесом и крупнообломочным составом покровных образований $t_{\text{ср}}$ должна быть близка к:

$$t_{\text{ср}} = t_{\text{в}} + \Delta t_R + \Delta t_{\text{сн}} - \Delta t_{\text{раст}} - \Delta t_{\lambda} = -2,9 + 2 + 2 - 1 - 0,5 = -0,4,$$

что соответствует натурным наблюдениями.

Из этого примера следует, что 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, что может вызвать развитие неблагоприятных процессов: термокарст, термоэрозию или пучение и морозобойное растрескивание грунтов.

Особую роль в динамике мерзлотных условий играет климат, отличающийся большой временной изменчивостью, что следует из материала, подробно изложенного в Главе 2 п. 2.1.

На протяжении всего XX века потепления климата наблюдались неоднократно и всегда сменялись похолоданиями.

Так, в пределах изучаемого района в период с 1910 по 1969 гг. отмечались четыре холодных пятилетки, которые сменялись теплыми пятилетками. Очевидно, можно предполагать, что наблюдаемое в последнее время потепление климата в будущем может смениться похолоданием и наоборот.

Поэтому прогнозную оценку развития техногенных мерзлотно-геологических процессов на трассе автодороги необходимо делать с учетом разных тенденций изменения климата.

Приводимый далее прогноз развития мерзлотно-геологических процессов на Забайкальской части автодороги «Амур» сделан с учетом следующих предпосылок:

- 1) на трассе удаляется растительный и дерново-почвенный покровы,
- 2) уменьшается высота снежного покрова (вплоть до полного удаления),
- 3) дорога асфальтируется,
- 4) в полосе трассы возможно подтопление (заболачивание) участков, прилегающих непосредственно к земляному полотну дороги.

Все эти изменения рассматриваются на фоне потепления климата.

Оценка возможных изменений мерзлотных условий трассы автодороги «Амур» в пределах Забайкальского края проведена на примере 5 участков: км км 112-115, 348-350, 389-392, 536-539 и 757-760.

На участке **км км 112-115** (см. приложение 3), **в пределах Восточно-Забайкальской депрессии**, в связи с неизбежными при строительстве автодороги изменениями ландшафтных компонентов под полотном дороги возможно многолетнее оттаивание мерзлых пород, начальная среднегодовая температура которых составляет от $-1,0$ до $-1,3^{\circ}\text{C}$.

В полосе отвода многолетнемерзлое состояние пород может сохраниться, но в любом случае произойдет повышение их среднегодовой температуры и значительно увеличится глубина сезонного оттаивания.

Тем не менее, изменения конфигурации и глубины залегания кровли многолетнемерзлых пород на большей части участка не должны привести к опасным проявлениям мерзлотно-геологических процессов и явлений, благодаря рельефу (полого-выпуклый профиль трассы обеспечивает удовлетворительный дренаж поверхности) и отсутствию льдистых мерзлых пород в разрезе рыхлых образований. Только в нижних частях склонов,

вблизи км 112 и км 115 км возможны небольшие просадки земной поверхности (до ~10 см) при многолетнем оттаивании пород под полотном дороги на глубину более 4-6 м, так как в интервале глубин 2,4-4,3 м на 112 км и 4-6 м на 115 км встречены соответственно щебнистый слабооторфованный суглинок и дресвяный грунт с суглинистым (льдистым?) заполнителем.

В целом можно считать, что на подобных участках трассы инженерно-геокриологические условия при эксплуатации дороги будут относительно благоприятными.

Следующий участок трассы, пересекающий **Пришилкинскую геоморфологическую область, км км 348 – 350** (см. приложение 5), отличается сложными мерзлотными условиями. Здесь только в долинах руч. Малый Жирекен и р. Алеур многолетнемерзлые породы отсутствуют, на всех остальных элементах рельефа они распространены повсеместно, их среднегодовая температура изменяется от $-0,1$ до $-3,7$ °С. Сложность условий обусловлена наличием в разрезе долинных таликов водонасыщенных крупнообломочных пород (под руслами) и дресвяно-суглинистых или щебнисто-суглинистых отложений в текучем состоянии (в нижних частях склонов).

Строительство мостовых переходов и земляного полотна на выходах из долин могут привести к перераспределению и изменению режима стока поверхностных и грунтовых вод, что может сказаться на увеличении наледности долин. Поверхность пологих склонов повсеместно заболочена, поэтому на участках с многолетнемерзлыми породами более интенсивно начнет проявляться морозное пучение пород соответственно увеличению глубины сезонного оттаивания. На таликах в периоды потепления опасность сезонного пучения может уменьшаться. Здесь же на склонах существует опасность образования мелких оползней-сплывов (особенно при подрезке склонов), поскольку в сезонно-талом слое имеются суглинки, приобретающих текучую консистенцию при оттаивании.

На пологих заболоченных склонах восточной и западной экспозиции, пересекаемых трассой, где повсеместно распространены многолетнемерзлые породы со среднегодовой температурой от $-0,1$ до $-3,7^{\circ}$ (склоны западной экспозиции) возрастает опасность увеличения сезонного пучения пород и активизации солифлюкции, вплоть до сплывов пород, особенно в связи с возможным повышением среднегодовой температуры пород и увеличением глубины их сезонного оттаивания. На участках склонов, где среднегодовая температура пород во время изысканий зафиксирована в диапазоне от $-0,1$ до -1° , вероятно образование «несливающейся мерзлоты» (разобшение слоя зимнего промерзания с кровлей многолетнемерзлых пород), либо формирование сквозных таликов. На участках таких таликов при наличии напорных подмерзлотных вод возможно наледеобразование.

При эксплуатации дороги на участке км км 348-350 (и на аналогичных участках) можно ожидать существенные деформации земляного полотна, что требует проведения специальных наблюдений и профилактических защитных мероприятий.

На участке трассы **км км 389-392** (см. приложение б) дорога пересекает пологие и крутые склоны западной, восточной и северной экспозиции. Многолетнемерзлые породы имеют здесь сплошное распространение со среднегодовой температурой от $-0,2$ до $-1,2^{\circ}\text{C}$. Мощность многолетнемерзлых пород на крутых склонах увеличивается до 40 м, на пологих – составляет 8-12 м. На крутых склонах происходят осыпи крупнообломочного материала, выпучиваемого на поверхность из сезонно-талого слоя. При подрезке этих склонов в процессе строительства устойчивость склонов может понизиться, учитывая состав покровных отложений и вероятное увеличение глубины сезонного оттаивания пород. На пологих северных склонах опасность для автодороги могут представлять солифлюксия и мелкие оползни-сплывы, которые локально вероятны там, где в разрезе сезонно-талого слоя присутствуют супесчано-суглинистые разности пород, приобретающие текучую консистенцию при оттаивании. На

заболоченных частях склонов после строительства в полосе трассы сильнее может проявляться сезонное пучение пород в связи с увеличением глубины сезонного оттаивания, формированием «несливающейся» мерзлоты и наличием в разрезе сильновлажных слабооторфованных супесчано-суглинистых отложений. Так же, как и в предыдущем случае, здесь следует рекомендовать проведение специальных наблюдений для своевременного выявления опасных проявлений мерзлотно-геологических процессов. Определенную опасность представляет также развитие посткриогенного выветривания скальных откосов выемок.

В пределах **Восточно-Забайкальской геоморфологической области** на участке дороги **км км 536-539** (см. приложение 7) трасса пересекает склоны северной, северо-восточной и восточной экспозиций. Многолетнемерзлые породы имеют сплошное распространение, их среднегодовая температура изменяется в диапазоне от $-0,1$ до $-3,7^{\circ}\text{C}$. Мощность рыхлых отложений здесь значительная (до 7 м), они представлены преимущественно дресвяными и щебнисто-дресвяными образованиями с супесчано-суглинистым заполнителем с включением глыб каменного материала. На склонах северной и северо-восточной экспозиции в разрезе этих отложений встречены прослои сильнольдистых пород.

На участке во время изысканий наблюдались: солифлюкция, неглубокие термокарстовые просадки, выпучивание на поверхность каменного материала, а также сезонное пучение на заболоченных частях восточного склона в сторону р. Желтуга, где с поверхности залегает торф мощностью до 1 м, подстилаемый дресвяно-супесчаными отложениями практически полностью водонасыщенными. Изменение условий теплообмена на земной поверхности при строительстве дороги (удаление растительного покрова и дернового слоя, снега с полотна дороги и возможное увеличение высоты снега в полосе отвода и др.) с учетом возможного потепления климата могут стать причиной активизации указанных процессов, соответственно увеличению глубины сезонного оттаивания грунтов. В

районе 539 км могут образоваться новые термокарстовые просадки. Активизируется солифлюкция, в случае подрезки склонов она может переходить в сплывы. Более интенсивно, с образованием бугров, будет происходить сезонное пучение пород на заболоченных участках. Все это может ухудшить инженерно-геокриологические условия автодороги, что потребует проведения наблюдений и защитных мероприятий.

На трассе автодороги в пределах **Даурского поднятия**, где на участке **км км 757-760** (см. приложение 8) она пересекает склоны различной экспозиции и долину ручья, многолетнемерзлые породы мощностью 7-15 м имеют сплошное распространение. Рыхлый покров, мощность которого близка к глубине сезонного оттаивания (1,8-2,1 м), представлен преимущественно дресвяно-щебнистыми образованиями с песчаным и супесчано-суглинистым заполнителем с влажностью 14-27%. Только в верхней части склона слева от ручья и в средней и нижней частях склона, обращенного к седловине, мощность рыхлых отложений увеличивается до 3 м в начале и до 4-5 м в конце участка. Здесь отложения, как правило, перекрыты торфом до 0,2 м. Особенности рельефа, состав и мощность рыхлых образований обуславливают на большей части участка хорошую дренированность поверхности и отсутствие опасных проявлений мерзлотно-геологических процессов, из которых следует отметить выпучивание крупнообломочного материала. Исключение составляют: днища ручья, где залегает щебнистый материал мощностью около 3,5 м, водонасыщенный в пределах сезонно-талого слоя, и части склонов, где в дресвяно-щебнистых отложениях супесчаный заполнитель имеет текучую консистенцию. В первом случае вероятны наледи, во втором – сезонное пучение и солифлюкция, которая локально может переходить в сплывы в период затяжных дождей. Эти процессы могут активизироваться при увеличении глубины сезонного оттаивания грунтов под влиянием техногенных нарушений ландшафтов и потепления климата.

Из-за континентальности климата Забайкалья полотно дороги зимой может подвергаться морозобойному растрескиванию (рис. 3.9).



Рис. 3.9. Морозобойные трещины асфальтового покрытия автодороги «Амур»
(фото из архива ТранСИГЭМ, 1 апреля 2011 г.)

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

Таким образом, выполненный анализ возможных изменений геокриологических условий Забайкальской части трассы автодороги «Амур», показывает, что в период эксплуатации дороги возможна активизация криогенных и инженерно-геокриологических процессов и явлений как в периоды потеплений климата, так и его похолодания. Это требует постоянного инженерно-геокриологического обеспечения эксплуатации федеральной автодороги «Амур», по крайней мере, её Забайкальской части.

ГЛАВА 4. ДЕФОРМАЦИИ ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ЧАСТИ АВТОДОРОГИ «АМУР» НА УЧАСТКАХ ЛЬДИСТЫХ МНОГОЛЕТНЕЙМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ И АКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ

4.1. Деформации Забайкальской части автодороги «Амур» на участках льдистых многолетнемерзлых грунтов и анализ практики их устранения

Федеральная автодорога «Амур» Чита – Хабаровск, завершённая строительством в сентябре 2010 г. и имеющая для России важнейшее стратегическое значение [25], испытывает разрушающее воздействие инженерно-геокриологических процессов и явлений (рис. 4.1, 4.2).

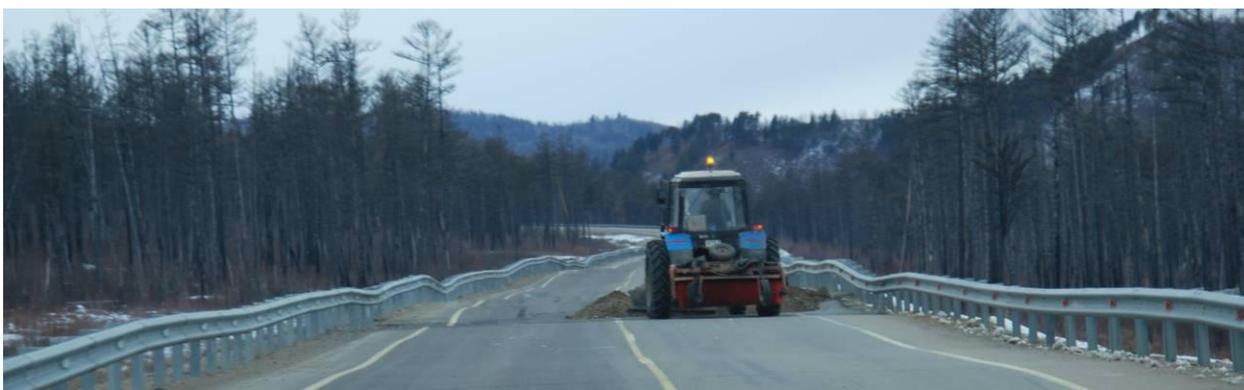


Рис. 4.1. Состояние автодороги «Амур» на одном из участков деградации многолетней мерзлоты в её основании, Забайкальская часть дороги, (фото из архива ТранСИГЭМ, 19 октября 2014 г.)



Рис. 4.2. Деформированная труба на 526 км автодороги «Амур», 25.12.2012 г. (фото из архива ТранСИГЭМ, 25 декабря 2012 г.)

Об опасности их и необходимости своевременной защиты автодороги в период её проектирования и сооружения говорилось и писалось неоднократно [33, 34]. К сожалению, эти предложения [33, 43-46] игнорировались под предлогом дефицита времени и денег.

Теперь деньги у Росавтодора появились, много денег³, а дорога становится все хуже и хуже⁴. При этом руководители Росавтодора весьма поверхностно воспринимают проблему разрушительного воздействия мерзлотных процессов на дорогу и наивно полагают, что американцы нам помогут⁵.

При строительстве и первых лет эксплуатации дороги произошли кардинальные изменения мерзлотной обстановки и активизировались неблагоприятные инженерно-геокриологические процессы и явления, 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 реконструкции⁶. Иными словами, проектная скорость движения автомобилей 100 км/час почти на трети протяжённости только что построенной дороги «Амур» была не обеспечена. Не зря В.В. Путин назвал её «хорошей просёлочной дорогой», проехав в августе 2010 г. от Хабаровска до Читы. Через 3 года, дорога стала хуже⁷. Стремительно увеличилось

³ 288,95 млрд. руб. в 2011 г., 335 млрд. руб. в 2012 г. и 408 млрд. руб. в 2013 г. При этом затраты на содержание и ремонт дорог растут быстрее, чем в целом бюджет Росавтодора. Например, по плану 2013 г. они в 1,48 раз больше, чем в 2012 г.

⁴ Вот, один из отзывов о дороге на сайте г. Читы за 14.11.2012 г.: «Если в позапрошлом году можно было ездить спокойно, в прошлом уже с опаской, то в этом знак "титыки" на каждом километре и "Амурские волны" становятся все больше и чаще. Года через два там можно будет ездить только на внедорожниках».

⁵ См. на сайте Росавтодора отчет о пресс-конференции руководителя Федерального дорожного агентства Романа Старовойта 23.07.2013 г. в [Пресс-центре РБК](#).

⁶ Из интервью директора ФГУ ДСД «Дальний Восток» Швецова В.А., опубликованного 10.02.2010 г. на сайте Росавтодора

⁷ Отзыв руководителя Новосибирского отделения Федерации автовладельцев России Владимира Кириллова после пробега Новосибирск – Магадан за 18.06.2013 г.: ««Трасса, по которой ехал Владимир Путин на своей жёлтой «Ладе-Калине», разваливается, её нет практически. За Читой – провалы в дороге, и практически на каждом километре стоят по одному-два знака ограничения скорости до 50 км в час. Видно, что машины просто ударяются днищем и вываливаются с трассы. Ехать там на большей скорости невозможно» (ИА «Сибград», 18.06.2013 г.).

количество мест с просадками земляного полотна, обусловленными оттаиванием (деградацией) многолетнемерзлых грунтов в основании дороги.

По данным ФКУ «Упрдор «Забайкалье» (табл. 4.1) на Забайкальской части автодороги «Амур» в 2011 г. отмечалось 68 мест с просадками земляного полотна, 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 отмечается 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.

Таблица 4.1. Развитие просадок земляного полотна и затраты на их устранение на Забайкальском участке автодороги «Амур» Чита-Хабаровск, км 0 – км 794 (741+588) в 2011-2013 гг. (по данным ФКУ «Упрдор «Забайкалье»)

Год	2011	2012	2013, июль
Количество зафиксированных просадок, шт.	68	327	330
Общая площадь просадок, м ²	-	103159	103960
Площадь устраненных просадок, м ²	Просадки устранялись	40874	12356,6
Затраты на устранения просадок, тыс. руб.	по гарантиям строителей	34265	11738,8
Затраты на устранения 1 м ² просадок, руб.	-	838	950

Примечания:

1. Кроме того выполняются работы по восстановлению ровности покрытия в рамках текущего содержания дороги.
2. По состоянию на июль 2013 г. было выявлено 330 просадок, устранено 111, осталось 119. На устранение просадок дополнительно на 2013 г. затребовано 51610,6 тыс. руб.

Аналогичная ситуация и на Амурской части дороги «Амур». По данным ФКУ ДСД «Дальний Восток» (Табл. 4.2) за период с 2010 по июнь 2013 г. пришлось отремонтировать 178,025 км, а затраты составили 4302937,06 тыс. руб.

Таблица 4.2. Ремонты автодороги «Амур» Чита-Хабаровск на Амурском участке, км 794 (741+588) – км 1811 (1752+205) в 2010-13 гг. (по данным ФКУ ДСД «Дальний Восток»)

Год	Отремонтировано, км		Стоимость ремонтов, тыс. руб.			
	всего		общая			
	капремонтом	ремонтом	капремонта		Ремонта	
			всего	1 км	Всего	1 км
2010	12,406		131643,433			
	7,806	4,600	113811,430	14579,993	17831,003	3876,6522
2011	27,715		694023,990			
	23,015	4,7	645194,780	28033,664	48829,210	10389,194
2012	51,301		952416,790			
	10,301	41	330933,640	32126,845	621478,150	15158,004
2013	86,603		2524852,847			
	75,823	10,780	2388805,987	31505,031	136046,680	12620,302
Всего	178,025		4302937,060			
2010-13	116,945	61,080	3478750,837	297466,891	824186,223	13493,553

Надежды Росавтодора на гарантийные обязательства строителей, выданные на 3 года, рухнули – стало очевидно, что просадки земляного полотна — это не мелкие недоделки строителей, а системные просчеты Росавтодора и проектировщиков дороги: трасса автодороги «Амур» проходит по территории с вечной мерзлотой и глубоким сезонным промерзанием грунтов, а необходимого геокриологического обоснования изысканий, проектирования и строительства автодороги не было. Отсутствие надлежащей геокриологической информации часто приводило либо к недооценке опасности возможных инженерно-геокриологических процессов и явлений и применению ненадежных технических решений и конструкций элементов дороги, либо, наоборот, к переоценке такой опасности и применению излишне дорогостоящих, длительных по исполнению технических решений и конструкций [33, 35].

Сейчас Росавтодор пытается остановить разрушение автодороги «Амур» криогенными процессами и явлениями: в спешном порядке проводятся изыскания и разработка стабилизационных мероприятий, ведутся разговоры об организации опытных стационаров, привлечении американцев, проводятся заседания техсоветов Росавтодора и отдельных секций ...

Так, в июле 2013 г. в Росавтодоре состоялось заседание научно-технического совета, где ФКУ «Упрдор «Забайкалье», ФКУ ДСД «Дальний Восток», ОАО «Иркутскгипродорнии», ООО «СметаПлюс» докладывали по проблеме стабилизации деформирующихся участков автодороги «Амур». Заседание готовилось 5 месяцев, на него возлагались большие надежды, были приглашены 2 американца, работало телевидение ...

Что же предложил Иркутскгипродорнии по рекомендациям ООО «Сибиндор» и Института мерзлотоведения СО РАН? Арсенал технических решений невелик (табл. 4.3).

Таблица 4.3. Мероприятия по стабилизации земляного полотна автодороги «Амур», предложенные ОАО «Иркутскгипродорнии» по рекомендациям ООО «Сибиндор» и Института мерзлотоведения СО РАН (1-6) и ООО «ТрансИГЭМ» (7)

Тип	Мероприятие	Дефекты земляного полотна и покрытия	Условия применения
1	Приоткосные бермы из суглинистого грунта с каменным заполнителем	Просадки обочин и откосов, продольные трещины на покрытии и обочине	Льдонасыщенные грунты в основании насыпи. Верхний горизонт многолетней мерзлоты (ВГММ) вошел в насыпь. Поверхностный водоотвод обеспечен.
2	Приоткосные бермы из суглинистого грунта с каменным заполнителем, водоотводный лоток из геомембраны	Просадки, продольные и поперечные трещины, сетка трещин	Льдонасыщенные грунты в основании насыпи. ВГММ понизился под насыпью. Замена и осадка грунтов при строительстве.
3	Приоткосные бермы и водоотводные валики из суглинистого грунта с каменным заполнителем	Те же	Насыпи на косогоре, фильтрация воды в откос насыпи.
4	Укрепление грунтов основания криогелем	Просадки, волны, продольные и поперечные трещины на покрытии	Переувлажненные, сильнольдистые, недренирующие грунты. Наличие водотока.
5	Укрепление грунтов основания сухобетонной смесью	Те же	Переувлажненные, сильнольдистые, недренирующие грунты. Наличие водотока.
6	Сезонноохлаждающие устройства (СОУ)	Те же	Лед или сильнольдистые грунты в основании насыпи
7	Солнцеосадкозащитные навесы	Те же	Переувлажненные и сильнольдистые просадочные грунты.

Приоткосные бермы из суглинистого грунта с каменным заполнителем (тип 1) рекомендуется применять на участках с льдонасыщенными грунтами в основании насыпи при условии, что верхний горизонт многолетней мерзлоты (ВГММ) вошел в насыпь и поверхностный водоотвод обеспечен. Зачем приоткосные бермы при этом условии, если поверхностные воды не попадают под насыпь? Причина деформаций земляного полотна здесь – деградация мерзлоты в его основании при повышенном поглощении солнечной радиации черным асфальтом и при отепляющем влиянии снега на откосах насыпи.

Приоткосные бермы из суглинистого грунта с каменным заполнителем, водоотводный лоток из геомембраны (тип 2) рекомендуется применять на участках с льдонасыщенными грунтами в основании насыпи при условии, что ВГММ понизился под насыпью и производилась замена и осадка грунтов при строительстве. Зачем приоткосные бермы при водоотводном лотке? Причина деформаций земляного полотна здесь – деградация мерзлоты в его основании при повышенном поглощении солнечной радиации черным асфальтом и при отепляющем влиянии снега на откосах насыпи.

Приоткосные бермы и водоотводные валики из суглинистого грунта с каменным заполнителем (тип 3) рекомендуется применять на участках насыпи на косогоре и фильтрации воды в откос насыпи. Зачем бермы из суглинка при водоотводном валике? Причина деформаций земляного полотна здесь – деградация мерзлоты в его основании при повышенном поглощении солнечной радиации черным асфальтом и при отепляющем влиянии снега на откосах насыпи.

Укрепление грунтов основания криогелем (тип 4) или сухобетонной смесью (тип 5) не может прекратить деградацию многолетней мерзлоты 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.

Применение одиночных **сезонно охлаждающих устройств (СОУ)** (тип б), устанавливаемых через 3 м вдоль дороги, не может прекратить деградацию многолетней мерзлоты в её основании вследствие их локального влияния – деформации будут продолжаться. Об этом свидетельствует опыт их применения на Тибете и на БАМе [35, 36].

Таким образом, мероприятия типов 1-6 бесполезны, а первые 3 – к тому же вредны, поскольку приоткосные бермы окажут противоположное ожидаемому действие – увеличат чашу оттаивания многолетнемерзлых грунтов и вызовут дополнительные длительные просадки дороги. Это подтверждено 40-летним опытом БАМ [36, 39], где также пытались бороться с просадками земляного полотна с помощью берм. Дополнение берм водоотводными лотками или валиками не спасет ситуацию.

Тем не менее, предлагается применить эти мероприятия для стабилизации 72,66 км земляного полотна, посчитана стоимость мероприятий – 2 943 836 490 руб. Стоимость ремонта 1 м дороги в среднем – 40515 руб. Стабилизации же земляного полотна не произойдет по изложенным выше причинам.

Только **солнцеосадкозащитные навесы** (тип 7), рекомендованные НПП «ТрансИГЭМ», могут быть полезны, поскольку позволяют устранить три основные причины деградации многолетней мерзлоты в основании земляного полотна и его просадки: солнечную радиацию, летние осадки и снежный покров. Они доказали свою эффективность на Аляске [104], Тибете (рис. 4.12 и 4.13) [35, 100, 101], на БАМе [39] и в Якутии [38]. Их эффективность обусловлена предотвращением поступления прямой солнечной радиации и теплых летних осадков на поверхность защищаемого массива грунта и усилением теплоотдачи из него зимой, поскольку под навесом не формируется снежный покров [47]. Стоимость же навеса, как

показал опыт БАМ [39], в 20-25 раз меньше стоимости берм из скального грунта.

В арсенале ТрансИГЭМ имеются и другие эффективные решения по стабилизации земляного полотна на льдистых многолетнемерзлых грунтах (см. 4.3).

4.2. Теплофизические основы управления температурным режимом грунтов основания автодороги

Стабильность массива грунтов основания автодороги в криолитозоне зависит главным образом от знакопеременных изменений температурного режима грунтов в слое годовых его колебаний, в особенности в его верхней части – в слое сезонного оттаивания или промерзания грунтов, где они вызывают развитие сезонных и многолетних осадок и пучения грунтов. Знание закономерностей формирования температурного режима грунтов в слое годовых его колебаний позволяет управлять им и соответственно воздействовать в нужном направлении на процессы пучения или осадки грунтов при их промерзании или оттаивании.

Основные закономерности формирования температурного режима горных пород в слое годовых колебаний температуры

Температурный режим верхних горизонтов земной коры, в частности, в слое годовых его колебаний (рис. 4.3), определяется структурой радиационно-теплового баланса поверхности, тепловым влиянием наземных покровов (снег, растительность, вода), теплотокотом из недр земли, а также процессами тепломассопереноса в массиве горных пород [20, 22].

Основными параметрами, характеризующими температурный режим горных пород в слое годовых его колебаний, являются среднегодовая температура (t) и амплитуда годовых колебаний температур (A) на следующих 4 уровнях:

- 1) на поверхности земли, т.е. на поверхности покровов на границе с атмосферой (t_0 и A_0);
- 2) на поверхности почвы под снежным, растительным или водным покровами (t_{nn} и A_{nn});
- 3) на подошве слоя сезонного промерзания (оттаивания) пород (t_ξ и A_ξ);
- 4) на подошве слоя годовых колебаний температур (t_{cp}).

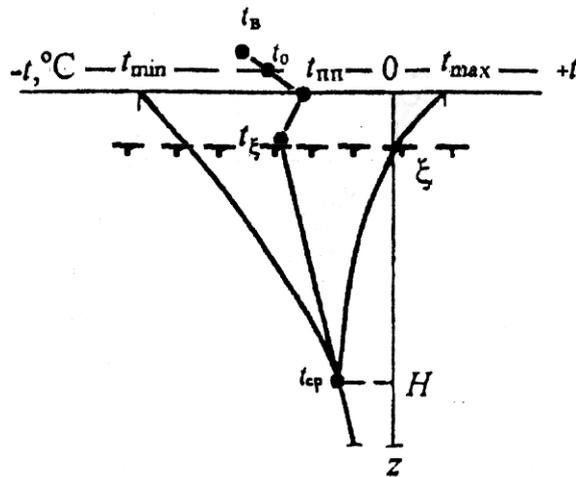


Рис. 4.3. Параметры температурного режима грунтов в слое годовых колебаний [22]:
 $t_в$, t_0 , t_{nn} , t_ξ , t_{cp} – среднегодовые температуры: воздуха, на поверхности покровов, на поверхности почвы, на подошве слоя сезонного оттаивания грунтов мощностью ξ , на подошве слоя годовых колебаний температуры мощностью H ; t_{min} и t_{max} – распределение минимальных и максимальных температур в слое годовых колебаний температуры

На каждом из этих уровней различны набор и относительная роль факторов природной среды в формировании температуры горных пород. Так, на поверхности земли доминирующую роль играет климат района, а на подошве слоя годовых колебаний температуры к влиянию климата добавляется существенное влияние геолого-гидрогеологических факторов.

Температурный режим земной поверхности на границе с атмосферой определяется, в основном, климатическими факторами (составляющими радиационного баланса, температурным режимом и влажностью воздуха, облачностью, летними и зимними осадками) и характером поверхности (рельефом, крутизной и экспозицией склонов, значением альбедо, величиной проходящих через поверхность теплооборотов и т.п.). Его отличает наибольшая динамичность в естественной обстановке и при техногенных воздействиях. От температуры воздуха ($t_в$), измеряемой на метеостанциях

обычно на высоте 2 м, температура земной поверхности (t_0) отличается на величину радиационной поправки (Δt_R), т.е.:

$$t_0 = t_e + \Delta t_R$$

Температурный режим поверхности почвы под растительным, снежным и водным покровами также существенно зависит от климатических факторов и особенностей поверхности, указанных выше. Однако решающее значение здесь имеет теплоизоляционное влияние покровов, которое сокращает амплитуду температурных колебаний и смещает ось этих колебаний. В связи с большой изменчивостью климатических условий и характеристик покровов имеет место высокая динамичность среднегодовой температуры (t_{nn}) и амплитуды годовых колебаний (A_{nn}) температуры поверхности почвы как во времени, так и в пространстве. Расчет температурного режима на поверхности почвы обычно сводится к введению поправок к среднегодовой температуре (t_0) и амплитуде годовых колебаний температуры земной поверхности (A_0) за счет влияния снега ($\Delta t_{сн}$, $\Delta A_{сн}$), растительности (Δt_p , ΔA_p) и водного покрова ($\Delta t_{вод}$, $\Delta A_{вод}$):

$$t_{nn} = t_0 + \Delta t_{сн} +/- \Delta t_p + \Delta t_{вод},$$

$$A_{nn} = A_0 - \Delta A_{сн} - \Delta A_p - \Delta A_{вод}$$

Температурный режим на подошве слоя сезонного промерзания (оттаивания) грунтов (ξ) отличается от такового на его поверхности вследствие тепломассопереноса в этом слое при инфильтрации атмосферных осадков и циркуляции грунтовых или надмерзлотных вод, а также температурной сдвижки, возникающей при знакопеременных периодических изменениях температуры грунта и разности его теплофизических характеристик в талом и мерзлом состояниях.

Таким образом, t_ξ и A_ξ формируются под влиянием комплекса географических и геологических факторов, среди которых основными являются литологические особенности и влажность горных пород. С учетом

влияния инфильтрации летних осадков (Δt_{oc}) и температурной сдвижки (Δt_{λ}) среднегодовая температура пород на глубине ξ может быть представлена как

$$t_{\xi} = t_{nn} + /- \Delta t_{\lambda} + \Delta t_{oc}.$$

Изменчивость t_{ξ} во времени и в пространстве достаточно высокая, но все же меньше, чем изменчивость t_0 и t_{nn} .

Температурный режим грунтов на подошве слоя годовых колебаний температуры (H) характеризуется только одним параметром – значением температуры (t_{cp}), т.к. амплитуда колебаний температуры на глубине H по определению не превышает $0,1^{\circ}$. Отличие t_{cp} от t_{ξ} обусловлено геотермическим градиентом (g) в слое H , связь между ними выражается:

$$t_{cp} = t_{\xi} + g (H - \xi)$$

Температурный режим грунтов на подошве слоя годовых колебаний является наиболее устойчивым. После изменения условий теплообмена на поверхности вследствие естественных изменений природных факторов или в результате техногенного воздействия соответствующий температурный режим на глубине H обычно устанавливается только через 10-15 лет.

Основные принципы управления температурным режимом грунтов основания земляного полотна

Принципы управления мерзлотным процессом, в том числе температурой пород, сформулированы Кудрявцевым В.А. и Ершовым Э.Д. [55]. Они же составили классификационную схему приемов по направленному изменению мерзлотных условий [56] и выделили четыре группы приемов управления мерзлотными условиями:

1 группа – мероприятия позволяют направленно изменять процессы тепло- и массообмена на верхней границе мелиорируемого слоя;

2 группа – мероприятия направлены на регулирование процессов тепло- и массообмена в грунте посредством изменения его состава и свойств;

3 группа – мероприятия применяются для изменения температурного режима и теплового состояния пород с помощью дополнительных

источников, а также стоков тепла;

4 группа – мероприятия позволяют изменять процессы тепло- и массообмена на нижней границе мелиорируемого слоя.

Применительно к земляному полотну интерес представляют первые три группы приемов управления мерзлотными условиями, причем наиболее перспективна 1 группа, позволяющая направленно изменять тепло- и массообмен на дневной поверхности [31].

По М.И. Будыко [4], теплообмен на поверхности земли при динамическом равенстве прихода и расхода солнечной радиации описывается уравнением теплового баланса за год:

$$(Q+q)(1-\alpha) = I + LE + P,$$

где Q – прямая, q – рассеянная солнечная радиация;

α – альбедо поверхности;

I – эффективное излучение поверхности земли;

LE – затраты тепла на процессы испарения и конденсации влаги на поверхности земли;

P – турбулентный теплообмен между поверхностью земли и приземным слоем воздуха.

Левая часть уравнения выражает приход коротковолновой радиации к поверхности земли, правая – расход превращенной энергии. При динамическом равенстве прихода и расхода энергии за последовательные годовые периоды среднегодовая температура поверхности пород остается неизменной. При отсутствии динамического равновесия прихода и расхода тепла за теплый и холодный полупериоды года среднегодовая температура поверхности пород изменяется, вследствие чего могут происходить процессы деградации (в случае превышения прихода над расходом тепла) или аградации мерзлоты (в противоположном случае).

В полупериод нагревания поглощенная почвой коротковолновая радиация $(Q+q)(1-\alpha) - LE - P$ больше суммарного эффективного излучения I

на величину B_1 – количества тепла, пришедшего в почву, т.е.:

$$(Q_1 + q_1) (1 - \alpha_1) - LE_1 - P_1 = I_1 + B_1$$

В полупериод охлаждения эффективное излучение преобладает над поглощаемой коротковолновой радиацией на величину B_2 – количества тепла, отданного почвой, т.е.:

$$(Q_2 + q_2) (1 - \alpha_2) - LE_2 - P_2 = I_2 - B_2.$$

Эти зависимости позволяют анализировать эффективность способов управления тепловым режимом пород, основанных на уменьшении (увеличении) прихода тепла (положительного теплооборота B_1) или на увеличении (уменьшении) расхода (отрицательного теплооборота B_2), или на регулировании того и другого совместно. Так, для сохранения грунтов в многолетнемерзлом состоянии необходимо стремиться к уменьшению прихода тепла и увеличению его расхода, а для предотвращения промерзания талых (немерзлых) грунтов следует добиваться увеличения прихода тепла и уменьшения его расхода.

Таким образом, для сохранения многолетнемерзлого состояния массива грунтов надо [36]:

- уменьшать поступление на его поверхность прямой и рассеянной солнечной радиации, например, затенением;
- увеличивать альбедо поверхности, например, окраской в светоотражающий цвет;
- увеличивать эффективное излучение, например, снегоочисткой поверхности охлаждаемого массива грунтов и прилегающей территории;
- увеличивать турбулентный теплообмен и испарение.

Предотвращение инфильтрации летних осадков в массив грунта и фильтрации поверхностных или надмерзлотных вод с нагорной стороны также способствует сохранению многолетнемерзлого состояния массива грунтов.

4.3. Активные методы и технологии управления состоянием грунтов тела и основания земляного полотна дорог в криолитозоне

Проф. Кондратьевым В.Г. с соавторами разработаны способы укрепления основания земляного полотна на сильнольдистых вечномерзлых грунтах, предусматривающие понижение среднегодовой температуры грунтов и сохранение их в многолетнемерзлом состоянии путем регулирования соотношения природных охлаждающих и отепляющих факторов:

- укрепление основания земляного полотна с помощью солнцесадкозащитного навеса – патент на изобретение № 1740555 [47];

- укрепление основания земляного полотна с помощью снегоочистки и окраски – патент на изобретение № 1764371 [48];

- укрепление основания земляного полотна с помощью охлаждающих труб – патент на изобретение № 2010919 [40];

- укрепление основания земляного полотна на участках с поперечным уклоном местности с применением пленочного экрана – патент на изобретение № 1807173 [30];

- укрепление основания земляного полотна на участках с поперечным уклоном местности с помощью специальных устройств для аккумуляции холода – патент на изобретение № 2059752 [50].

Предложен и альтернативный способ: принудительное оттаивание льдистых грунтов с одновременным замещением их непросадочной массой – патент на изобретение № 2074928 [37].

Эти технические решения прошли определенную апробацию путем публикации статей и докладов в отечественных и зарубежных изданиях [31, 99], специальных монографий [36], а также использования в опытно-экспериментальных проектах Амуро-Якутской железнодорожной магистрали и подъездного железнодорожного пути Улак – Эльга, при технико-экономическом обосновании стабилизационных мероприятий для

Забайкальской ж.д., при разработке технических предложений по стабилизации земляного полотна на некоторых участках Восточно-Сибирской ж.д. [36, 39]. Некоторые технические решения, в частности, солнцезащитный навес и вентилируемые трубы, применены в Китае при строительстве Цинхай-Тибетской ж.д. и реконструкции Цинхай-Тибетского шоссе [35, 36, 100, 101].

В 2005 г. ТрансИГЭМ, при участии автора диссертации, на основе перечисленных выше изобретений по заказу РЖД разработал «Технические решения для укрепления основания земляного полотна железнодорожного пути на участках сильнольдистых многолетнемерзлых грунтов, в том числе на участках БАМ» и «Методические рекомендации по опытно-экспериментальному применению новых технических решений для укрепления основания земляного полотна железнодорожного пути на участках сильнольдистых многолетнемерзлых грунтов». Обе разработки рассмотрены и утверждены Департаментом пути и сооружений РЖД для опытно-экспериментального применения.

Снегоочистка и окраска

Способ предотвращения оттаивания массива многолетнемерзлых грунтов с помощью снегоочистки и окраски в соответствии с патентом на изобретение № 1764371 [48] заключается в следующем.

В первой половине зимы (с момента установления устойчивого снежного покрова и до момента инверсии знака теплопотока) производят систематическое удаление снега с защищаемого массива грунтов. Момент инверсии знака теплопотока определяется по данным ближайшей метеостанции, когда среднесуточная температура воздуха становится устойчиво выше аналогичной температуры поверхности почвы. Ширина очищаемой от снега полосы, как правило, должна быть больше удвоенной глубины сезонного оттаивания грунтов, но меньше мощности слоя годовых колебаний температуры грунтов для оголенной поверхности. Снегоочистка может осуществляться

любым способом: механическим, газодинамическим с помощью авиационного двигателя, установленного на транспортном средстве.

Весной после схода снега производят окраску поверхности защищаемого массива грунтов в белый цвет. Окрашенная поверхность должна хорошо отражать солнечную радиацию в весенне-летний период, поэтому при существенном загрязнении (порядка 60%) защищаемой поверхности окраску следует обновлять. Вместо окрашивания возможно также использование щебня естественного белого цвета (рис. 4.4 и 4.5).



Рис. 4.4. Участок Кругобайкальской железной дороги с белым мраморным балластом из Слюдянского месторождения
(фото из архива ТрансИГЭМ, сентябрь 1998 г.)

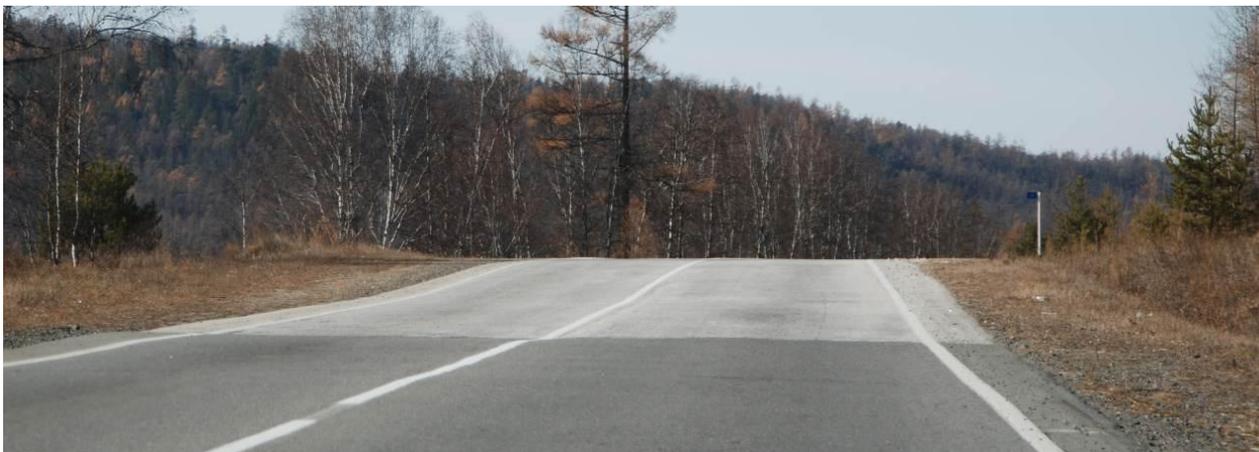


Рис. 4.5. Участок автодороги Култук-Монды с асфальтобетонным покрытием без и с добавкой светлого щебня (мраморной крошки из Слюдянского месторождения),
(фото из архива ТрансИГЭМ, октябрь, 2011 г.)

Положительный эффект достигается тем, что устранение теплоизолирующего влияния снега в первой половине зимы резко усиливает тепловой поток из массива грунтов в атмосферу – происходит их интенсивное охлаждение. Существенное увеличение альбедо поверхности

(α), покрытой новой ($\alpha = 75\%$) или старой ($\alpha = 55\%$) белой краской, по сравнению с естественной поверхностью мари ($\alpha = 25\%$) и в особенности с черным асфальтовым покрытием дороги ($\alpha = 6\%$) уменьшает количество поглощенной солнечной радиации и сокращает летний прогрев массива грунтов. Усиление зимнего охлаждения массива грунтов и уменьшение его летнего прогрева сохраняют его в мерзлом состоянии. Предотвращение деградации мерзлоты в массиве грунта обеспечивает стабильность дороги.

Идея о понижении температуры грунтов освещением поверхности высказывалась неоднократно [28, 96-98, 126]. П.Ф. Швецов [126] относил освещение поверхности для уменьшения инсоляции к мероприятиям, имеющим целью охлаждение грунта с переходом из области положительной температуры в область отрицательной, то есть он полагал, что тем самым можно формировать, а не только сохранять многолетнемерзлую толщу.

Впервые о реальном уменьшении глубины оттаивания грунта летом путем окрашивания поверхности асфальтового покрытия взлетно-посадочной полосы в аэропорту Туле (Гренландия) сообщили Фулвилдер и Айткен [98].

Позднее на Аляске проводились эксперименты по увеличению альbedo дорожного покрытия автомобильных дорог [96, 97], показавшие, что эффект применения окрашенных поверхностей оказывается разным в зависимости от географической широты местности, облачности, скорости ветра и транспорта, абразивного эффекта. Движение автомобилей увеличивает нагревание полотна дорог в летнее время. Кроме того, автомобильные шины, особенно шипованные, стирают краску. Несмотря на это, окрашивание дорог снизило среднюю температуру дорожного покрытия приблизительно на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, а также уменьшило количество осадок поверхности, связанных с долговременным оттаиванием вечной мерзлоты.

Исследования на моделях насыпей [96] показали, что коэффициент поглощения видимого излучения летом для естественного гравия составляет 0,85, а для окрашенного в белый цвет – 0,3. При этом температуры поверхности естественного и окрашенного гравия отличались на $5,5^{\circ}$.

Считается [96], что использование белой и желтой красок на аэродромах Аляски может понизить среднюю температуру поверхности грунта на 1-2 °С. Практическое применение окрашивания, однако, сдерживается тем, что оно противоречит требованиям нанесения на поверхность взлетно-посадочной полосы белых и желтых полос [98].

Способ понижения температуры грунтов тела и основания земляного полотна окрашиванием его поверхности по патенту на изобретение № 1764371 использовался при технико-экономическом обосновании стабилизационных мероприятий для одного из участков Забайкальской ж.д., а также рассматривался в качестве превентивного мероприятия для подъездного железнодорожного пути Улак – Эльга [36, 105].

С 2014 г. этот способ применяется на одной из нефтеперекачивающих станций ВСТО-1, для предотвращения деформаций поверхности песчано-гравийной отсыпки площадки станции и расположенных в ней технологических трубопроводов вследствие деградации многолетнемерзлых грунтов в основании (рис. 4.6): солнечные лучи отражаются белой мраморной крошкой со Слюдянского месторождения, атмосферные осадки по противофильтрационной пленке под мраморной крошкой стекают в дренажные лотки, в первой половине зимы производится снегоочистка [38].



Рис. 4.6. Дренажный лоток для отвода дождевых вод с площадки одной из нефтеперекачивающих станций магистрального нефтепровода ВСТО-1, август 2014 (фото из архива Транснефть-Восток, май 2015)

Солнцесадкозащитный навес

В соответствии с патентом на изобретение № 1740555 [47] способ охлаждения массива грунта с помощью солнцесадкозащитного навеса заключается в следующем. Для предотвращения влияния прямой солнечной радиации и летних осадков, а также резкого снижения теплоизолирующего влияния снежного покрова и соответствующего увеличения расхода тепла зимой над массивом грунта сооружается солнцесадкозащитный навес.

Эффект применения навеса достигается тем, что под ним, при сохранении возможности интенсивного зимнего охлаждения массива грунта, исключаются инфильтрация летних осадков и прямая солнечная радиация, являющиеся обычно основными причинами деградации мерзлоты и осадки оттаявшего грунта на относительно ровных участках местности.

По существу, охлаждающее воздействие навеса на массив грунта аналогично влиянию естественно вентилируемого наружным воздухом подполья зданий и сооружений, основанием которых служат вечномерзлые грунты. Проветриваемое подполье, впервые сооруженное в 1907 г. при строительстве путейского здания на ст. Могзон Забайкальской ж.д., широко используется в мировой практике и является наиболее простым и надёжным способом сохранения грунтов основания в мерзлом состоянии (рис. 4.7).



Рис. 4.7. Службное здание с проветриваемым подпольем на ст. Икабьекан Восточно-Сибирской ж.д. (фото из архива ТрансИГЭМ)

Н.Н. Романовский [74] предлагал использовать навесы для создания

мерзлотных поясов при борьбе с наледями на дорогах и сообщал об экспериментальных навесах и проведении систематических наблюдений в районе проектировавшейся тогда **ж.д. Хребтовая – Усть-Илимск**.

Деревянный навес для защиты от снега и инсоляции низового откоса **земляной плотины на р. Наледной**, в сочетании с воздушной замораживающей системой из 30 колонок и вентилятора среднего давления, был успешно применён в районе Норильска [53]. В результате всего за два зимних сезона был полностью проморожен подрусовой талик глубиной 6,5 м под плотиной высотой 7, длиной 60 и шириной по верху 5 м.

Интересные эксперименты проведены **на Аляске** для разработки экстремальных методов лечения земляного полотна автодороги в районах вечной мерзлоты путем охлаждения откосов [104]. Проверялось 3 метода:

1) сооружение на откосах дороги навеса из дерева и фанеры для затенения грунта в течение лета и предохранения от влияния снега как теплоизоляционного покрова зимой;

2) периодическая (1 раз в месяц) очистка от снега в течение зимы участка бермы размером 6х21 м;

3) установка на откосах насыпи термосифонов с длиной испарителя 10,5 и радиатора 2,4 м.

С навесами было 2 опытных участка: на одном – на южном откосе дороги были размещены 7 навесов, каждый длиной 9,6 м и шириной 3,6 м, закрывавших 25,2 м вдоль и 9,6 м поперёк насыпи; на другом – навес имел размеры 4,2х7,2 м. Навесы были приподняты над землёй на 0,6 м.

Наиболее эффективными оказались навесы. Они, по мнению авторов экспериментов, могут быть достаточными для охлаждения насыпей на 3-5° в течение нескольких лет. Снегоочистка также показала значительную пользу, однако может потребовать больших усилий в годы обильных снегопадов.

В России солнцезащитный навес по патенту на изобретение № 1740555 использован в опытно-экспериментальном проекте земляного полотна строящейся **ж.д. линии Томмот – Якутск**, при технико-

экономическом обосновании стабилизации одного из участков действующей **Забайкальской ж.д.**, а также рассматривался в качестве альтернативного способа стабилизации земляного полотна **подъездного ж.д. пути Улак – Эльга** и **ж.д. линии Томмот – Кердем** [112].

В Китае по предложению проф. Кондратьева В.Г. Северо-Западным филиалом Академии наук Министерства железных дорог Китая (СЗФ АН МЖД КНР) в 2000 г. начаты эксперименты в дорожной выемке с навесами **на Цинхай-Тибетском нагорье** [35, 36], были построены 3 модели навеса для изучения влияния его на температурный режим грунтов основной площадки, юго-восточного (рис. 4.8) и северо-западного (рис. 4.9) откосов выемки.



Рис. 4.8. Навес над основной площадкой и юго-восточным откосом выемки на полигоне СЗФ АН МЖД КНР на склоне г. Фэнхо, Тибет, июль 2000. Фото Чжан Лусина



Рис. 4.9. Навес над северо-западным откосом выемки на экспериментальном полигоне СЗФ АН МЖД КНР на склоне г. Фэнхо, Тибет, июль 2000. Фото Чжан Лусина

Наблюдения с июля 2000 г. по август 2001 г. показали, что средняя за год температура поверхности грунтов под навесом на 8° ниже, чем вне навеса (рис. 4.10); в январе 2001 г. температуры отличались на $6-15^{\circ}$ (рис. 4.11).

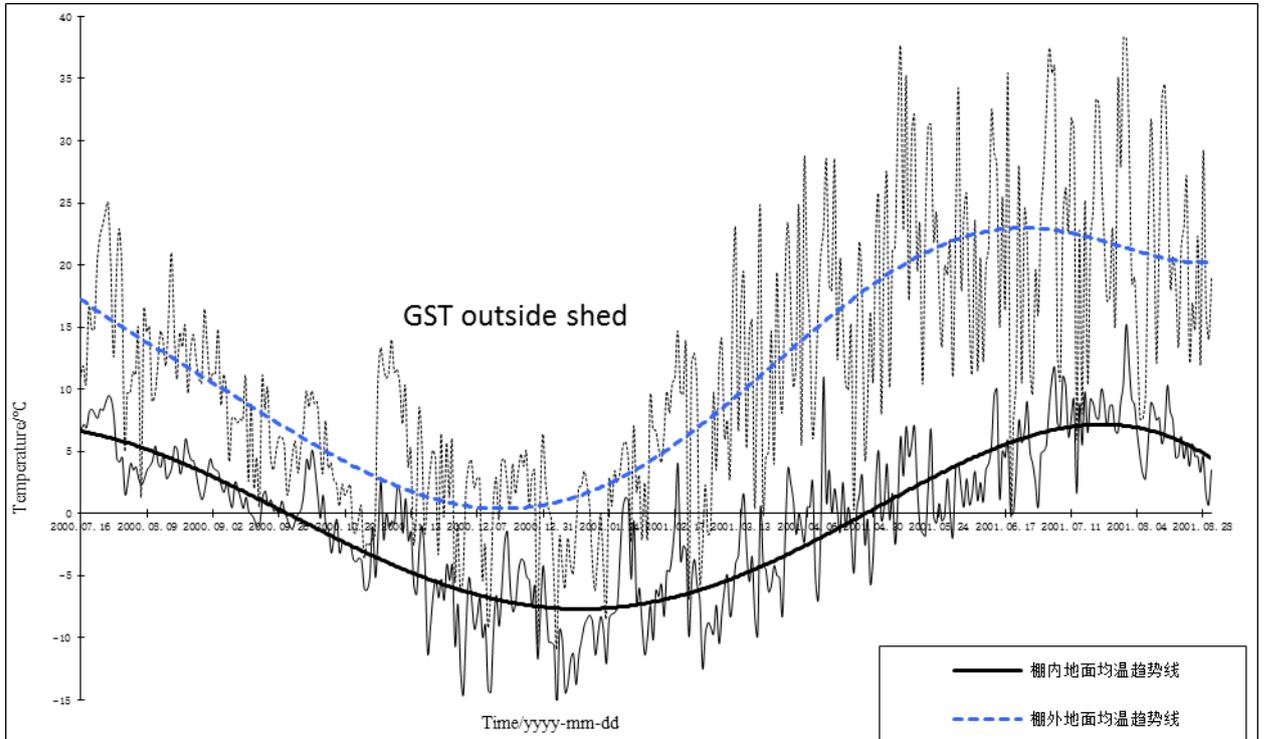


Рис. 4.10. Ход изменения температуры поверхности грунтов под навесом и вне его в экспериментальной выемке на склоне г. Фэнхо, Тибет с июля 2000 г. по август 2001 г.

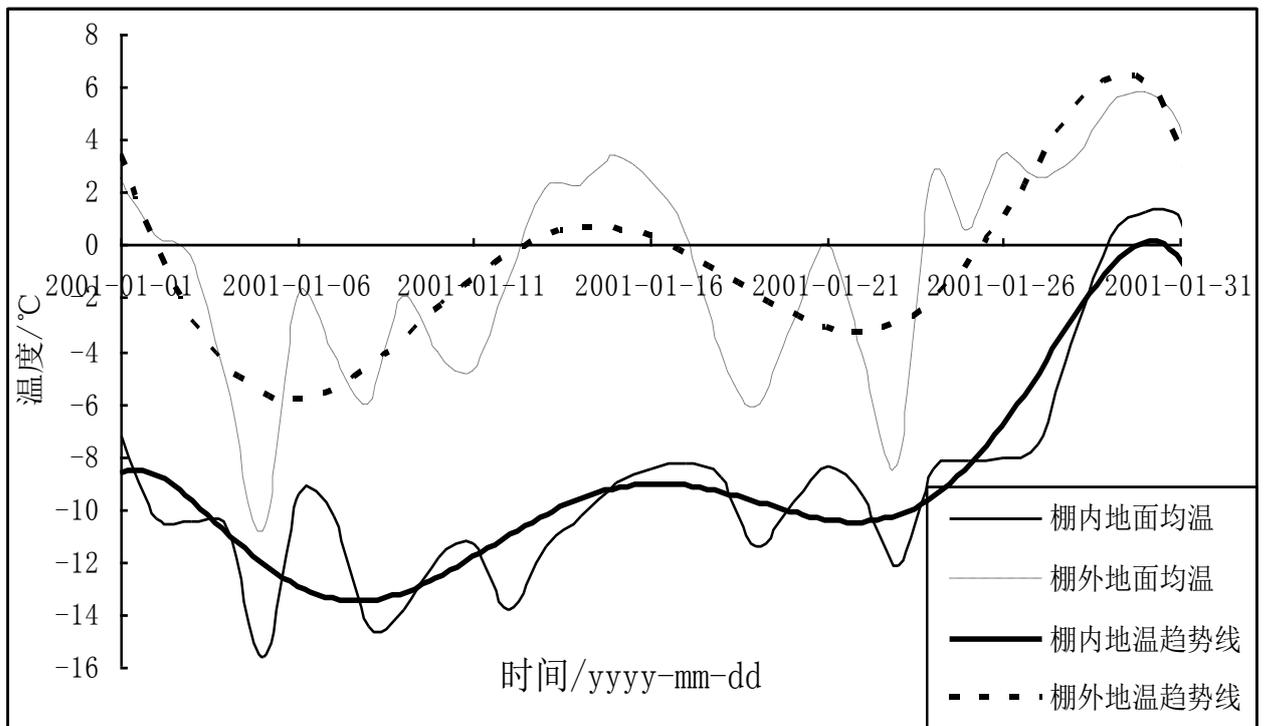


Рис. 4.11. Ход изменения температуры поверхности грунтов под навесом и вне его в экспериментальной выемке на склоне г. Фэнхо, Тибет в январе 2001 г.

В 2005 г. навес из панелей-сэндвичей был сооружен на откосах насыпи (рис. 4.12) непосредственно на Цинхай-Тибетской ж.д., где скорость движения поездов 100 км/час.



Рис. 4.12. Солнцезащитные навесы на откосах насыпи Цинхай-Тибетской ж.д. на участке льдистых грунтов в основании (фото из архива ТрансИГЭМ, август 2006 г.)

Навесы на откосах насыпи по данным натуральных наблюдений [100] могут понижать температуру грунтов на 3-5°C (рис. 4.13) и обеспечивать стабильность земляного полотна на сильнольдистых вечномерзлых грунтах.

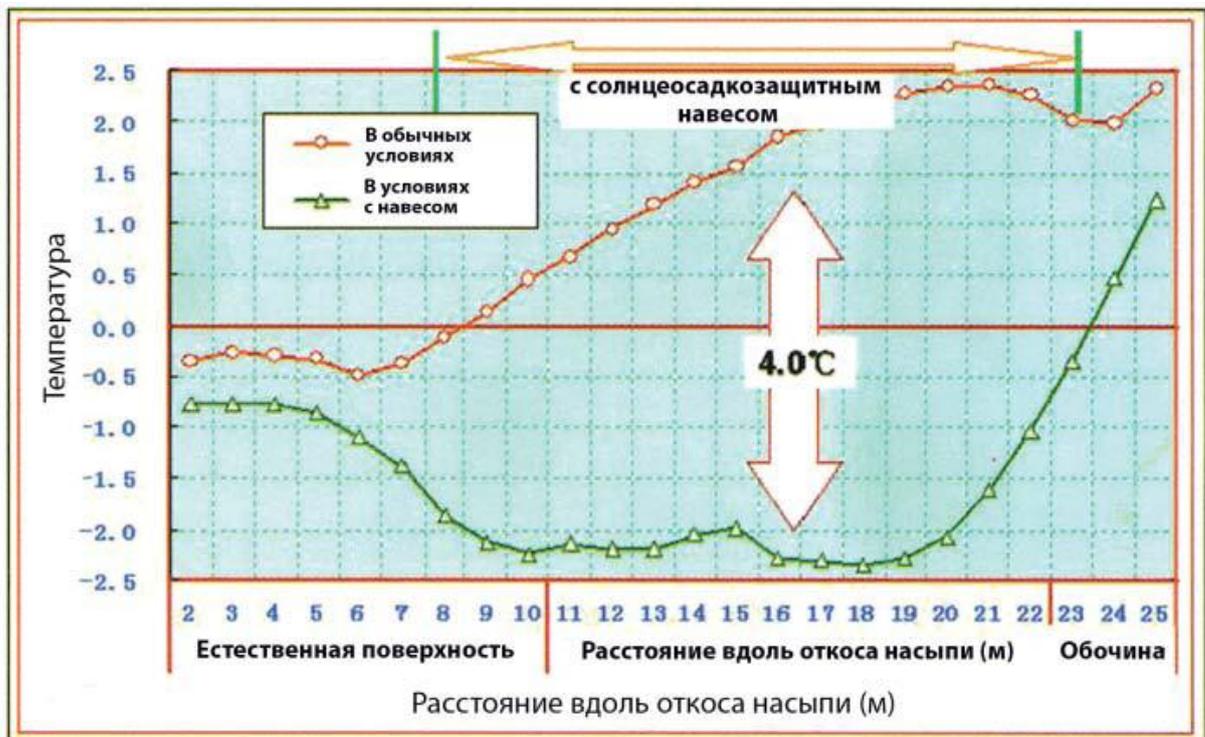


Рис. 4.13. Понижение среднегодовой температуры грунтов откосов насыпи с помощью солнцезащитного навеса [100]

В Китае с сентября 2003 г. также проводятся исследования влияния навесов на температурный режим автодорог на Цинхай-Тибетском нагорье: **Цинхай-Тибетского шоссе** (национальное шоссе № 109) (рис. 4.14-4.15) и **Цин Кан шоссе** (национальное шоссе № 214) (рис. 4.16-4.17).



Рис. 4.14. Сооружение солнцезащитного навеса на Цинхай-Тибетском шоссе, сентябрь 2003 г. (фото из архива Цинхай-Тибетского автодорожного проектно-исследовательского института)



Рис. 4.15. Солнцезащитный навес на Цинхай-Тибетском шоссе [101]



Рис. 4.16. Солнцезащитные навесы на Цин-Кан шоссе [101]

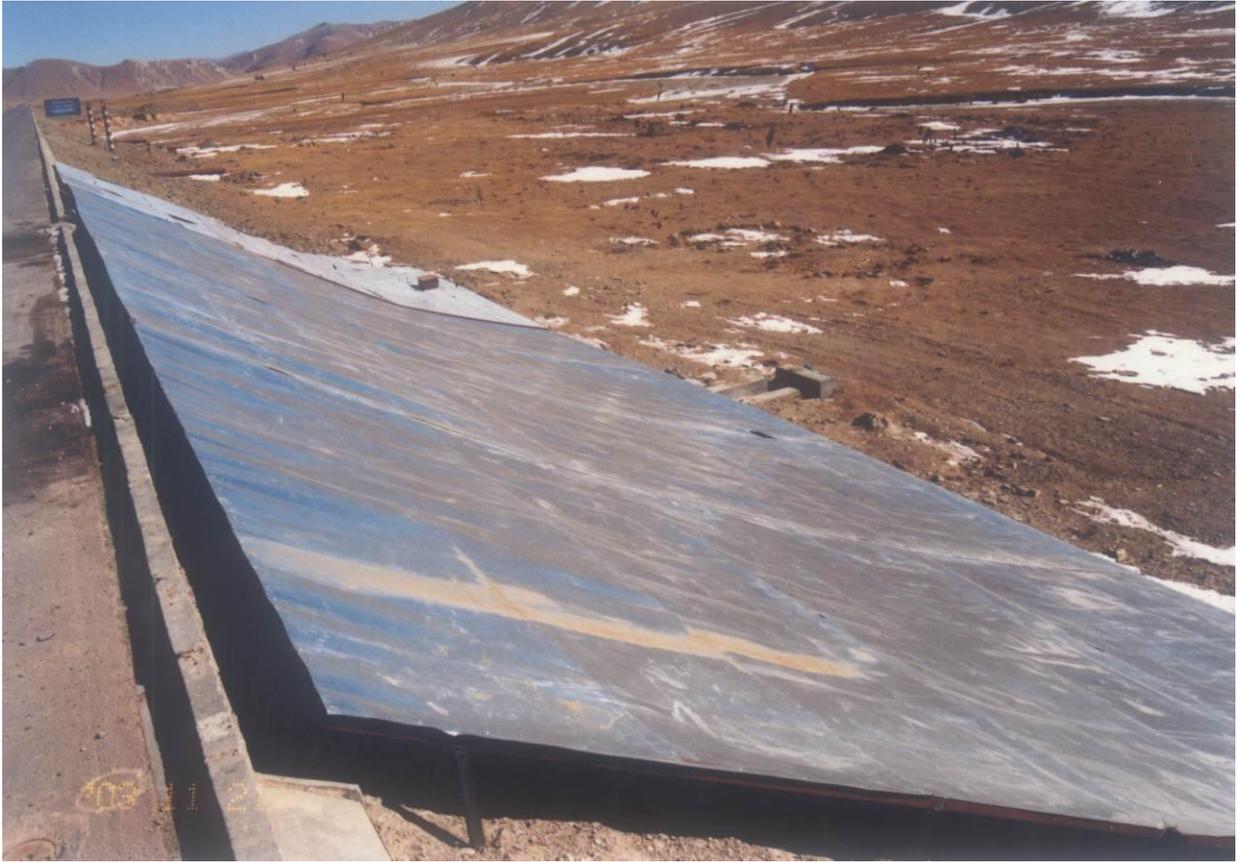


Рис. 4.17. Солнцезащитный навес на Цин-Кан шоссе [101]

Так, Главная государственная лаборатория по строительству на мерзлых грунтах Института инженерных и экологических исследований холодных и аридных районов АН КНР провела натурные эксперименты по применению солнцезащитных навесов на опытно-экспериментальном полигоне «Белухэ» вблизи Цинхай-Тибетского шоссе [101]. Экспериментальная модель навеса из двуслойной фанеры толщиной 12 мм и размерами 1.22x2.44 м² была размещена на откосе насыпи в 40 см над ее поверхностью (рис. 4.18). Измерения радиационного баланса и теплоточков в грунт под и вне навеса (рис. 4.18-4.19) в период с 27.07.2010 г. по 1.12.2010 г. показали, что радиационный баланс поверхности насыпи в среднем составляет 300-350 Вт/м², а под навесом – 30-45 Вт/м², т.е. навес способен снизить радиационный баланс на 80-90%, а летом и до 95%. Под навесом тепловой поток в насыпь на глубине 5 и 10 см составляет соответственно 38 и 25 Вт/м², в то время как вне навеса – соответственно 95-100 и 40-52 Вт/м², т.е. навес снижает теплоточки в насыпь на 50-75%. Температура поверхности грунтов под навесом оказалась на 6-8°С ниже, чем вне навеса.



Рис. 4.18. Модель солнцезащитного навеса на опытно-экспериментальном полигоне «Белухэ» [101]

Эти экспериментальные исследования позволили сделать вывод о том, что использование солнцезащитных авесов позволяет быстро и эффективно снизить радиационный баланс и тепловые потоки в насыпь, понизить температуру грунтов и обеспечить устойчивость земляного полотна дорог в районах распространения многолетнемерзлых грунтов.

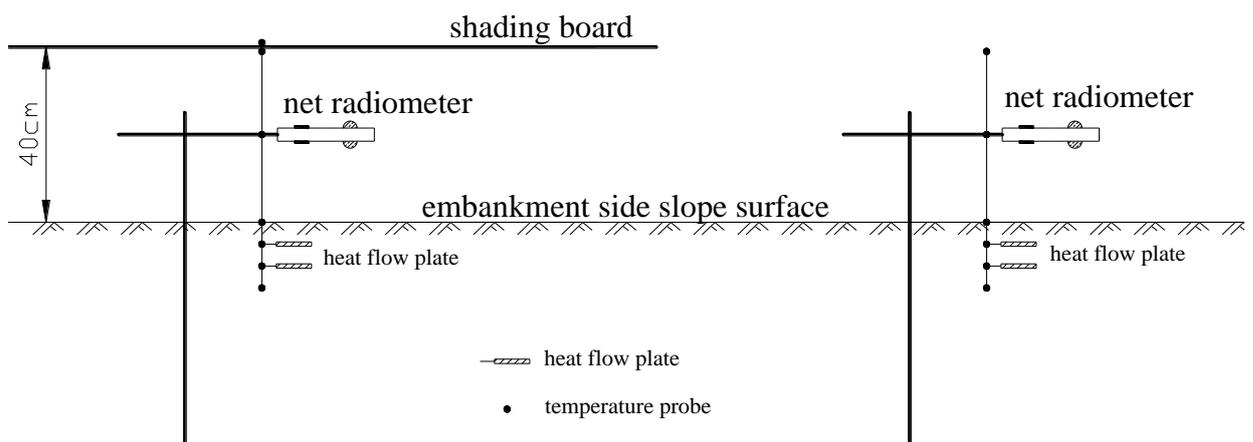


Рис. 4.19. Схема установки датчиков измерения радиации и тепловых потоков под и вне солнцезащитного навеса на опытно-экспериментальном полигоне «Белухэ» [101]

В 2007 г. ТранСИГЭМ выполнил теплотехническое обоснование применения навесов для предотвращения деградации сильнольдистых

многолетнемерзлых грунтов в основании земляного полотна строящейся **железной дороги Томмот – Кердем** на примере 5 участков (3 насыпей высотой по оси пути 3,48; 6,64 и 7,31 м и 2 выемок глубиной 2,38 и 5,5 м) [36]. Для этих же участков были выполнены теплотехнические расчеты охлаждающего влияния каменной наброски на откосы насыпей и выемок. Расчеты показали высокую эффективность применения солнцезащитных навесов для охлаждения грунтов тела и основания земляного полотна и предотвращения деградации подстилающих многолетнемерзлых грунтов, в особенности в сочетании с доломитовой обсыпкой (покраской) поверхности основной площадки и противодиффузионной пленкой под ней: глубина залегания кровли многолетнемерзлых грунтов по оси пути по сравнению с каменной наброской уменьшается на 28-40%, в среднем на 34,6%; охлаждение насыпи и грунтов основания происходит значительно быстрее. Уже через 5 лет грунты основания и значительной части тела насыпи оказываются в многолетнемерзлом состоянии, тогда как под каменной наброской и через 5 лет сохраняется талик, а его промерзание происходит лишь через 50 лет.

С 2009 г. проводится опытно-экспериментальное применение солнцезащитных навесов Ново-Чарской дистанцией пути Восточно-Сибирской ж.д. на **Центральном участке БАМ** [39]. Навесы на 1841 км (рис. 4.20) периодически перестраивались и расширялись: на август 2014 г. площадь покрытия навеса № 1 (справа на фотографии) составила 415 м² и № 2 (слева на фотографии) – 593 м².

Измерение температуры грунтов в скважинах под навесами и вне его показало значительное охлаждающее влияние навесов [39]. Так, за период с 28.12.2012 г. по 29.12.2013 г. под навесом № 1 температура грунтов понизилась с –0,2 до –5,3°С на глубине 2 м и с –0,1 до –2,6°С на глубине 3 м, тогда как вне его она осталась неизменной: –1,0 на глубине 2 м и 0,0°С на глубине 3 м. Охлаждающий эффект солнцезащитного навеса с каждым годом возрастает и постепенно распространяется глубину. Так, если в марте

2013 г. наиболее сильно (на 4,6–4,7 °С) различие температур грунтов отмечалось на глубине 1–2 м, то в марте 2014 г. уже на 6,9–6,7 °С – на глубине 2–3 м, а на подошве слоя годовых колебаний температуры грунтов (на 12–14 м) вне навеса температура оставалась постоянной – -0,9 °С, под навесом же понизилась до -1,4 °С.



Рис. 4.20 . Экспериментальный солнцезащитный навес на Центральном участке БАМ, 1841 км (фото из архива ТрансИГЭМ, июль 2012 г.)

На рис. 4.21 показана динамика промерзания и оттаивания сезонно-талых грунтов под навесом № 1.

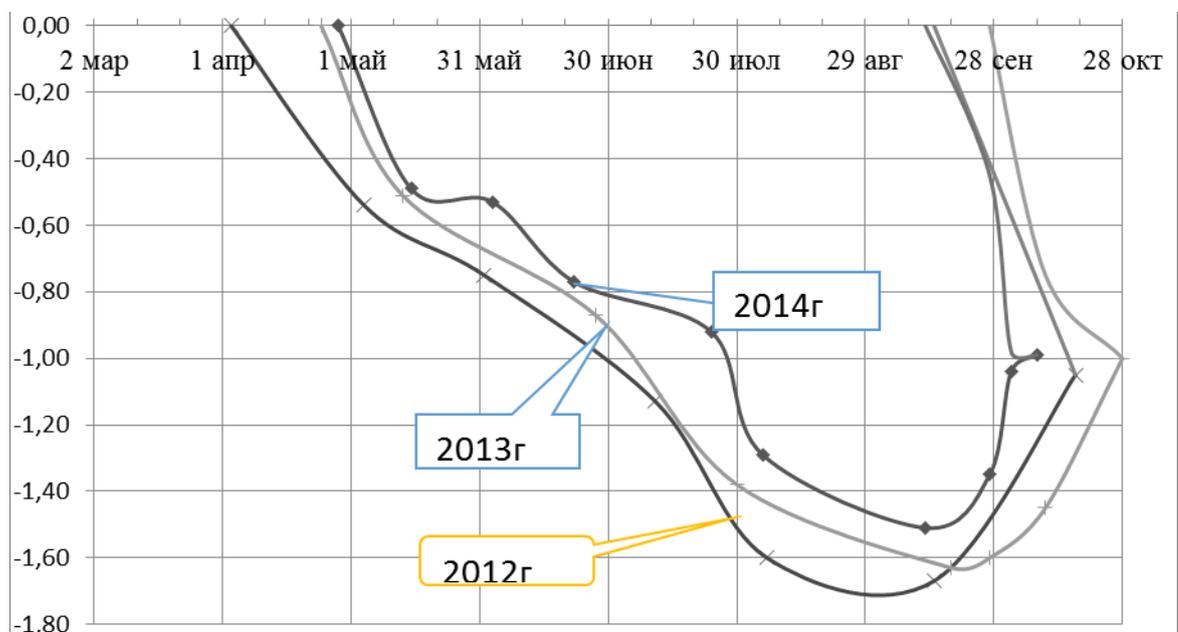


Рис. 4.21. Динамика оттаивания и промерзания сезонно-талых грунтов под навесом № 1 в 2012-2014 г. по термоизмерениям в скважине [39]

Мощность СТС под навесом уменьшилась с 1,73 м в 2012 г. до 1,65 м в 2013 г. и до 1,51 м в 2014 г., сократились и сроки его существования на 2-2,5

месяца. По данным термоизмерений в скважине вне навеса, динамика оттаивания и промерзания сезонно-талых грунтов в эти же годы оставалась практически неизменной, мощность СТС составляла около 4 м (4,00 – 10.11.2012 г., 3,86 – 27.09.2013 г. и 3,96 – 2.10.2014 г.).

Значительный охлаждающий эффект имеет и навес № 2. Так, за первый год после сооружения навеса в середине октября 2013 г. мощность СТС под ним уменьшилась с 2,77 м до 1,92 м, при этом промерзание СТС произошло 25.10.2014 г., тогда как вне навеса промерзание СТС мощностью 3,96 м произошло лишь 15.02.2015 г., почти на 4 месяца позднее.

Аналогичные результаты показали навесы на 1835 км (построен в марте-октябре 2010 г. площадь 242 м²) и на 1685 км (построен в 2013-14 гг. площадью 686 м²).

Солнцеосадкозащитные навесы, сооруженные впервые в России на 1841, 1835 и 1685 км БАМ позволили стабилизировать путь и значительно сократить затраты на его содержание на экспериментальных участках.

ООО «Транснефть – Восток» с августа 2014 г. применяет солнцеосадкозащитные навесы на **магистральном нефтепроводе ВСТО-1** в Олёкминском районе Якутии в рамках опытно-экспериментальных исследований по дополнительному охлаждению массива многолетнемерзлых грунтов с подземным нефтепроводом путем регулирования охлаждающих и обогревающих природных факторов таким образом, чтобы уменьшался приход тепла и увеличивался его расход, сохранялись и дополнительно охлаждались многолетнемерзлые грунты в основании нефтепровода [38]. Выбраны 2 экспериментальных участка: № 1 – на нефтеперекачивающей станции «Олекминск» (НПС-14) и № 2 – на 1704 км линейной части нефтепровода.

Солнцеосадкозащитные навесы на **НПС-14** были сооружены в августе-ноябре 2014 г. высотой 1,5 и 0,5 м из металлического каркаса и панелей-сэндвичей (рис. 4.22), что позволило интенсивно охладить массив грунта зимой 2014-15 гг. – в середине апреля 2015 г. (рис. 4.23) температура массива

грунтов в интервале 1-5 м на экспериментальной площадке (скв 18) была на 2-4°C ниже, чем на контрольной площадке (скв 37).

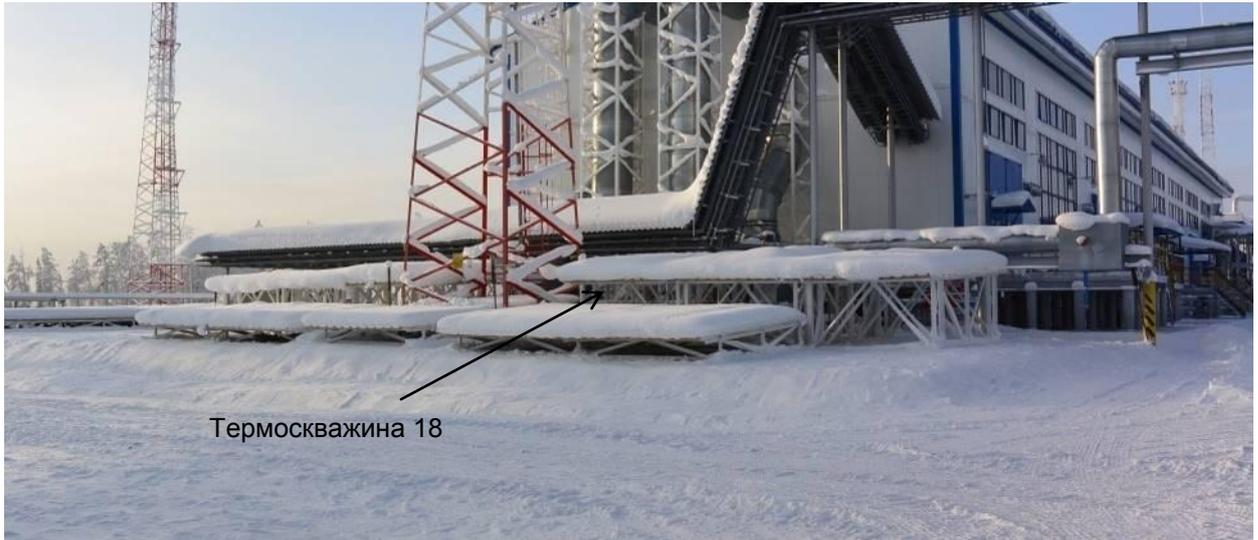


Рис. 4.22. Экспериментальная площадка на НПС-14 с навесами 0,5 и 1,5 м, зима 2014-2015 гг. (фото из архива Транснефть-Восток)

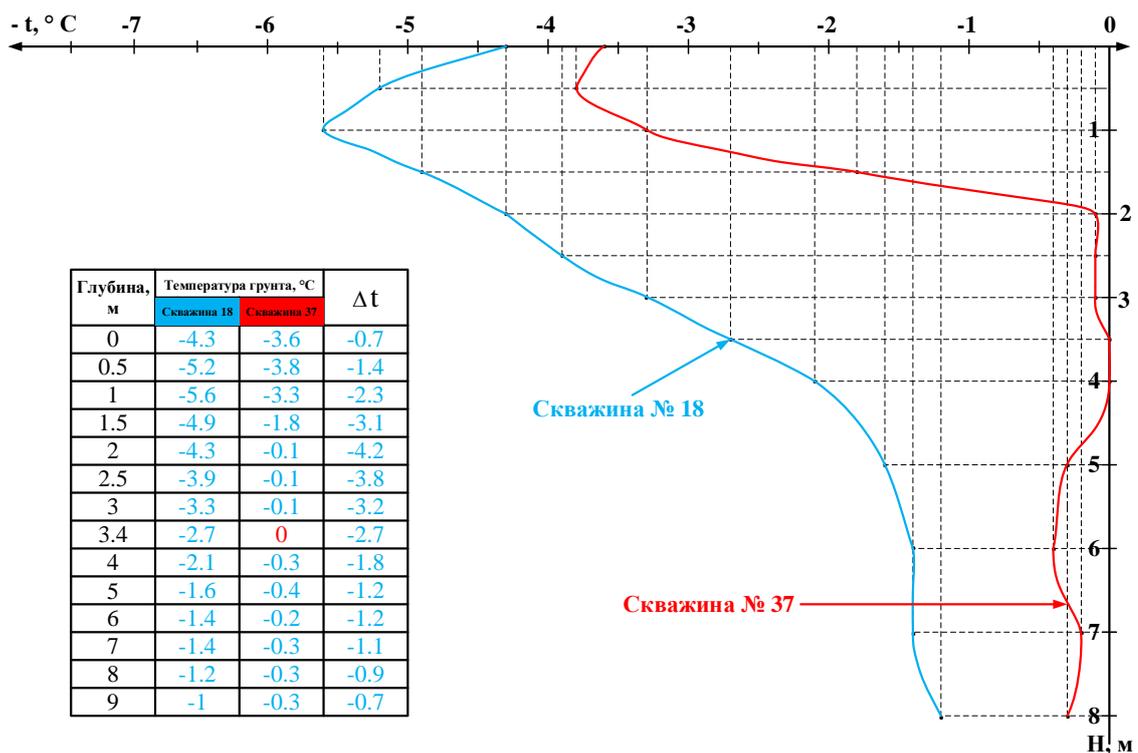


Рис. 4.23. Температура грунтов на экспериментальной (скв 18) и контрольной (скв 37) площадках на НПС-14 МН ВСТО-1 на 16.04.2015 г.

Наблюдения в конце теплого периода 2015 г. (рис. 4.24) показали, что глубина сезонного оттаивания грунтов на экспериментальной площадке составляла 2,97 м, тогда как на контрольной – 4,70 м, а охлаждение на 0,4 – 4 С° больше, чем на контрольной площадке, распространилось до глубины 5 м.

Менее чем за 2 года удалось прекратить деградацию многолетней мерзлоты и поднять её кровлю на 1,73 м, что обеспечивает стабильность фундаментов зданий и сооружений на НПС-14.

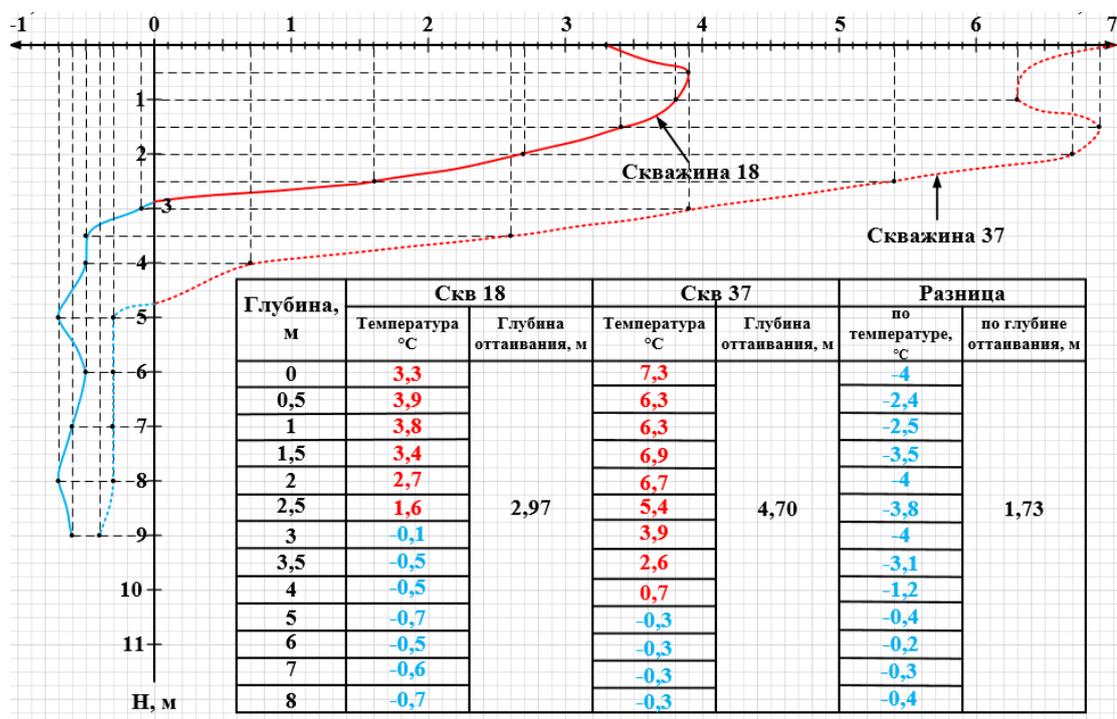


Рис. 4.24. Температура грунтов и глубина оттаивания грунтов на экспериментальной (скв 18) и контрольной (скв 37) площадках на НПС-14 МН ВСТО-1 на 25.09.2015 г.

Полученные результаты позволили применить солнцезащитные навесы в сочетании с покрытием прилегающей территории противодиффузионной пленкой и слоем белого мраморного щебня толщиной 10-15 см для прекращения деградации многолетнемерзлых грунтов в основании всех технологических трубопроводов на НПС-14 (рис. 4.25).



Рис. 4.25. Солнцезащитные навесы и белый щебень на противодиффузионной пленке на площадках технологических трубопроводов на НПС-14 МН ВСТО-1 (фото из архива Транснефть-Восток)

На рис. 4.26 и рис. 4.27 показана динамика оттаивания и промерзания грунтов на экспериментальной площадке с навесом и на контрольной площадке без навеса по температурным наблюдениям с 5 мая 2014 г. по 25 декабря 2015 г. в скважинах 18 и 37 соответственно.

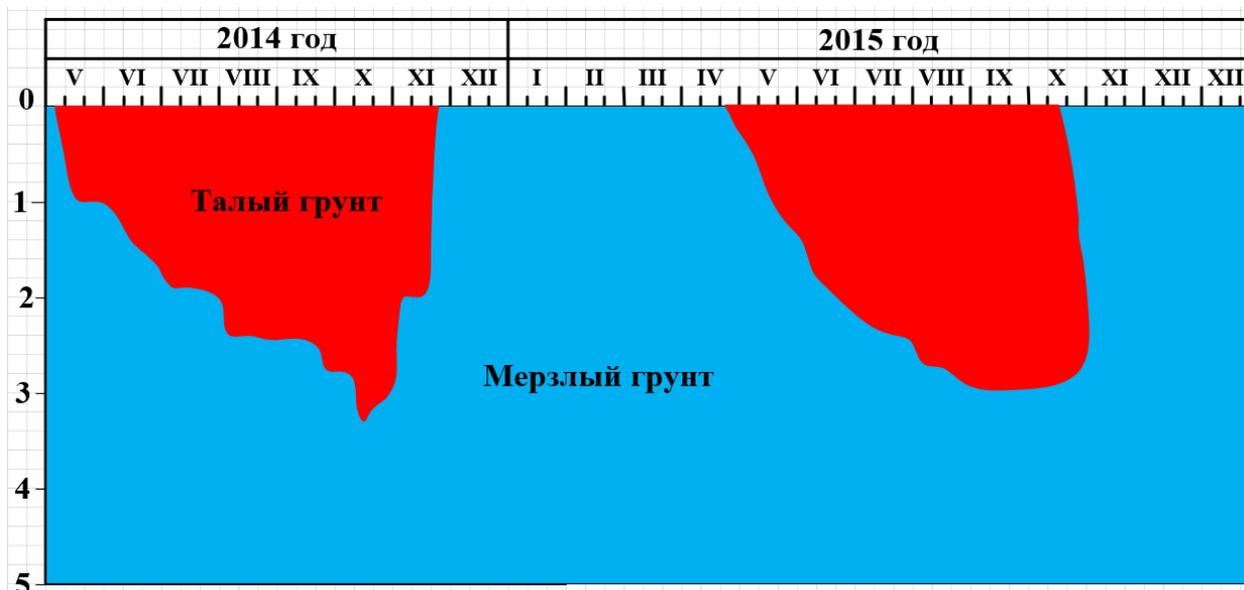


Рис. 4.26. Динамика оттаивания и промерзания грунтов на экспериментальной площадке на НПС-14 МН ВСТО-1 с 05.05.2014 г. по 25.12.2015 г. (по термозамерам в скв 18)

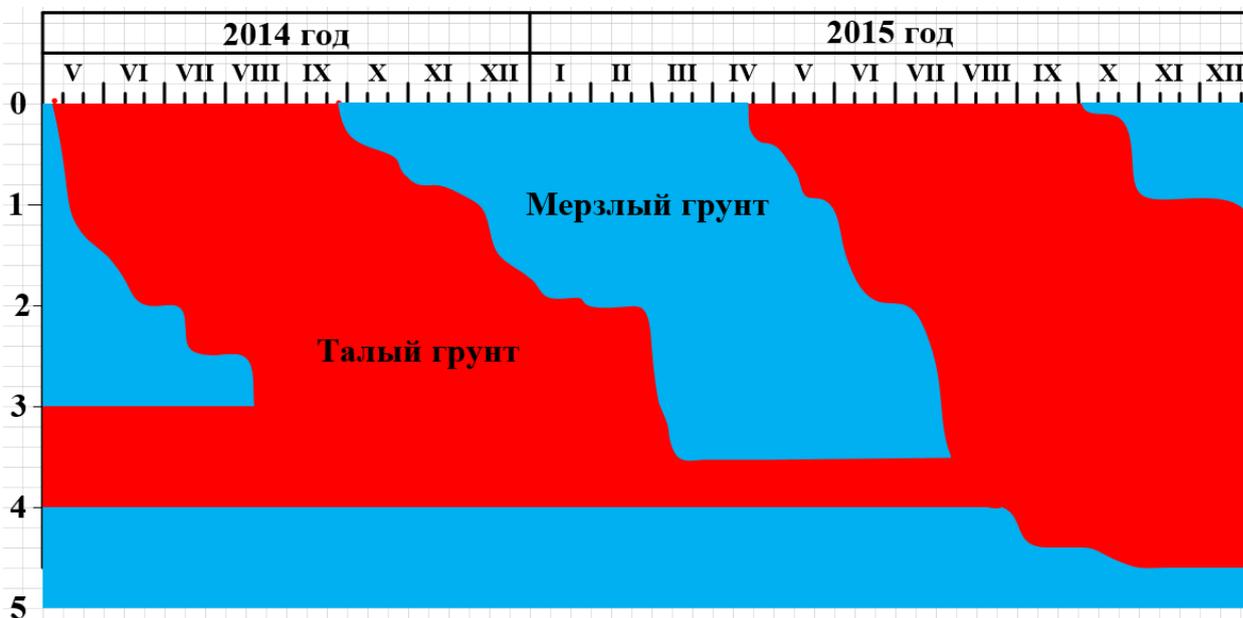


Рис. 4.27. Динамика оттаивания и промерзания грунтов на контрольной площадке на НПС-14 МН ВСТО-1 с 05.05.2014 г. по 25.12.2015 г. (по термозамерам в скв 37)

Отчетливо виден охлаждающий эффект солнцезащитного навеса, в результате которого на экспериментальной площадке (рис. 4.26) остановлена деградация многолетней мерзлоты, её кровля поднята на

глубину около 3 м от дневной поверхности, существенно сокращено время промерзания сезонно-талого слоя – в 2015 г. оно составило около 20 дней.

На площадке без навеса (рис. 4.27) продолжается деградация многолетней мерзлоты под песчано-гравийной насыпью толщиной 3-4 м – кровля мерзлоты опустилась до 4,5 м, сформировался непромерзающий зимой слой грунтов, мощность которого с каждым годом увеличивается.

На экспериментальном участке № 2 – **1704 км ВСТО-1**, в конце марта 2014 г. был сооружен солнцезащитный навес шириной 8 и длиной 100 м в виде деревянного каркаса из столбов, брусьев и досок, настила из профилированных металлических листов на обрешетке из досок и слое синтетической ткани (рис. 4.28).



Рис. 4.28. Солнцезащитный навес на 1704 км МН ВСТО-1 на 23.03.2014 г.
(фото из архива Транснефть-Восток)

Были оборудованы термоскважины глубиной 15 и 10 м под навесом (км 1704 ПК 4+7) и вне его (км 1704 ПК 6+2) на расстоянии 1, 3 и 10 м от нефтепровода. Также измерялась глубина оттаивания грунтов с помощью металлического щупа, которые показали, что к концу лета 2014 г. глубина оттаивания грунтов под навесом была на 37-49% меньше таковой вне навеса.

Зимой 2014-15 гг. происходило интенсивное охлаждение массива грунтов под навесом, поскольку под ним отсутствовал снежный покров,

достигавший вне навеса 40-50 см. Накопленный запас холода под навесом в значительной степени за лето сохранился, о чем свидетельствует распределение температуры грунтов до глубины 10 м в скважинах в 1 м от трубопровода под навесом и вне его на 28 сентября 2015 г., показанное на рис. 5.29, из которого следует, что под навесом за 1,5 года массив грунта в интервале 2-4 м, где размещен подземный трубопровод, охладился на 2,5-6,5°C по сравнению с массивом грунта вне навеса.

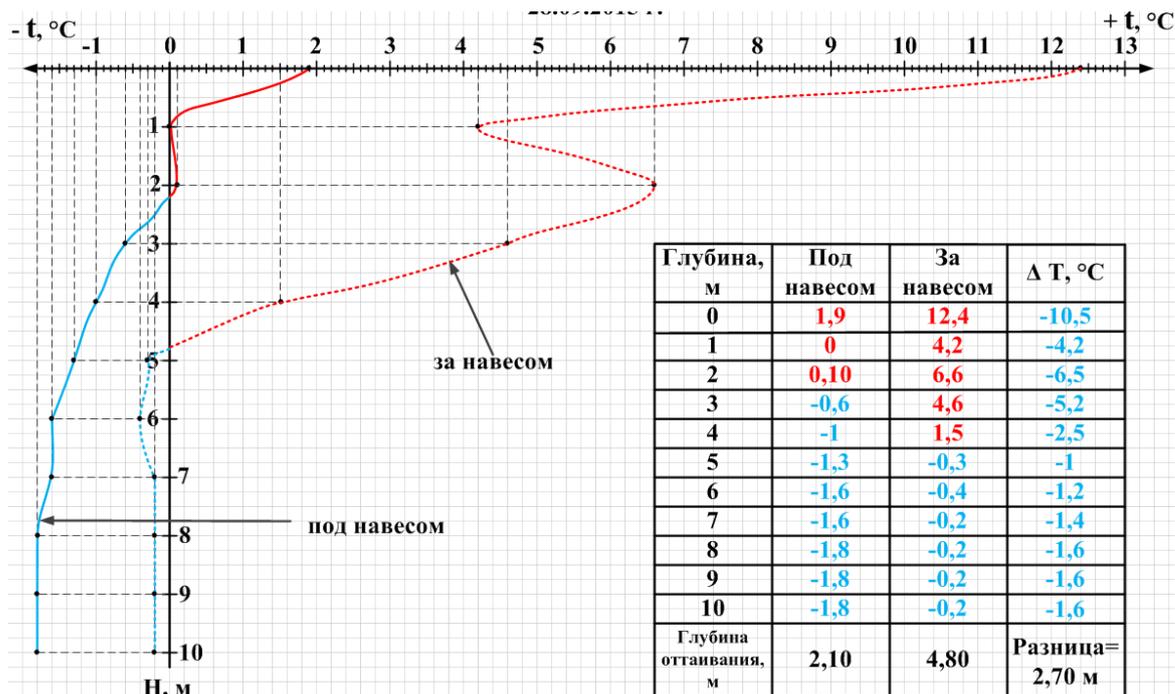


Рис. 4.29. Температура грунтов под навесом и вне навеса в 1 м от подземного нефтепровода на 28.09.2015 г.

На рис. 4.30 и рис. 4.31 показана динамика оттаивания и промерзания грунтов под навесом и на контрольной площадке, без навеса, по температурным наблюдениям с 22 апреля 2014 г. по 24 декабря 2015 г. в скважинах в 1 м от подземного нефтепровода.

Отчетливо виден охлаждающий эффект солнцезащитного навеса, в результате которого ореол оттаивания многолетнемерзлых грунтов уменьшился до 2-2,5 м (рис. 4.30), тогда как вне навеса в 1 м от трубы формируется многолетний талик до глубины около 5 м (рис. 4.31).

Под навесом оттаявший за лето грунт с наступлением отрицательных температур воздуха в конце сентября – начале октября промерзает быстро – за 10-15 дней, тогда как вне навеса полного промерзания оттаявших грунтов

не происходит и к концу зимы – сохраняется талый прослой толщиной около 2 м до глубины около 5 м. С каждым годом мощность талика увеличивается.

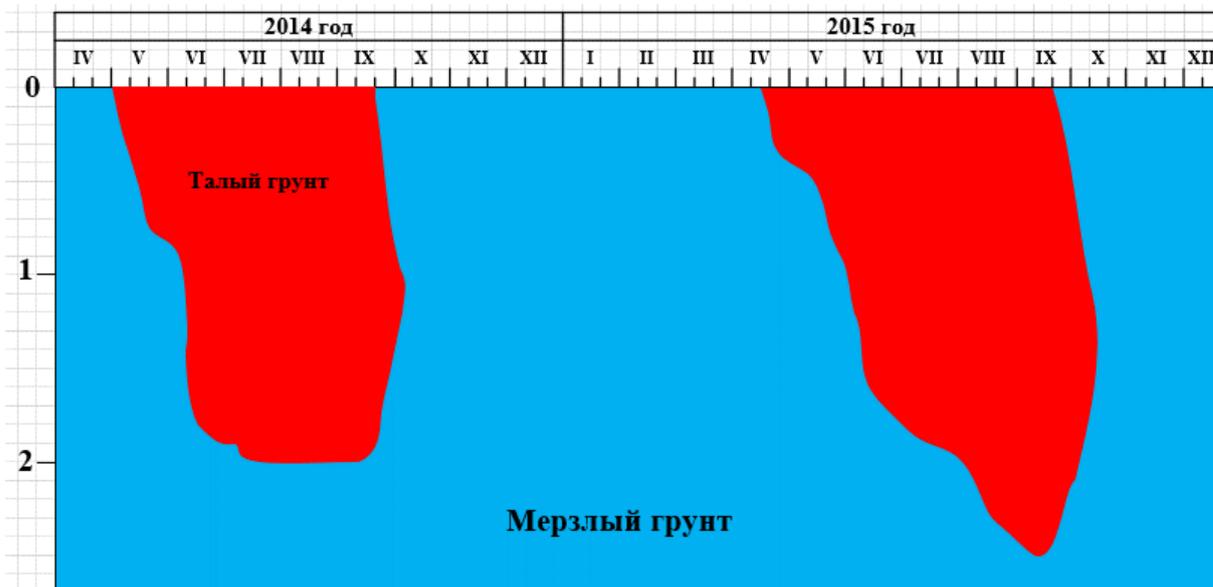


Рис. 4.30. Динамика оттаивания и промерзания грунтов на 1704 км МН ВСТО-1 под навесом в 1 м от трубы с 22.04.2014 г. по 25.12.2015 г. (по термозамерам в скважине)

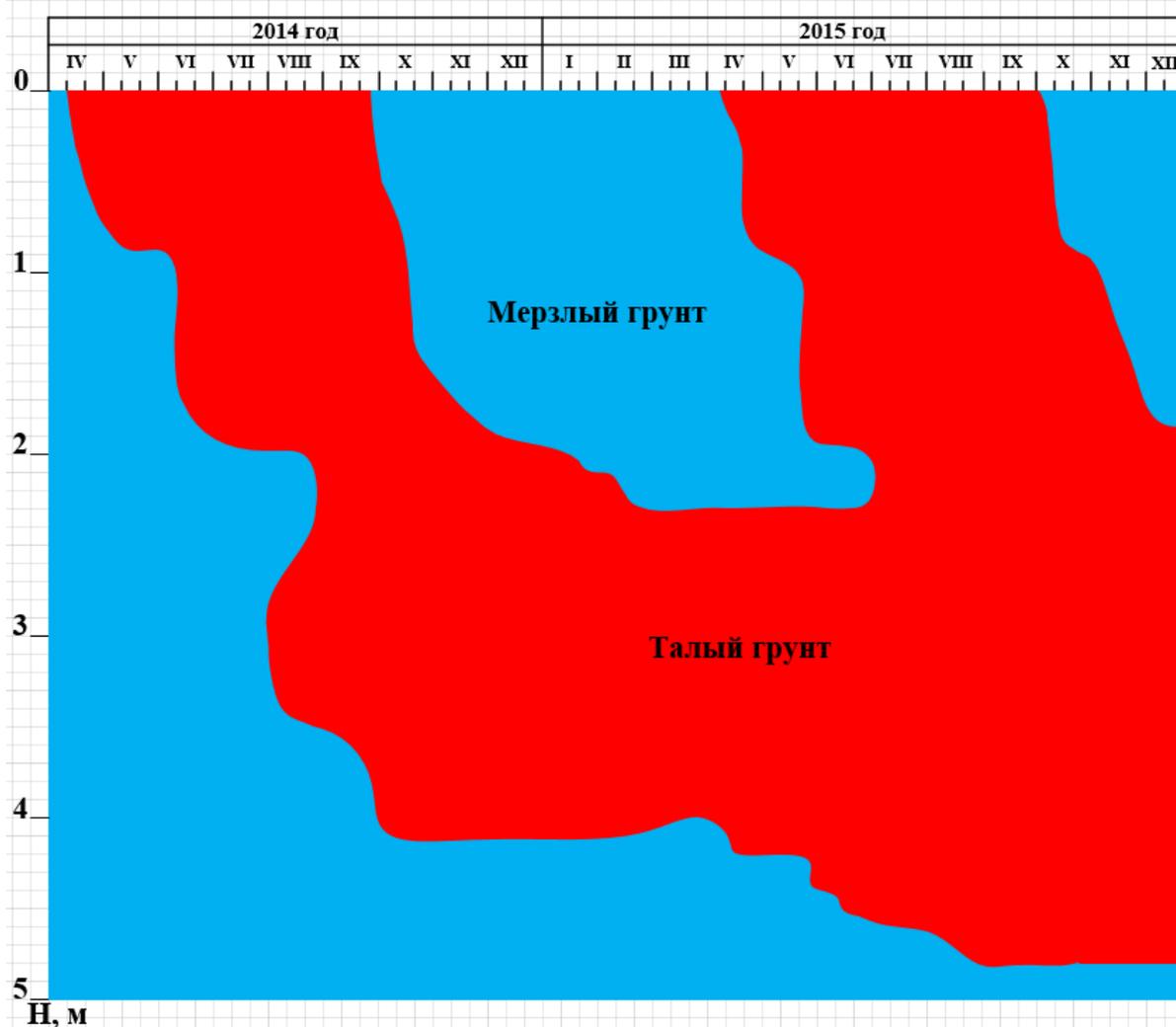


Рис. 4.31. Динамика оттаивания и промерзания грунтов на 1704 км МН ВСТО-1 вне навеса в 1 м от трубы с 22.04.2014 г. по 24.12.2015 г. (по термозамерам в скважине)

Распределение температуры грунтов под навесом и вне его на 1704 км МН ВСТО-1, а также мощность талого прослоя на контрольной площадке на 24.12. 2015 г. термозамерам в скважинах показаны на рис. 4.32.

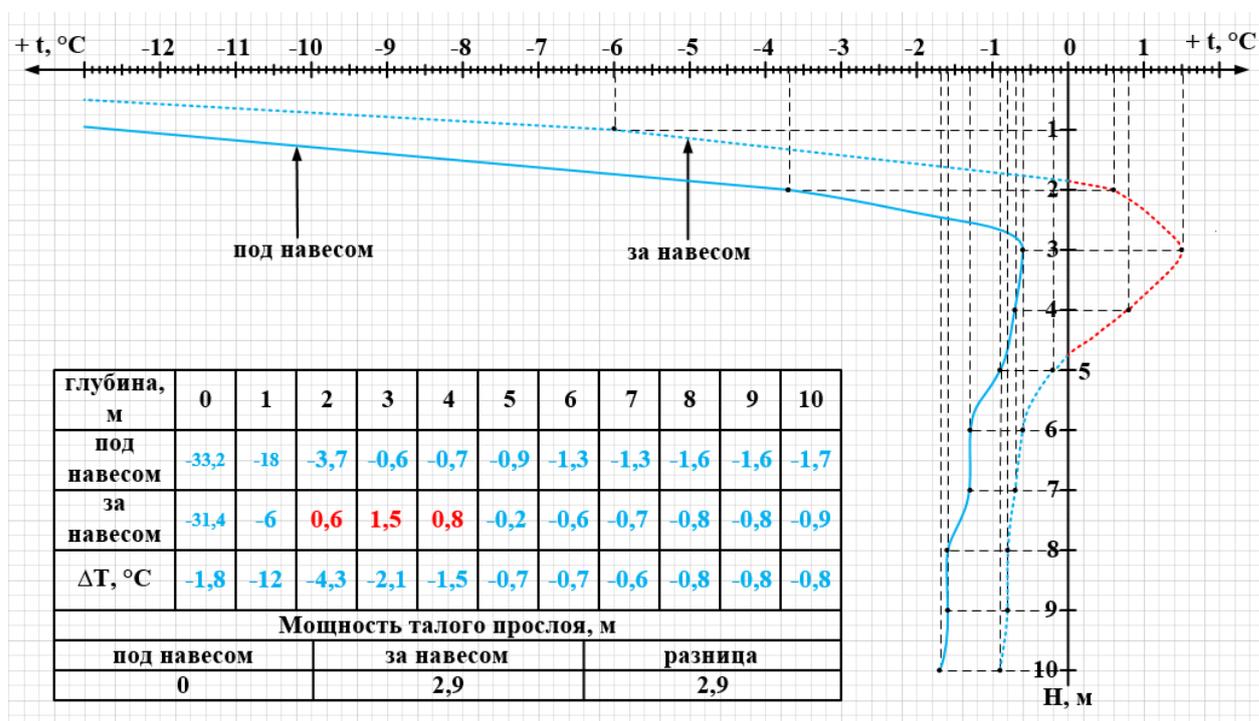


Рис. 4.32. Температура грунтов под навесом и вне навеса в 1 м от подземного нефтепровода на 24.12.2015 г.

Эти данные показывают, что понижение температуры грунтов под навесом в интервале 0 – 10 м в среднем составило $2,4^\circ C$, а в интервале 0 – 4 м в среднем $4,3^\circ C$. Последний интервал наиболее интересен, т.к. именно в нем располагается массив грунтов с подземным трубопроводом, формирующим ореол оттаивания многолетнемерзлых грунтов. Понижение температуры многолетнемерзлых грунтов здесь уменьшает их оттаивание и способствует сохранению планово-высотного положения трубопровода.

Результаты исследований в России, на Аляске и в Китае позволяют утверждать, что солнцезащитный навес может стать основным противодеформационным устройством для земляного полотна на участках льдистых многолетнемерзлых грунтов. Под навесом вследствие отсутствия снега под ним создаются возможности интенсивного зимнего охлаждения грунтов и уменьшается летний прогрев их, поскольку исключаются инфильтрация летних осадков и прямая солнечная радиация.

Поперечные охлаждающие трубы

Укрепление основания земляного полотна в соответствии с патентом № 2010919 [49] достигается посредством размещения системы охлаждающих труб в нижней части насыпи так, чтобы грунты основания сохранялись в многолетнемерзлом состоянии. Вариант конструкции насыпи с охлаждающей системой показан на рис. 4.33.

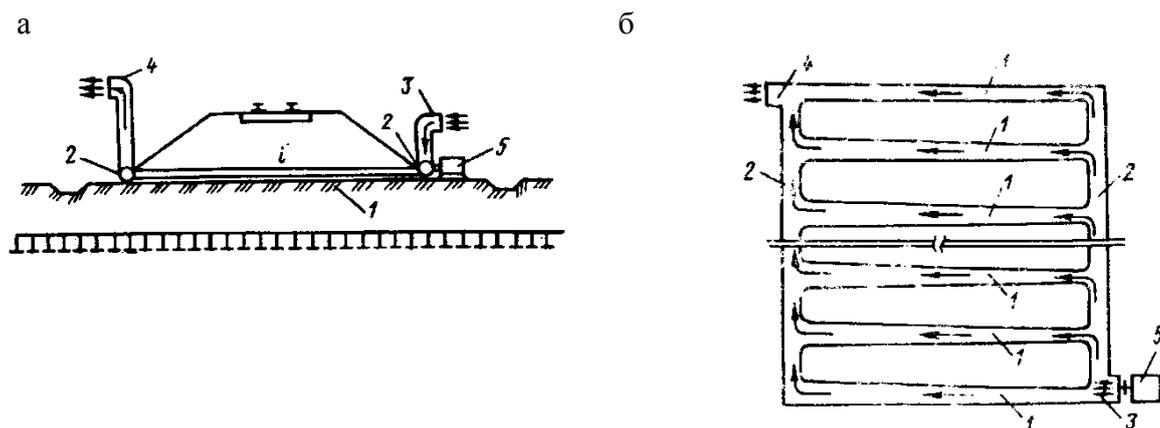


Рис. 4.33. Система охлаждающих труб в основании насыпи: в разрезе (а) и в плане (б); 1 и 2 – охлаждающие и магистральные трубы; 3 и 4 – входной и выходной патрубки; 5 – вентилятор.

Охлаждающая система состоит из одного или нескольких рядов труб, уложенных поперек насыпи, через которые пропускается хладагент (холодный или охлажденный воздух, воздушно-газовая смесь) путем естественной или принудительной вентиляции. Диаметр труб, шаг их укладки и количество рядов определяются теплотехническими расчетами.

Естественная вентиляция в зимний период осуществляется через открытые торцевые отверстия охлаждающих труб или через специальные патрубки. Для усиления естественной вентиляции отверстия входных и выходных патрубков могут быть расположены на разных уровнях. Этому же способствует укладка труб с наклоном в низовую сторону земляного полотна или применение труб конической формы.

Принудительная вентиляция осуществляется с помощью магистральных труб, входного и выходного патрубков и вентилятора. Это позволяет при необходимости производить дополнительное охлаждение летом с помощью воздушно-газовых смесей, например, воздушно-азотной, и

обеспечить стабильность земляного полотна даже в аномально теплые годы.

Укладка теплоизоляции над охлаждающими трубами, особенно в случае низких насыпей, может значительно повысить охлаждающее воздействие на нижележащие грунты.

На весенне-летний период для предотвращения поступления теплого воздуха отверстия труб или патрубки должны быть закрыты (рис. 4.34).



Рис. 4.34. Поперечные вентилируемые железобетонные трубы в основании земляного полотна Цинхай-Тибетской жд. с автоматическими закрывашками (фото из архива ТранСИГЭМ)

Это решение использовано в экспериментальном проекте земляного полотна на 383 км Амуро-Якутской магистрали и при эскизной проработке стабилизационных мероприятий для участка км км 6277-6278 Забайкальской жд. Реально же вентилируемые трубы, причем достаточно широко, применены на Цинхай-Тибетской железной дороге (рис. 4.34 и 4.35).



Рис. 4.35. Поперечные вентилируемые железобетонные трубы в основании земляного полотна Цинхай-Тибетской жд. на участках льдистых грунтов (фото из архива ТранСИГЭМ)

Пленочный экран

На косогорных участках для сохранения основания земляного полотна в многолетнемерзлом состоянии надо предотвращать отепляющее влияние не только солнечной радиации и атмосферных осадков, но и поверхностных и надмерзлотных вод, стекающих к насыпи с нагорной стороны.

В соответствии с патентом № 1807173 [30] влияние поверхностных и надмерзлотных вод устраняется путем устройства противофильтрационного экрана (рис. 4.36) из полимерной пленки на границах мерзлого ядра со сливной призмой и с бермой с верховой стороны.

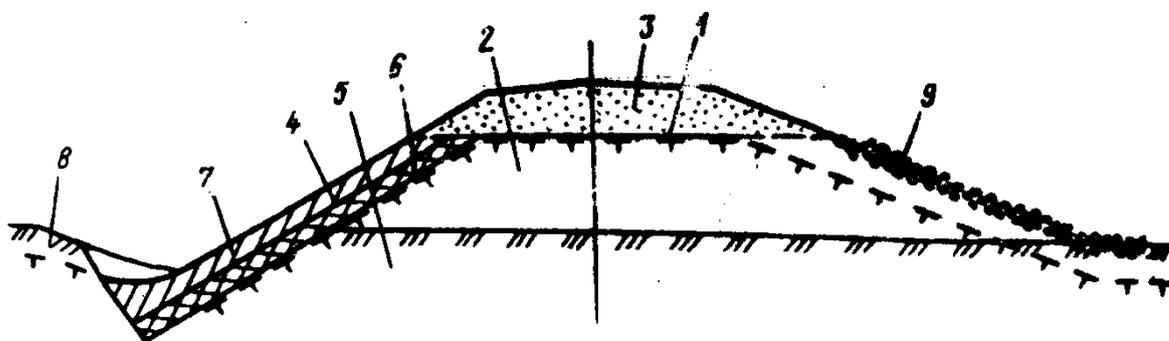


Рис. 4.36. Конструкция насыпи с пленочным экраном:

1 – полимерная пленка; 2 – мерзлое ядро насыпи; 3 – сливная призма; 4 – берма; 5 – сильнольдистое основание насыпи; 6 и 7 – теплоизоляционный и противофильтрационные слои бермы; 8 – подошва сезонно-талого слоя; 9 – каменная наброска.

Для надежной консервации мерзлого ядра и сильнольдистого основания насыпи берма сооружается из теплоизоляционного и противофильтрационного слоев и врезается в основание на глубину, превышающую мощность сезонно-талого слоя. Откос насыпи с низовой стороны укрепляется каменной наброской, также способствующей консервации мерзлого ядра и основания насыпи, причем при южной экспозиции откоса каменный материал должен иметь естественный или специально созданный светоотражающий цвет. Сливная призма должна иметь уклон в низовую сторону для удаления атмосферных вод.

Технология сооружения насыпи следующая. В конце лета – осенью возводят ядро из связных грунтов (суглинков, супеси) и с нагорной стороны осуществляют врезку в основание на глубину, превышающую мощность

сезонно-талого слоя (от поверхности водоотводной канавы) на 0,5-0,7 м. Низовую часть ядра покрывают наброской из морозостойкого фракционного камня со средним диаметром 0,3-0,5 м. По окончании полного промораживания ядра или в конце зимы во врезку и на мерзлое ядро настилают пленочный экран. Затем формируют верховую берму из теплоизоляционного и противofильтрационного слоев. Первый слой отсыпается из песчано-щебенистых грунтов, а второй – из укатанных глинистых или суглинистых отложений. Общая мощность этих слоев должна превышать глубину сезонного оттаивания, для уменьшения которой целесообразно берму покрывать мхом, дерном, торфом и другими теплоизоляторами. Затем формируется основная площадка насыпи со сливной призмой. Если низовой откос насыпи обращен в южную сторону, а наброска выполнена из темноцветного камня, то для уменьшения влияния солнечной радиации она окрашивается в белый цвет.

На основе этого изобретения Мосгипротрансом и Читинским политехническим институтом в 1991 г. был разработан эскизный проект сохранения многолетнемерзлого состояния грунтов основания земляного полотна одного из участков железнодорожной линии Тында – Ургал. Затем, в 1994 г., Мосгипротранс использовал это решение при разработке эскизного проекта и технологии сооружения насыпи на участках с поперечным уклоном местности и сильнольдистыми вечномерзлыми грунтами, а также рабочей документации двух опытных участков Амуро-Якутской магистрали.

Аналогичные проблемы успешно решались Читинским политехническим институтом с помощью противofильтрационного пленочного устройства [23] при строительстве и эксплуатации плотин для обратного водоснабжения при разработках дражных полигонов в Якутии.

Продольные устройства для аккумуляции холода

Основным недостатком описанной конструкции с противofильтрационным экраном из полимерной пленки является

трудоемкость работ в условиях эксплуатируемых дорог и ограничение применения преимущественно новым строительством. Характеризуемая ниже конструкция (рис. 4.37) лишена указанного недостатка. Она может использоваться как при новом строительстве, так и на действующих дорогах.

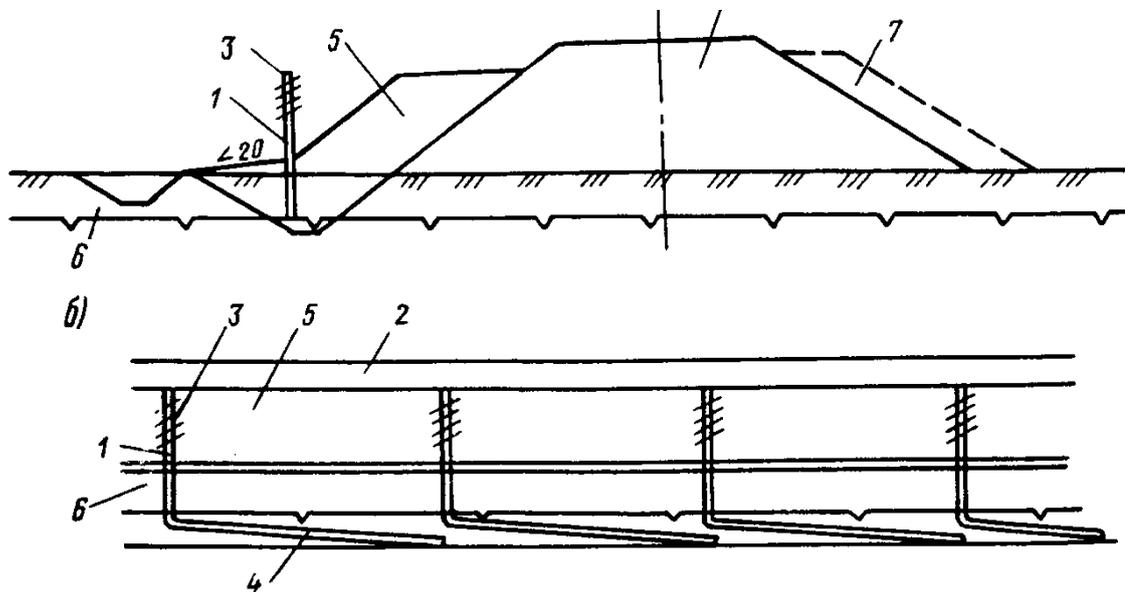


Рис. 4.37. Конструкция насыпи с устройствами для аккумуляции холода в поперечном и продольном разрезах: 1 – устройство для аккумуляции холода; 2 – насыпь; 3 и 4 – воздушный и грунтовый теплообменники; 5 – противофильтрационная берма; 6 – подошва сезонно-талого слоя; 7 – каменная наброска

В соответствии с патентом на изобретение № 2059752 [50] технология сооружения насыпи следующая. В конце лета - осенью возводят ядро насыпи из талых связных грунтов (суглинков, супеси) и с нагорной стороны осуществляют врезку в основание на глубину, превышающую мощность сезонно-талого слоя (от дна водоотводной канавы) на 0,5-0,7 м и устанавливают устройства для аккумуляции холода по схеме, указанной на рис. 4.37. Затем формируют противофильтрационную берму из уплотненных глинистых или суглинистых отложений. Для уменьшения глубины сезонного оттаивания грунтов целесообразно покрывать берму мхом, дерном, торфом или другими теплоизоляторами после замораживания насыпи, перед наступлением теплого периода. Установка охлаждающих устройств может быть произведена и после сооружения верховой бермы с помощью вертикального и наклонного бурения или рытья канав (прорезей).

Насыпь может сооружаться из дренирующего грунта и зимой, а летом с

нагорной стороны отрывается траншея на 0,5-0,7 м ниже верхней границы многолетнемерзлых пород, в которую устанавливаются устройства для аккумуляции холода. Производится засыпка траншеи тальми глинами или суглинками, которые тщательно уплотняются. Из них же формируется противофильтрационная берма.

Низовой откос насыпи покрывают наброской из фракционного морозостойкого камня со средним диаметром 0,3-0,5 м. Если этот откос насыпи обращен в южную сторону, а наброска выполнена из темноцветного камня, то для уменьшения весенне-летнего прогрева насыпи солнечной радиацией откос покрывается белой краской (светоотражающим покрытием).

Превентивное оттаивание льдистых грунтов

В некоторых случаях, в особенности на участках с температурой мерзлых грунтов около 0°C целесообразно, вместо постоянного поддержания отрицательной температуры грунтов основания земляного полотна, принять превентивные меры по принудительному оттаиванию или замене сильнольдистых грунтов непросадочной грунтовой массой.

Укрепление основания земляного полотна в соответствии с патентом № 2010919 [37] достигается разрушением и удалением из него льдистых вечномерзлых грунтов или залежей льда гидродинамическим способом через специальные скважины (рис. 4.38) и одновременным замещением возникающих полостей тальм грунтом с необходимыми свойствами, например, песком или грунтово-цементной смесью.

В таком случае исключаются опасные осадки насыпи при любых тепловых воздействиях и изменениях.

Способ осуществляют следующим образом. Через тело насыпи бурят рабочую скважину, проходящую насквозь через линзу льдистого грунта. Скважину оборудуют кондуктором, погружаемым до подошвы насыпи.

Затем в скважину опускают ниже подошвы линзы струйный монитор, оборудованный боковыми соосными соплами – жидкостным и воздушным, герметизирующим и вихревым устройствами, изливающим и приемным

патрубками, внешней выдачной трубой, вертлюгом, шлангами для подвода размывающей жидкости, сжатого воздуха, замещающего грунта, и сбросным шлангом, оборудованным на нижнем конце регулятором.

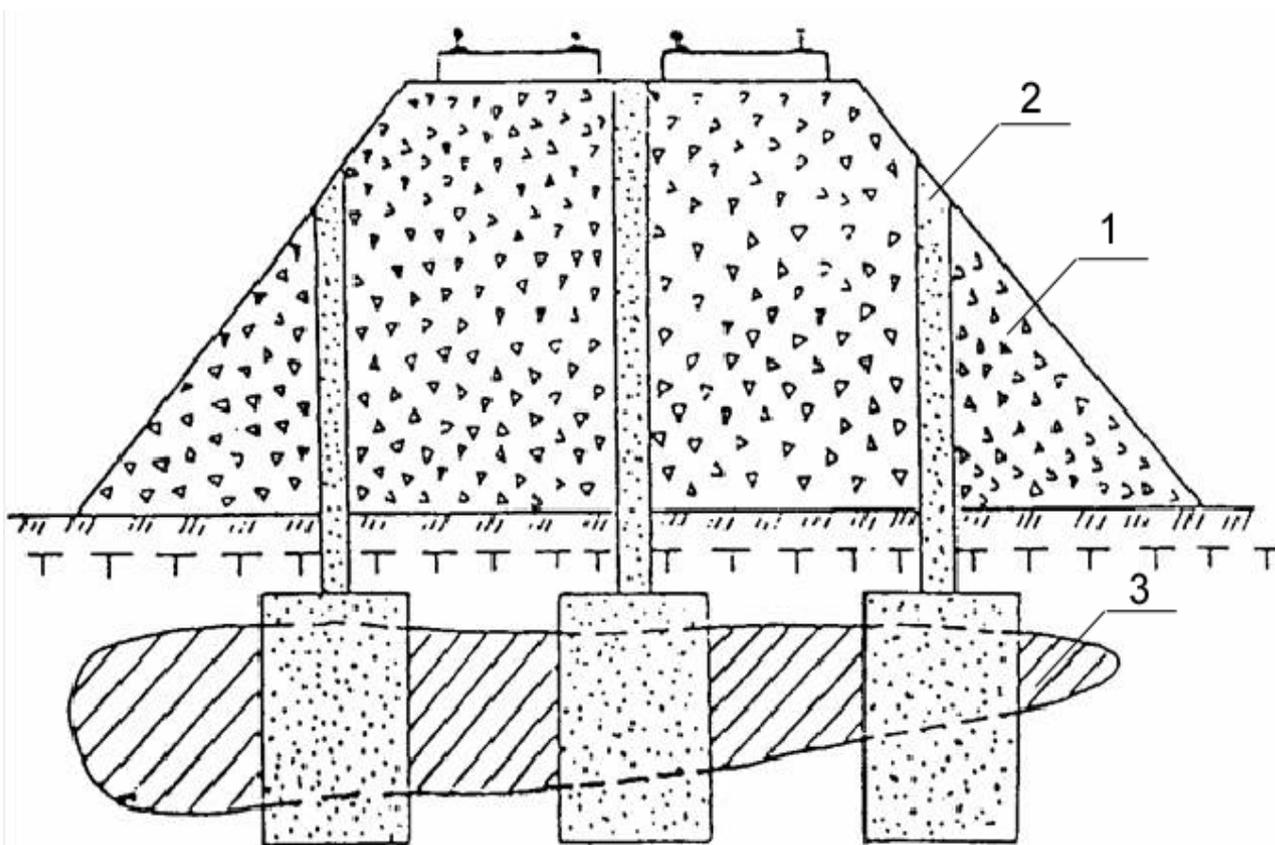


Рис. 4.38. Схема замещения линзы льда в основании насыпи гидродинамическим способом: 1 – насыпь; 2 – скважина; 3 – линза льда (льдистого грунта)

Далее производят разрушение льдистого грунта струей жидкости, например, теплой водой или соляным раствором, в потоке сжатого воздуха при медленном вращении монитора вокруг вертикальной оси и медленном подъеме его снизу-вверх, с образованием цилиндрической полости.

При этом в образовавшейся полости устанавливается свободная поверхность жидкости, выше которой располагается пространство, заполненное сжатым воздухом. Разрушенный грунт в виде пульпы обрушивается вниз и благодаря повышенному гидростатическому давлению в полости поступает в приемный патрубок монитора. При этом закрученная струя жидкости, поступающая через вихревое устройство в нижней части монитора, создает вихревой поток, который благодаря эффекту поперечной циркуляции способствует перемещению размытого грунта к приемному

патрубку. Далее пульпа размытого грунта удаляется по выдачной трубе и сбросному шлангу. Одновременно через изливающий патрубок в полость подают пульпу замещающего грунта (песка) высокой консистенции, которая заполняет выработанное пространство по мере разработки полости.

После завершения разработки полости монитор поднимают в скважину, прекращают подачу размывающей жидкости, продолжая подавать сжатый воздух и пульпу замещающего грунта до тех пор, пока песок в заметных количествах не начнет выходить из сбросного шланга в сливной лоток. После этого прекращают подачу замещающего грунта, а подачу сжатого воздуха продолжают до полной очистки от песка сбросного тракта и выноса воды, выдавленной в верхнюю часть заполняемой полости. В результате образуется грунтовая (песчаная) свая. После завершения создания грунтовой сваи монитор извлекают из скважины, ее заполняют грунтовой пульпой высокой консистенции и извлекают кондуктор.

Также образуют и последующие грунтовые сваи. В случае достаточно близкого примыкания друг к другу грунтовых свай на месте массива льдистого грунта образуется сплошное укрепленное грунтовое основание.

Если замещающий грунт представлен мелким или пылеватым песком или содержит большое количество глинистых частиц, то для быстрой принудительной консолидации замещающего грунта вместо воды следует подавать цементный раствор с содержанием цемента, обеспечивающим необходимую прочность на сжатие замещающего материала.

Способ укрепления основания земляного полотна путём превентивного оттаивания льдистых грунтов и замещения их непросадочной грунтовой массы является радикальным и позволяет заблаговременно предотвратить его деформации на слабых, просадочных при оттаивании грунтах.

Таким образом, разработан и апробирован комплекс способов стабилизации земляного полотна дорог на льдистых многолетнемерзлых грунтах, который может быть эффективно применён и на автодороге «Амур».

ГЛАВА 5. АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИЙ АВТОДОРОГИ «АМУР» НА УЧАСТКЕ ПЕРЕХОДА ЧЕРЕЗ РУЧ. ЧИЧОН: ПРИЧИНЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ

Участок федеральной автодороги «Амур» Чита – Хабаровск, км 247, расположен в Нерчинском районе Забайкальского края в месте пересечения дорогой долины руч. Чичон, притока р. Нерча (рис. 5.1).



Рис. 5.1. Местонахождение участка деформаций автодороги «Амур» (М-58), км 247

Изыскания и проектирование участка дороги выполнены ОАО «Иркутскгипродорнии» в период с сентября 1996 г. по май 1997 г. Построенный ЗАО «Труд» участок дороги сдан в эксплуатацию 31.08.2000 г., принят на баланс ГУП «Читинское областное дорожное управление» с 1.01.2001 г.

Переход автодороги через руч. Чичон (рис. 5.2) осуществлен в виде высокой (до 20 м) насыпи из песчано-дресвяного грунта с водопропускной трубой диаметром 7,3 м из металлических гофрированных структур,

расположенной в русле ручья. Оголовки трубы укреплены отборным морозостойким камнем на 10,5-13,5 м по обе стороны трубы и на 1,3 м от ее верхней образующей. Толщина слоя камня – 40-50 см.



Рис. 5.2. Переход автодороги «Амур» через руч. Чичон, км 247, на момент сдачи участка в постоянную эксплуатацию, август 2000 г.
(фото из архива Иркутскгипродорнии)

5.1. Развитие деформаций участка в 2001-2006 гг.

Впервые деформации участка дороги были отмечены визуально в мае 2001 г., с января 2002 г. периодически визуальные обследования и фотографирование (рис. 5.3) производил ТранСИГЭМ с участием автора работы.

Время от времени выполнялось нивелирование поверхности участка дороги, которое фиксировало динамичное развитие деформаций [109, 123, 124]. Так измерения 2002 г. (в январе и в мае) показали (рис. 5.4), что на ПК 29 просадка поверхности дороги по сравнению с проектным положением на 8.01.2002 г. составляла 89 см, а на 7.05.2002 г. – уже 117 см. На ПК 30+87 в январе просадка не отмечалась (даже было зафиксировано превышение проектного положения на 5 см), в мае же была отмечена просадка на 28 см (на 33 см по сравнению с январским положением). Отмечалось также увеличение протяженности деформирующегося участка. Так, если в январе наиболее интенсивная просадка насыпи отмечалась на протяжении 200 м, то в мае – уже на 300 м. В 2005 г. просадка составила около 2 м (рис. 5.5).



Рис. 5.3. Состояние автодороги «Амур», км 247, на разные даты в 2002-2006 гг. (фото из архива ТранСИГЭМ)

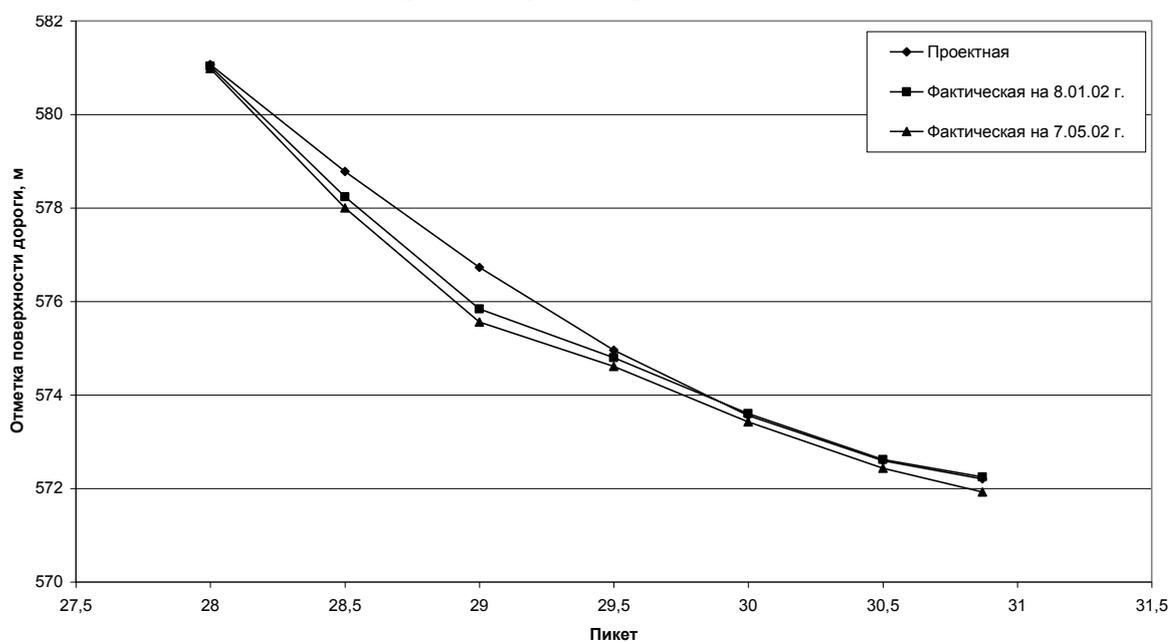


Рис. 5.4. Проектное и фактическое положение поверхности дороги «Амур», км 247, по ее оси в январе и мае 2002 г.

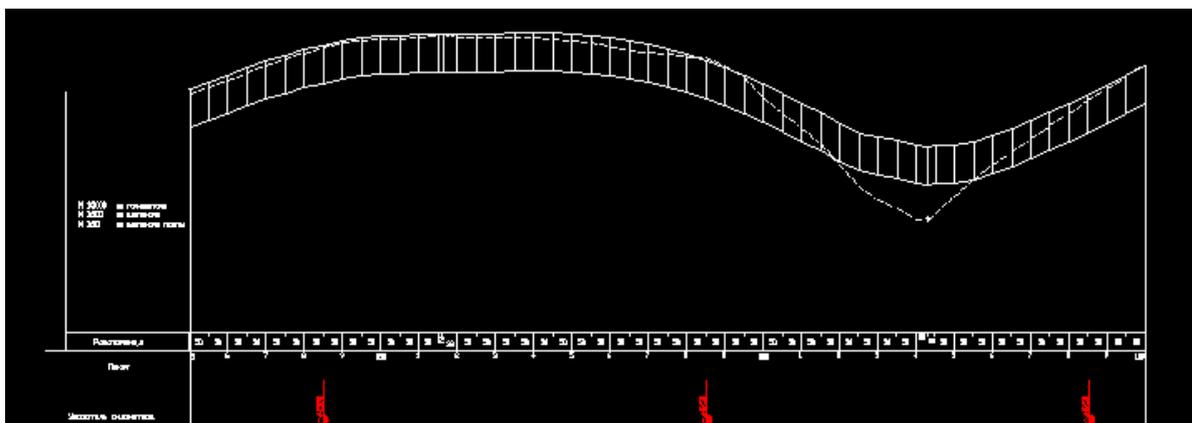


Рис. 5.5. Продольный профиль по оси дороги «Амур», км 247, лето 2005 г.

Земляное полотно дороги на участке имеет поперечные, продольные и диагональные трещины шириной от 1-2 до 15-20 см (рис. 5.6).



Рис. 6. Трещины на проезжей части автодороги «Амур», км. 247, январь 2003 г., через 2,5 года

Трещинами разбиты не только проезжая часть дороги, но и вся насыпь, а также поверхность у основания насыпи (рис. 5.7 и 5.8).



а



б

Рис. 5.7. Трещины в теле насыпи:
а – в нижней части, фото 7.05.2002 г.; б – в верхней, фото 13.07.2005 г.
 (фото из архива ТранСИГЭМ)



Рис. 5.8. Состояние откосов насыпи и прилегающей поверхности на участке деформаций автодороги «Амур», км 247, на 13.07.2005 г. (фото из архива ТранСИГЭМ)

Деформации земляного полотна, сопровождались деформациями металлического ограждения проезжей части дороги (рис. 5.9), причем сжатие металлических полос со временем сменялось их выпрямление, растяжением и разрывом вследствие разных по величине и направлению относительных перемещений разных массивов насыпи.



Рис. 5.9. Деформации северного металлического ограждения автодороги, км 247, 20.02.2002 г. (фото из архива ТранСИГЭМ)

Водопропускная труба каких-либо видимых деформаций не имела, проезжая часть над ней стабильна. Вместе с тем, перед трубой в зимний период наблюдалось образование достаточно обширной наледи (рис. 5.10), частично заполнявшей трубу. В годы интенсивного наледообразования наледь на руч. Чичон может представлять некоторую опасность. Пока же защитную функцию успешно выполнял грунтовый объезд участка (рис. 5.11).



Рис. 5.10. Наледь на руч. Чичон до восстановления грунтового объезда, 20.02.2002 г. (фото из архива ТранСИГЭМ)



Рис. 5.11. Наледь на руч. Чичон после восстановления грунтового объезда формируется в основном перед ним (фото из архива ТранСИГЭМ)

Дорога здесь направлена с запада на восток, откосы насыпи имеют южную и северную экспозиции. Соответственно они получают неодинаковое количество солнечной радиации, что предопределяет разные условия промерзания и оттаивания грунтов под различно ориентированными откосами. Это может сопровождаться различными по направлению и интенсивности деформациями южного и северного откосов насыпи, что также может представлять угрозу безопасности движения автомобилей.

Из-за деформаций, развивавшихся в 2001-06 гг., участок был признан аварийным, скорость движения ограничена до 40 при расчетной 100 км/час.

Периодически выполнялись ремонтные работы в виде засыпки просадок и выравнивания проезжей части дороги, выправки или замены ограждения. Должного эффекта они не давали (рис. 5.12).



Рис. 5.12. Состояние аварийного участка автодороги «Амур», км 247, на 27.07.2006 г. (фото из архива ТранСИГЭМ)

Участок нуждался в капитальном ремонте в связи с угрозой потери устойчивости насыпи, сползания ее и провалов проезжей части.

5.2. Капитальный ремонт участка в сентябре 2006 г.

В декабре 2005 г. кооператив «Азимут» по заказу ДСД «Дальний Восток» разработал проект восстановления участка автодороги «Амур» Чита-Хабаровск км 246+950 – км 247+150 [117], по которому ЗАО «Труд» в сентябре 2006 г. произвел капитальный ремонт участка (рис. 5.13, 5.14).



Рис. 5.13. Ремонт аварийного участка автодороги «Амур», км 247, 2.09.2006 г. (фото из архива ТранСИГЭМ)

Разработчики проекта инженерно-геокриологического обследования не проводили, ограничились визуальным осмотром участка и изучением фондовых материалов. Они не смогли разобраться в причинах длительных деформаций участка автодороги: в разных местах проекта говорится о разных процессах и явлениях, часто взаимоисключающих: об оползневых явлениях, о пластических деформациях, о суффозии, о «пластических подвижках слабых водонасыщенных льдистых вечномерзлых грунтов основания, связанных с суффозионно-наледными явлениями, которые вызваны нарушением температурно-влажностного режима грунтов прилегающей территории и нарушением стока подземных вод», о просадке насыпи, о просадке грунтов основания дороги.



Рис. 5.14. Состояние отремонтированного участка автодороги «Амур», км 247, на 18.10.2006 г. (фото из архива ТранСИГЭМ)

Наиболее умозрительными представляются утверждения проектантов о суффозии и каких-то «суффозионно-наледных явлениях», вызываемых будто бы напорными подземными водами, как причинах деформаций дорожной насыпи на участке. Нет таких вод на западном склоне долины руч. Чичон, где расположен участок деформаций дороги, как нет там и продуктов суффозии, т.е. выноса подземными водами мелкозема из-под насыпи. Если бы напорные воды разгружались из-под насыпи, это бы проявлялось летом в виде ключей, а зимой – в виде наледей возле подошвы насыпи. За 16 лет наблюдений такие явления не отмечались.

Проектные решения противодеформационных мероприятий, предложенные кооперативом «Азимут», не были обоснованы в мерзлотно-гидрогеологическом отношении и вызывают лишь недоумение.

Первое мероприятие: «Для устранения причины суффозионного выноса и просадки грунтов основания дороги необходимо осуществить перехват напорных подземных вод утепленным дренажом». Как мы уже отмечали, суффозионного выноса грунтов нет на участке, как нет и напорных подземных вод, от которых проектанты решили защищать автодорогу с помощью дренажа, размещаемого почему-то с нижней стороны насыпи.

Второе мероприятие: «Для восстановления температурно-влажностного режима прилегающей территории – засыпать овраги и ров, образованный по оси нагорной канавы местным грунтом с уплотнением и нарезать вновь нагорную канаву стандартного профиля». Какой температурно-влажностный режим проектанты собрались восстанавливать? Естественный? Предлагаемое мероприятие естественный режим не восстановит, а канава с нагорной стороны лишь ускорит оттаивание грунтов основания, что вызовет дальнейшую осадку насыпи.

Третье мероприятие: «Для выравнивания температурного режима тела насыпи дороги, которое в результате расположения откосов в направлении «север-юг» неравномерно прогревается, и ликвидации эрозионных процессов на откосах, необходимо укрыть откос

экспериментально проверенной укрепляющей композицией из высококремнеземистого и карбонатно-минерального сырья».

Проектанты видимо не смогли определить, где северный, а где южный откосы автодороги Чита-Хабаровск, идущей с запада на восток (см. рис. 5.3). Поэтому температурный режим насыпи не мог выровняться, вопреки ожиданиям проектантов, а стал еще более неодинаковым на северном и южном откосах, поскольку беловато-серой смесью покрыт только северный откос, на который и так во много раз меньше поступает солнечной радиации, чем на южный.

А как покрытие «ликвидировало эрозионные процессы на откосе» видно на рис. 5.16а и 5.18.

На ремонт 150 м дороги было затрачено около 10 млн. рублей, но стабилизации участка не произошло. Просадки земляного полотна продолжались, тело его разбито трещинами, ограждение деформируется.

5.3. Развитие деформаций участка после капитальных ремонтов в 2006, 2009 и 2010 гг.

Как и следовало ожидать, усилия ДСД «Дальний Восток», кооператива «Азимут» и ЗАО «Труд» по стабилизации участка федеральной дороги «Амур» на переходе через руч. Чичон, км 247, оказались тщетны.

Не прошло и месяца (рис. 5.15), как вновь были замечены трещины на откосе и бровке насыпи (рис. 5.16). Вскоре стало очевидно, что деформации участка продолжают по прежнему сценарию (рис. 5.17-5.22).



Рис. 5.15. Состояние федеральной автодороги «Амур» Чита-Хабаровск, км 247 на 10.10.2006 г. (фото из архива ТранСИГЭМ)



Рис. 5.16. Трещины на откосе и бровке насыпи на участке автодороги «Амур», км 247, на 24.10.2006 г. (фото из архива ТранСИГЭМ)



Рис. 5.17. Состояние федеральной автодороги «Амур» Чита-Хабаровск, км 247 на 26.01.2007 г. (фото из архива ТранСИГЭМ)

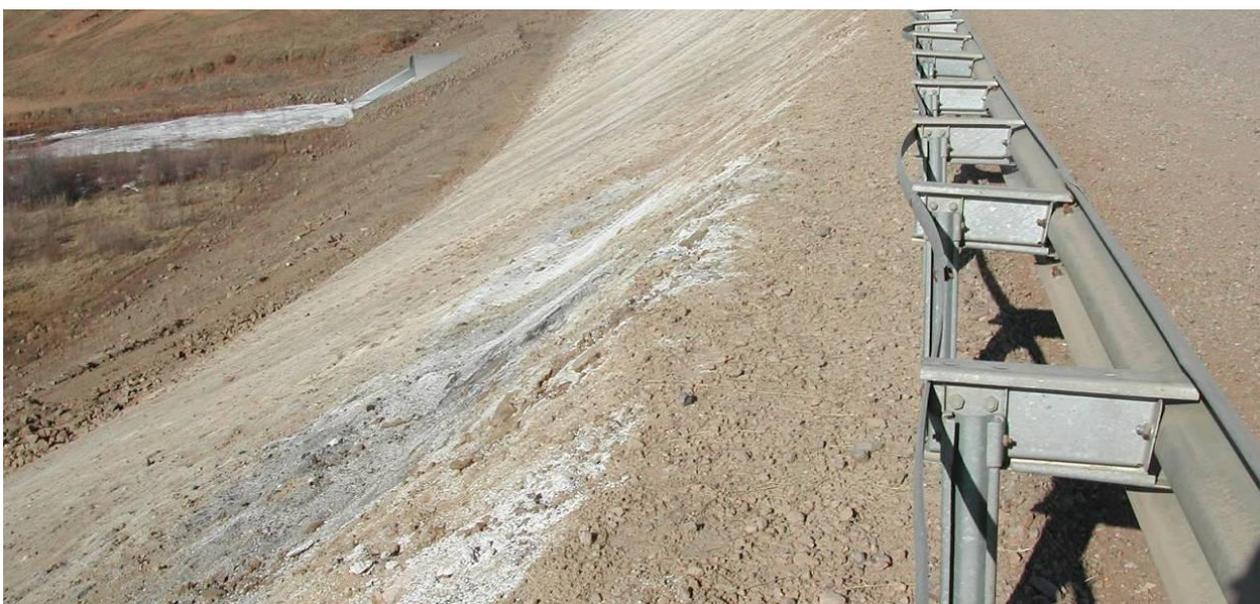


Рис. 5.18. Состояние федеральной автодороги «Амур» Чита-Хабаровск, км 247 на 25.04.2007 г. (фото из архива ТранСИГЭМ)



Рис. 5.19. Состояние федеральной автодороги «Амур» Чита-Хабаровск, км 247 на 7.07.2007 г. (фото из архива ТранСИГЭМ)



Рис. 5.20. Состояние автодороги «Амур» Чита-Хабаровск, км 247 на 11.08.2007 г. (фото из архива ТранСИГЭМ)



Рис. 5.21. Состояние «Амур» Чита-Хабаровск, км 247 на 11.08.2007 г. (фото из архива ТранСИГЭМ)



Рис. 5.22. Трещины (а) и промоины (б) на участке автодороги «Амур», км 247 на 7.07.2007 г. (а) и на 11.08.2007 г. (б) (фото из архива ТрансИГЭМ)

Фотографии настолько убедительны, что комментарии излишни. Отметим лишь, что такие деформации и трещины появились, а точнее, проявились, когда и года не прошло после капитального ремонта участка, причем основная часть времени пришлась на зимний период и засуху в Забайкалье. В дождливое лето, когда вода проникнет в тело насыпи, возможны провалы на проезжей части дороги и расползание насыпи.

Проект кооператива «Азимут» был неверен по сути: не было детального изучения геокриологической обстановки и не сделана оценка дальнейших ее изменений, не правильно определены причины деформаций и, соответственно, не обоснованы стабилизационные мероприятия. Результат реализации ДСД «Дальний Восток» такого проекта очевиден: напрасно потрачены средства и упущено время. Через 2 года, в августе 2008 г., участок снова ремонтировали (рис. 5.23), но деформации продолжались (рис. 5.24)



Рис. 5.23. Второй ремонт участка автодороги «Амур», км 247, 27.09.2008 г. (фото из архива ТрансИГЭМ)



Рис. 5.24. Состояние участка автодороги «Амур», км 247, на 20.07.2010 г., через 9 месяцев после второго ремонта и асфальтирования на завершающей стадии её строительства (фото из архива ТранСИГЭМ)

В августе 2010 г., перед проездом В.В. Путина по автодороге «Амур» был произведен третий ремонт участка и 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 (рис. 5.25 и 5.26).



Рис. 5.25. Третий ремонт участка автодороги «Амур», км 247, 22 августа 2010 г. (фото из архива ТранСИГЭМ)



Рис. 5.26. Третий ремонт участка автодороги «Амур», 247 км, сентябрь 2010 г (фото из архива ТранСИГЭМ)

И этот ремонт положительных результатов не дал (рис. 5.27-5.29), поскольку стабилизационные мероприятия, как и при предыдущем ремонте в 2009 г., назначались волевым решением руководства ДСД «Дальний Восток», без необходимого инженерно-геокриологического обследования.



Рис. 5.27. Состояние участка автодороги «Амур», км 247, на 1.04.2011 г., через 7 месяцев после третьего ремонта (фото из архива ТранСИГЭМ)



Рис. 5.28. Поперечные трещины на участке автодороги «Амур», км 247, 1.04.2011 г. (фото из архива ТранСИГЭМ)

Таким образом, изложенное свидетельствует о том, что изначально неправильно был выбран принцип проектирования земляного полотна на

участке – второй, с допущением оттаивания вечномёрзлых грунтов основания, местами льдистых и сильнольдистых. Здесь необходимо было применить первый принцип проектирования – сохранение льдистых грунтов основания в постоянно-мерзлом состоянии, поскольку из-за большой их мощности вырезать их заблаговременно не представлялось возможным.



Рис. 5.29. Состояние участка автодороги «Амур», км 247, на 20.07.2011 г., через 11 месяцев после третьего ремонта (фото из архива ТранСИГЭМ)

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), изначально были обречены на провал, поскольку не устраняли главную причину деформаций участка – деградацию многолетнемерзлых грунтов основания насыпи.

5.4. Анализ мероприятия, предложенные в 2011-13 гг. для стабилизации участка автодороги «Амур»

ООО «СметаПлюс» по контракту с ФГУ Упрдор "Забайкалье" в 2011-2013 гг. разработало проектную документацию для капитального ремонта автомобильной дороги Р-297 «Амур» Чита-Невер-Свободный-Архара-Биробиджан-Хабаровск км 246+500 – км 247+500 в Забайкальском крае. Основными целями и задачами проектировщик провозгласил «разработку

оптимальных, обоснованных, экономически целесообразных и эффективных функционально-технологических, конструктивных и инженерно-технических решений при восстановлении транспортно-эксплуатационного состояния участка автомобильной дороги⁸».

Обследованием ООО «СметаПлюс» установлено, что «на участке ПК 2+00 – ПК 5+00 автомобильная дорога находится в неудовлетворительном состоянии, в земляном полотне длительное время развиваются опасные деформации дороги в виде просадок, продольных и диагональных трещин откосов, трещины на покрытии. Максимальное раскрытие трещин – до 80 см, суммарная осадка верха дороги за 12 лет составили 4,4 м. Участок автодороги является аварийным, а скорость движения транспорта ограничена до 30 км/ч при расчетной скорости 100 км/ч. Периодические ремонты должного эффекта не дают: опасные деформации продолжают развиваться, сохраняется угроза потери устойчивости насыпи, ... просадка обусловлена оттаиванием льдистых грунтов основания насыпи, ... в основании насыпи залегают грунты, обладающие низкой несущей способностью при оттаивании. ... При решении задачи возведения новой насыпи на месте прежней необходим целый ряд мероприятий по сохранению мерзлотных условий в основании насыпи».

Суть мероприятий приводится ниже и иллюстрируется на рис. 5.30.

«Учитывая характер деформаций земляного полотна, а также основываясь на данных инженерно-геологических изысканий и наблюдений за участком деформаций основным направлением при разработке проекта принят первый принцип проектирования земляного полотна в зоне распространения вечной мерзлоты».

«В связи с невозможностью стабилизации существующего земляного полотна проектом предусмотрена разборка насыпи на участке распространения деформаций до верхнего горизонта вечной мерзлоты. ...

⁸ Стиль и орфография текста, выделенного кавычками, здесь и далее, в основном сохранены такими же, как в оригинале – материалах ООО «СметаПлюс»

После разборки существующего земляного полотна необходимо устроить технологический перерыв для понижения температуры толщи ВМГ путем промораживания его на глубину 1 м».

«По окончании первого технологического перерыва предусмотрена отсыпка основания земляного полотна и возведение тела насыпи из кавальера ранее разработанного грунта с послойным уплотнением и промораживанием ... Толщину слоя проморозки принимаем 0,3 м, работы по устройству холодного ядра должны быть закончены не позднее первой половины февраля следующего года. Откосные части «холодного ядра» формируются уступами для предотвращения сползания сезонно оттаивающего грунта, расположенного выше. Ширина ступени принимается 2 м, уклон 20%. По окончании работ по устройству «холодного ядра», с целью предотвращения оттаивания мерзлого грунта, предусмотрена укладка теплоизоляции «Пеноплекс» в тело насыпи на глубину не менее сезонного оттаивания грунта земполотна».

«Учитывая косогорный характер рельефа и необходимость отвода грунтовых вод, проектом предусмотрено устройство гидроизоляционной пленки в теле насыпи с заведением ее в слой вечной мерзлоты на 2 метра от подошвы насыпи с верховой стороны косогора для предотвращения попадания грунтовых вод в тело насыпи... Также предусмотрено устройство каптажного дренажа в земляном полотне Дренажную систему необходимо укладывать в траншею на верхний горизонт вечной мерзлоты т.к. она является водоупором, и теплоизолировать трубы снизу и по бокам, для предотвращения замерзания воды... Для эффективной работы дренажа, предусмотрена отсыпка прослойки дренирующего (щебенистого) грунта толщиной 1 м, по верху дренажной системы. Прослойка должна располагаться по кровле ММГ от начала котлована, перекрывая дренажные трубы на 0,5 м. Для обеспечения поверхностного водоотвода проектом предусмотрено устройство банкета с нагорной стороны земляного полотна, банкет укрепляется объемной георешеткой».

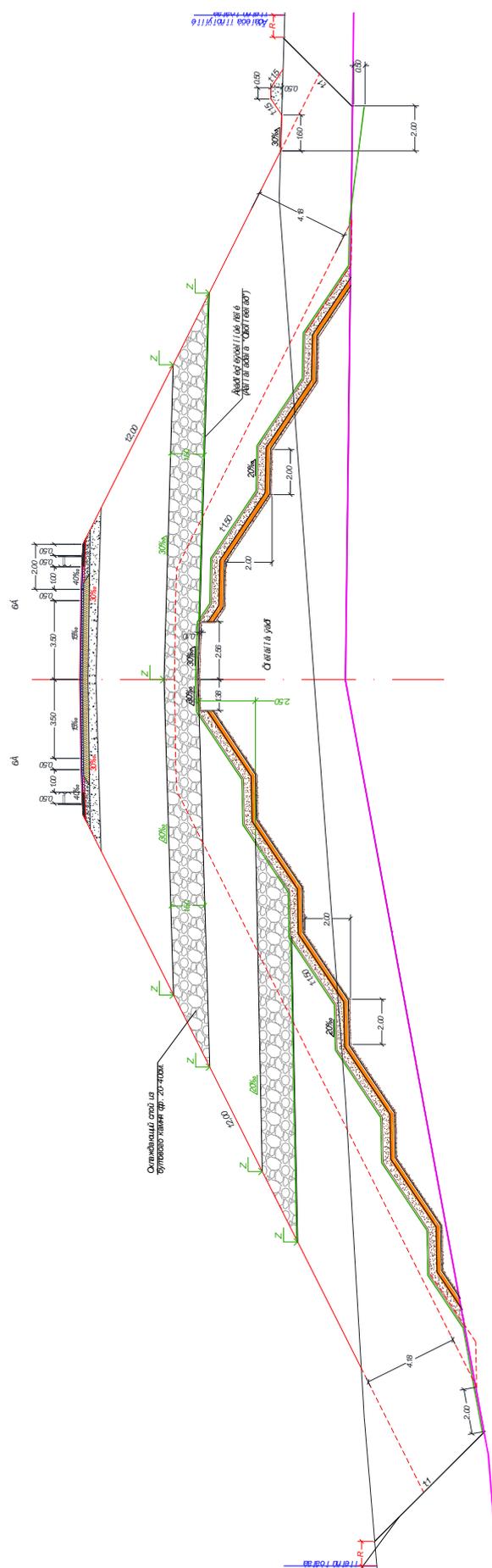


Рис. 5.30. Конструкция земляного полотна на аварийном участке автодороги «Амур», км 247, предложенная ООО «СметаПлюс»

«Проектной документацией предусмотрено устройство каптажного дренажа из полиэтиленовых труб «Перфокор П» с наружным диаметром 500 мм. Учитывая, что водоупором в данном случае является верхний горизонт ММГ, трубы необходимо теплоизолировать во избежание замерзания воды в дренажной системе, включающей в себя: полиэтиленовые перфорированные трубы $d = 0.5$ м; полиэтиленовые смотровые колодцы; дренирующий материал – щебень фракции 70-120 мм, щебень фракции 40-70 мм; противодиффузионный экран; противозаиливающий материал геотекстиль «Дорнит». «Смотровые колодцы из полиэтилена устанавливаются на прямых участках, в местах поворотов и перепадов дренажа, изменения уклонов труб. Расстояния между колодцами на прямых участках назначено через 50 м. Глубина колодцев определена глубиной заложения дренажа. Диаметр шахты и горловины колодца приняты равными 1000 мм... Вода из дренажа отводится в низины и другие естественные водоприемники, где устраивается сброс воды ... на участках выхода в сброс устраивается теплоизоляция трубы из шлака».

«По верху теплоизоляции устраивается оставшая часть насыпи из грунта кавальера и привозного грунта, разрабатываемого в карьере. Также в теле насыпи предусмотрены естественно вентилируемые прослойки из каменного материала (бутового камня 20-40 см) толщиной 1,5 м. Верхняя прослойка проходит через все тело насыпи и устраивается по верху «холодного ядра», при этом теплоизоляция в месте сопряжения «холодного ядра» и вентилируемой прослойки, не устраивается. При устройстве прослоек предусмотрена гидроизоляция из геомембраны понизу вентилируемого слоя для предотвращения попадания поверхностных вод в тело насыпи».

«Для обеспечения прочности, устойчивости, морозоустойчивости и сохранности дорожной одежды ... предусмотрена отсыпка верхнего слоя земляного полотна (рабочего слоя) из щебеночно-песчаной смеси толщиной 0,78 м».

«Проектной документацией предусмотрено усиление верха земляного полотна георешеткой Tensar TX 160 ... Совместная работа георешетки и крупнозернистого материала позволит создать «жесткую» прослойку, которая обеспечит равномерное распределение нагрузки на подстилающие грунты и, соответственно, не допустит возможности развития неравномерных деформаций конструкции».

«С целью уменьшения воздействия солнечной радиации на поверхность земляного полотна проектом предусмотрено укрепление откосов насыпи объемной георешеткой с заполнением растительным грунтом и двойным посевом трав».

Конструкция дорожной одежды принята в виде «двухслойного покрытия: верхний слой покрытия из щебеночно-мастичного асфальтобетона толщиной 0,05 м, нижний слой из горячего крупнозернистого пористого асфальтобетона марки I, толщиной 0.07 м, на однослойном основании из фракционированного щебня, уложенного по способу заклинки, толщиной 0.25 м по дополнительному слою основания из ЩПС С-4 толщиной 0.35 м, с предварительной укладкой геосетки Tensar TX-160».

Кроме того, проектом предусмотрена «организация движения транзитного транспорта на время проведения восстановительных работ по временной объездной дороге..., предусмотрено восстановление существующей объездной дороги и доведение ее геометрических параметров до нормативных значений. Временная объездная дорога запроектирована на всем протяжении в насыпи с целью сохранения мохо-растительного покрова и недопущения оттаивания многолетнемерзлых грунтов. В месте пересечения оси временной объездной дороги с логом р. Чичон предусмотрено устройство водопропускной трубы. Учитывая ежегодно проявляющийся процесс наледообразования при проектировании было принято решение после окончания работ по возведению земляного полотна и запуска движения по основной автомобильной дороге использовать участок объездной дороги ПК5+00 – ПК8+50 как противоналедное сооружение, для

этого металлическая гофрированная труба на ПК 7+03 подлежит демонтажу, а на ее месте устраивается прорезь в насыпи, укрепленная матрацами «Рено» В качестве наледезадерживающего сооружения проектом предусмотрено устройство металлической сетки, закрепленной между 2-х столбов».

Анализируя предложенные ООО «СметаПлюс» стабилизационные мероприятия для деформирующегося второе десятилетие участка автодороги «Амур» на переходе через руч. Чичон необходимо, прежде всего, отметить, что авторы проекта правильно понимают причину деформаций участка дороги (деградация многолетней мерзлоты в основании насыпи) и правильно ориентируют стабилизационные мероприятия на прекращение этого процесса. ООО «ТранСИГЭМ» писало об этом ещё 10 лет назад [103].

Однако, предложенные в проекте ООО «СметаПлюс» стабилизационные мероприятия, едва ли будут успешными. Они во многом умозрительны и не обоснованы теплотехническими расчетами (математическим моделированием).

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. Главное, прекратить дальнейшую деградацию многолетней мерзлоты под насыпью.

Мероприятие 2 – консервация «холодного ядра» в насыпи с помощью теплоизоляции. Утопия, 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.

Мероприятие 3 – размещение гидроизоляционной пленки над «холодным ядром» для предотвращения попадания грунтовых вод в тело насыпи, а также устройство в земляном полотне каптажного дренажа из полиэтиленовых труб с полиэтиленовыми смотровыми колодцами. На участке нет потока таких вод в земляном полотне, соответственно, и защита от них не нужна. Необходима защита поверхности и откосов насыпи от теплых дождевых вод, выпадающих здесь в основном в июле-августе и составляющих около 70% годовой суммы осадков.

Мероприятие 4 – устройство банкета в нагорной стороне земляного полотна для обеспечения поверхностного водоотвода. Нет необходимости в этом, т.к. дождевые воды свободно стекают по существующей задернованной поверхности.

Мероприятие 5 – размещение в теле насыпи естественно вентилируемых прослоек из бутового камня. Малоэффективное мероприятие в условиях преобладания безветренной погоды в зимний период, а размещение каменных прослоек над теплоизоляцией практически полностью исключит их охлаждающее воздействие на «холодное ядро».

Мероприятие 6 – укрепление откосов насыпи засевом многолетних трав с целью уменьшения воздействия солнечной радиации на поверхность земляного полотна. Малоэффективное и даже вредное мероприятие, поскольку незначительный эффект затенения поверхности откосов травяным покровом будет снижен отепляющим влиянием более рыхлого и мощного снежного покрова на техногенной травяной поверхности по сравнению с поверхностью с естественной растительностью.

Таким образом, правильно понимая причину многолетних деформаций автодороги «Амур» на переходе через руч. Чичон и направление возможных стабилизационных мероприятий, ООО «СметаПлюс» предложило громоздкий, дорогостоящий и не эффективный набор мероприятий. Они во

многим умозрительны и не обоснованы теплотехническими расчетами. Реализация их не приведет к длительной стабилизации участка, будут напрасно потрачены средства и потеряно время, как и при предыдущих ремонтах участка в 2006, 2008 и 2010 гг. Поражает размах проектировщиков: почти полмиллиарда рублей на 300 м дороги, в 2006 г. ремонт участка обошелся в 10 млн., правда и он оказался бесполезным. Проект нуждается в коренной переработке⁹, поскольку не решает главной задачи – стабилизации участка, а стоимость его реализации чрезмерна. Необходимо разработать другие технические решения, которые позволят не только стабилизировать участок и предотвратить дальнейшее опасное развитие деформаций автодороги «Амур» на переходе через долину руч. Чичон, но и кардинально уменьшить стоимость и продолжительность ремонта.

5.5. Инженерно-геокриологические условия участка автодороги

По данным изысканий Иркутскгипродорнии в 1996-97 гг. [122] на участке перехода автодороги через руч. Чичон на разведанную глубину 25 м развиты четвертичные аллювиальные, делювиальные и элювиальные рыхлые отложения и дочетвертичные коренные полускальные и скальные породы. До глубины 12,8-14,4 м залегают аллювиальные отложения, представленные переслаивающимися песками разной крупности, гравийно-галечниковыми отложениями с песчаным, супесчаным и суглинистым заполнителем, супесями, суглинками гравелистыми и глинами. Местами супеси, суглинки и глины слабо и средне заторфованные. В интервале от 12,8-14,4 до 15,8-18,7 м залегают делювиально-элювиальные дресвяно-щебенистые грунты, щебенистые супеси и суглинки. Ниже залегают разной степени выветрелости песчаники и аргиллиты (низкой прочности, малопрочные, средней прочности и прочные).

⁹ Упрдор "Забайкалье" и ООО «СметаПлюс» пытались в июле 2013 г. получить поддержку научно-технического совета Росавтодора, однако после критики ООО «ТрансИГЭМ», проект был отправлен на доработку

На участке имеет место островная, высокотемпературная вечная мерзлота со сложной конфигурацией кровли и подошвы многолетнемерзлой толщи. Буровыми скважинами вечная мерзлота была обнаружена повсеместно с кровлей на 2,9-12,3 м и подошвой на 15,1-17,8 м. В районе пикета 30+79 в интервале 6,4-8,1 м скважиной были вскрыты талые породы. Температура многолетнемерзлых грунтов на глубинах 12-15 м по измерениям в 6 скважинах на момент изысканий наиболее часто была $-0,2^{\circ}$. Многолетнемерзлые дисперсные грунты нередко имеют высокую льдистость. При оттаивании они становятся водонасыщенными и просадочными. Сезонно-талый слой часто обводнен с глубины 0-1,8 м.

Контрольное бурение 2 скважин по оси дороги на глубину 30 м от ее поверхности, выполненное Проектной конторой Читинавтодора 21-28 мая 2002 г. [123], подтвердило описанную выше мерзлотно-геологическую ситуацию, главной особенностью которой является наличие в основании насыпи льдистых многолетнемерзлых дисперсных грунтов, способных при оттаивании давать значительную осадку и становиться текучими, в особенности под давлением насыпи высотой до 20 м.

Скважина № 220, расположенная на ПК 29¹⁰ – в месте наибольших на 7.05.2002 г. деформаций земляного полотна, показала, что на момент бурения (21-25.05.2002 г.) насыпь из песчано-дресвяного грунта, местами с включением глыбового грунта, уже оттаяла с поверхности до глубины 1,6 м, однако ниже до глубины 4,7 м она находилась в сезонно-мерзлом состоянии.

Дальше вся насыпь (до глубины 16,1 м) была в не мерзлом состоянии.

В основании насыпи залегала талая супесь мощностью 2,3 м, причем в верхнем прослое (мощностью 0,5 м) супесь была пластичной, в среднем (0,6 м) – твердой, а в нижнем (1,2 м) – текучей.

Ниже до забоя скважины, на протяжении 11,6 м, грунты находились в многолетнемерзлом состоянии. Многолетнемерзлая толща практически вся льдистая и сильнольдистая. Льдистые горизонты представлены супесчаными

¹⁰ По пикетажу Иркутскгипродорнии скважина № 220 расположена на ПК 122+55 влево 1.

и суглинистыми грунтами со слоистой криогенной текстурой, а также песками гравелистыми, крупными и средней крупности с массивной и базальной криогенными текстурами. Сильнольдистый прослой мощностью 1.6 м залегает в интервале 21,2-22,8 м и представлен илом суглинистым с примесью органики со слоистой и сетчатой криогенными текстурами. В интервале 21,4-21,6 м обнаружен прослой льда толщиной 15 см. При оттаивании супеси, суглинки и илы – текучие, пески – водонасыщенные.

Малольдистые грунты, представленные глиной с массивной криогенной текстурой, твердые при оттаивании обнаружены только с глубины 29,7 м и прослежены скважиной всего на 0,3 м.

Надмерзлотные воды вскрыты непосредственно под насыпью.

Скважина № 221 пробурена 25-28 мая 2002 г. на ПК 28 – в месте, где деформации еще не наблюдались. Насыпь также сложена песчано-гравийным грунтом, но имеет меньшую мощность – 9.1 м. Сезонно-мерзлый слой в насыпи зафиксирован в интервале 2-4.7 м.

Ниже вся насыпь не мерзлая.

В основании её – талый слой суглинка мощностью 4.5 м, причем в его верхней части (мощностью 0,7 м) суглинок полутвердый с прослойками мелкого маловлажного песка, в средней части (2 м) – суглинок тугопластичный с прослойками гравелистого песка водонасыщенного с глубины 10,5 м, а в нижней (1.8 м) – суглинок тугопластичный с прослоями текучепластичного.

Верхняя часть многолетнемерзлой толщи (мощностью 1,8 м) сложена малольдистыми суглинком и супесью с массивной криогенной текстурой, полутвердыми и твердыми при оттаивании.

Ниже до забоя скважины на протяжении 14.6 м отмечается переслаивание льдистых суглинков и песков гравелистых, крупных и средней крупности преимущественно слоистой и базальной криогенных текстур. При оттаивании суглинки текучие и мягкопластичные, а пески – водонасыщенные.

Уровень залегания надмерзлотных вод под насыпью находится на 1,4 м ниже ее подошвы.

Инженерно-геологические изыскания Иркутскгипродорнии, проведенные в 2005 г. под II стадию строительства автодороги [124] включали бурение 5 скважин глубиной 21-26 м по поперечнику на ПК 122+55, охватывающего с обеих сторон естественные условия, подножия насыпи и ось автодороги; электропрофилирование с шагом 50 м по 5 профилям, расположенным на обочинах дороги, на берме и у подножий насыпи; вертикальное электроразведывание с разносами электродов АВ до 50 м в 60 точках наблюдений. Некоторые результаты буровых работ приводятся ниже.

Скважина № 128, расположенная на проезжей части дороги на ПК 122+56 влево 4, глубиной 24 м, показала, что на момент бурения (6.12.2005 г.) насыпь из преимущественно супеси песчанистой щебенистой мощностью 17 м находилась в талом (не мерзлом) состоянии.

В основании насыпи залегал талый суглинок мощностью 4,4 м, причем в верхнем прослое (мощностью 1,5 м) суглинок был тугопластичный, в среднем (1,5 м) – твердый, а в нижнем (1,4 м) – мягкопластичный.

Ниже до забоя скважины, на протяжении 2,6 м, прослежен мерзлый льдистый суглинок легкий песчанистый с примесью органических веществ, с массивной криогенной текстурой.

Скважина № 143 расположена у южного подножия насыпи на ПК 122+55 вправо 42, глубиной 21 м. На момент бурения (6.12.2005 г.) грунт до глубины 5,4 м талый, представлен с поверхности до глубины 1,9 м суглинком тяжелым пылеватым слабозаторфованным полутвердым и легким песчанистым тугопластичным, а ниже – песком средней крупности и гравелистым рыхлым малой степени водонасыщения.

Ниже до забоя скважины, на протяжении 15,6 м – мерзлый слабольдистый грунт с массивной криогенной текстурой, преимущественно

песок средний, крупный и гравелистый с прослоями гравия и глины легкой пылеватой.

Скважина № 146, расположенная у северного подножия насыпи на ПК 122+55 влево 47, глубиной 21 м, показала, что на момент бурения (8.12.2005 г.) грунт до глубины 4,4 м находился в талом состоянии и был представлен с поверхности до глубины 0,3 м суглинком легким песчанистым полутвердым, а ниже – песком пылеватым средней плотности средней степени водонасыщения – до глубины 2,2 м, ниже – водонасыщенным.

Ниже до забоя скважины, на протяжении 16,6 м, прослежен мерзлый слабобльдистый грунт (за исключением интервала 5,9-6,8 м, где зафиксирован прослой льда толщиной 0,9 м) представленный преимущественно песком средним, крупным и гравелистым с прослоями супеси песчанистой, суглинка легкого песчанистого и гравия, с массивной криогенной текстурой.

Скважина № 144, расположена в естественных условиях южнее насыпи на ПК 122+55 вправо 51, глубиной 26 м. На момент бурения (7.12.05 г.) грунт до глубины 4,9 м талый, представлен с поверхности до глубины 2,4 м суглинком легким песчанистым тугопластичным, а ниже – песком крупным рыхлым малой степени водонасыщения.

Ниже до забоя скважины на протяжении 21,1 м – мерзлый слабобльдистый грунт с массивной криогенной текстурой, представлен преимущественно песком крупным, средним и гравелистым с прослоями гравия и суглинка тяжелого пылеватого.

Скважина № 145, расположенная в естественных условиях севернее насыпи на ПК 122+55 влево 75, глубиной 26 м, показала, что на момент бурения (8.12.05 г.) грунт до глубины 5,2 м находился в талом состоянии и был представлен супесью песчанистой твердой.

Ниже до забоя скважины, на протяжении 20,8 м, прослежен мерзлый слабобльдистый грунт, представленный преимущественно песком мелким, крупным, средним и гравелистым, в интервале 7,4-15,3 м с прослоями супеси

песчанистой и суглинка легкого пылеватого с примесью органических веществ, с массивной криогенной текстурой.

Наличие льдистых многолетнемерзлых пород на участке подтверждено геофизическим и буровыми работами 2011 г. (рис. 5.31).

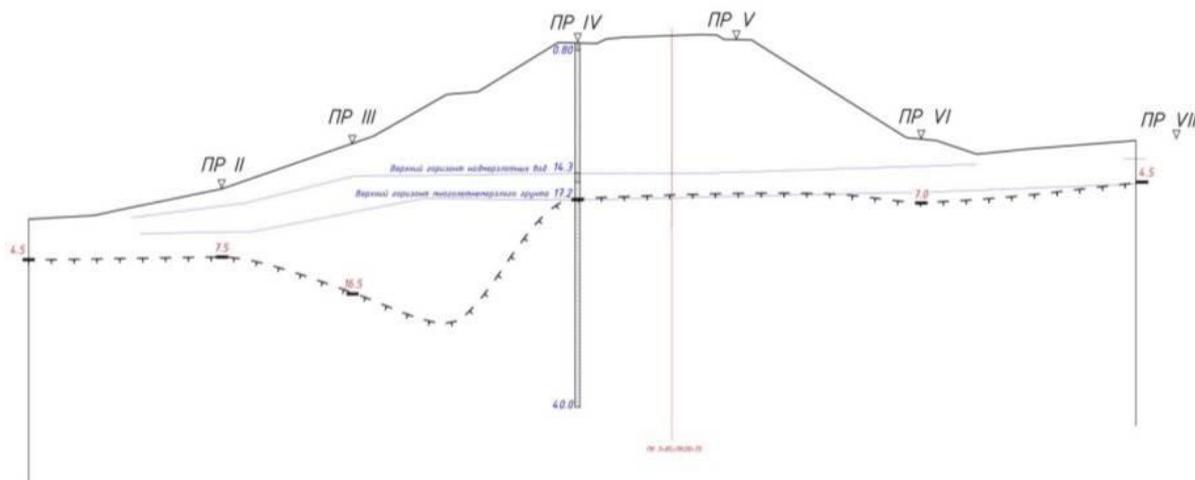


Рис. 5.31. Положение кровли многолетнемерзлых пород по поперечнику ПК 28+75 по данным электротомографии и бурения в 2011 г.

Так скважиной № 1а, пробуренной ООО «СметаПлюс» 21.06.11 г. в полосе отвода на ПК 3+63.5 = 28+70 влево 44.0 м мёрзлые породы были вскрыты на глубине 1 м и имели следующий разрез: 1,0-1,2 – песок крупный льдистый; 1,2-3,5 – супесь песчанистая малольдистая твёрдая с примесью органического вещества; 3,5-5,0 – супесь песчанистая малольдистая с примесью органического вещества; 5,0-6,0 – лёд; 6,0-7,5 – супесь песчанистая малольдистая с примесью органического вещества; 7,5-13,0 – суглинок легкий песчанистый льдистый с примесью органического вещества; 13,0-16,0 – песок гравелистый льдистый. Скважина, пробуренная ООО «Дормостпроект» в декабре 2011 г. на левой берме, показала разрез: 0.0-0.8 – дресвяный грунт; 0,8-14.3 – песок маловлажный; 14,3-15,3 – суглинок мягкопластичный с примесью органики; 15,3-17,2 – песок водонасыщенный; 17,2-40,0 м – песок крупный мерзлый.

Таким образом, и при изысканиях 1996-1997 гг. и 2005 г., и при контрольном бурении 2002 г. и 2011 г., а также геофизическими исследования в 2011 г. [63] (рис. 5.31), установлено, что в основании автомобильной дороги на западном склоне долины руч. Чичон находится

достаточно мощная (порядка 20-30 м) толща многолетнемерзлых дисперсных пород различного литологического состава, криогенного строения и льдистости, способных при оттаивании быть как полутвердыми и твердыми, так и пластичными, текучими, слабопросадочными и сильнопросадочными.

5.6. Причины деформаций и пути стабилизации участка автодороги

Деформации насыпи и других элементов дороги на исследуемом участке обусловлены происходящей после сооружения насыпи деградацией многолетнемерзлой толщи в основании земляного полотна. Южный откос и основная площадка оголенной насыпи из дренирующего грунта хорошо прогреваются в условиях повышенной солнечной радиации в Забайкалье. Этому же способствует фильтрация теплых летних осадков в тело и основание насыпи. А поскольку высота насыпи значительно превышает глубину потенциального сезонного промерзания слагающих насыпь грунтов (порядка 5 м), то нижняя часть насыпи и прилегающие к ней грунты основания оказываются постоянно в не мерзлом и оттаявшем состояниях и вызывают дальнейшее оттаивание многолетнемерзлой толщи в основании.

Это подтвердило контрольное бурение скважин Проектной конторой Читиноблавтодора в мае 2002 г. [123]. За зиму 2001-2002 гг. насыпь промерзла лишь до глубины 4,7 м, ее ядро было не мёрзлым, а под насыпью постоянно талый грунт имел мощность 2,3-4,5 м уже через 5 лет после ее сооружения.

Скважины, пробуренные Иркутскгипродорнии в декабре 2005 г. [124], также подтвердили вывод о том, что причиной деформаций автодороги на участке является оттаивание многолетнемерзлых грунтов в основании. Так скважина № 128 показала, что вся насыпь (17 м) и часть ее основания (4,4 м) находились в талом (не мёрзлом) состоянии. Сравнение данных скважин № 220 и № 128, расположенных в 1 м друг от друга, показывает, что за 3,5 года

с конца мая 2002 г. по начало декабря 2005 г. кровля многолетнемерзлой толщи опустилась с 2,3 м до 4,4 м от подошвы насыпи, т.е. на 2,1 м.

Оттаивание и уплотнение основания насыпи вызывают ее разуплотнение, осадку и расползание. Тело насыпи при этом растрескивается, при попадании в них атмосферных осадков процесс деформирования насыпи усиливается.

Различия литологического состава, криогенного строения и льдистости грунтов основания, как по глубине, так и по простиранию, что ясно видно из анализа разрезов скважин, обуславливают неравномерность в пространстве и во времени развития осадок, уплотнения и смещения грунтов при оттаивании в разных частях основания насыпи и соответственно ее деформаций. Этому же способствует различная степень обводненности оттаявших в основании насыпи грунтов вследствие разного их гипсометрического положения и различий литологического состава грунтов.

Эти выводы полностью подтверждаются постоянными интенсивными деформациями автодороги, наблюдаемыми с 2001 г. по настоящее время.

Поскольку в основании насыпи мощность многолетнемерзлых пород местами превышает 20 м, по опыту изучения аналогичных процессов под земляным полотном Забайкальской ж.д. [36], следует ожидать, что деградация мерзлоты такой мощности в основании насыпи и соответственно ее деформации естественным путем могут происходить многие десятки лет. Поэтому должны быть разработаны активные мероприятия по стабилизации участка дороги.

Учитывая, что:

- 1) деформации автодороги на исследованном участке происходят вследствие деградации льдистых дисперсных многолетнемерзлых грунтов в основании насыпи под воздействием ее большого отепляющего влияния (оголенная поверхность насыпи поглощает много солнечной радиации, насыпь из дренирующего грунта легко инфильтрует теплые летние осадки, толстый слой насыпи защищает талые грунты основания от зимнего

промерзания), а оттаивающие грунты основания деформируются, вызывая в свою очередь деформации земляного полотна и других элементов дороги;

2) потенциальные возможности дальнейшего развития деформаций автодороги на участке достаточно велики, поскольку в основании все еще остается около 20 м многолетнемерзлого дисперсного грунта, причем около 10 м льдистого, просадочного и текучего при оттаивании – процесс деградации вечной мерзлоты и соответственно деформации земляного полотна в сложившихся условиях могут продолжаться десятки лет, стабилизационные мероприятия должны быть направлены, прежде всего, на прекращение дальнейшей деградации вечной мерзлоты в основании земляного полотна дороги.

При выборе возможных вариантов стабилизационных мероприятий нами учтен отечественный [36, 38, 39] и зарубежный опыт [100-104] укрепления основания земляного полотна дорог на сильнольдистых вечномерзлых грунтах.

В качестве перспективных рассмотрены мероприятия:

- основанные на регулировании естественных отепляющих и охлаждающих факторов, снижающих летний прогрев насыпи и прилегающей территории и усиливающих зимнее охлаждение их (светоотражающая окраска, навесы, снегоочистка, противодиффузионная пленка, каменная наброска) [30, 47, 48];

- основанные на интенсивном охлаждении основания насыпи с помощью поперечных вентиляционных труб [49], наклонных сезонно-действующих устройств или горизонтальных естественно действующих трубчатых систем [50] в сочетании с теплоизоляцией;

- основанные на комбинировании первых двух типов мероприятий.

Так как основное отепляющее влияние на грунты основания земляного полотна оказывает высокая (до 20 м) и широкая (местами до 75 м) насыпь, следует предусмотреть максимально возможное уменьшение ее размеров.

Выбор стабилизационных мероприятий необходимо обосновать

теплотехническими расчетами и сравнением конкурирующих вариантов. При этом в начале должна быть решена техническая задача – отобраны все возможные технические решения, обеспечивающие стабильность земляного полотна на льдистых грунтах, а затем – их экономическое сравнение, учитывая, как строительные затраты, так и эксплуатационные расходы.

Отработанные на этом участке эффективные в техническом и экономическом отношении стабилизационные мероприятия могут быть применены и на других участках дороги «Амур», где имеются льдистые грунты и где также развиваются деформации земляного полотна вследствие деградации многолетней мерзлоты.

Основным инженерно-геокриологическим процессом, вызывающим просадку и расползание автодорожной насыпи, растрескивание и провалы дорожной одежды на участке является начавшееся более 15 лет назад оттаивание льдистых многолетнемерзлых грунтов основания дороги.

Учитывая, что многолетнемерзлые породы под насыпью имеют мощность, превышающую местами 20 м, деградация их в сложившихся условиях может продолжаться многие десятки лет, необходимо, прежде всего, разработать мероприятия по ее прекращению.

Поскольку деградация многолетнемерзлых грунтов в основании насыпи 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 (светоотражающая окраска, навесы, снегоочистка, противодиффузионная пленка), а также с помощью поперечных вентиляционных труб.

С этой целью предлагаются следующие мероприятия:

1. Устройство дорожной одежды из светлого бетона или асфальтобетона с добавками светлого щебня (рис. 4.5) для уменьшения прогрева поверхности дороги солнечными лучами.

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

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

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

Наиболее эффективно комплексное применение перечисленных мероприятий, способное гарантированно обеспечить сохранение многолетнемерзлого состояния грунтов основания насыпи.

При этом, в особенности на косогорных участках, должны быть решены вопросы водоотвода дождевых и надмерзлотных вод от земляного полотна и полностью исключена возможность фильтрация отводимых вод через дно водоотводной канавы в основание дороги.

ГЛАВА 6. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИНЖЕНЕРНО- ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОДОРОГИ «АМУР»

6.1. Задачи инженерно-геокриологического обеспечения эксплуатации автодороги

Изучение инженерно-геокриологических условий Забайкальской части трассы автодороги «Амур» и оценка возможных изменений этих условий при её эксплуатации показали, что земляное полотно и ИССО дороги могут испытывать постоянные и значительные деструктивные воздействия инженерно-геокриологических процессов и явлений. Это обусловлено незначительной тепловой инерцией маломощной толщи преимущественно высокотемпературных (t_{cp} от 0 до -1°C) многолетнемерзлых пород, сформировавшихся в специфических условиях Забайкалья. Начиная от г. Чита, на расстояние около 1000 км, дорога проходит по территории со сплошным и прерывистым распространением многолетнемерзлых пород (см. табл. 6.1).

Разнообразие ландшафтно-климатических, геолого-геоморфологических, гидрогеологических и геокриологических условий является причиной развития многочисленных экзогенных геологических процессов, из которых в Восточно-Забайкальском, Пришилкинском и Даурском регионах преобладают мерзлотно-геологические: морозное пучение пород, наледеобразование, морозобойное растрескивание мерзлых массивов пород, солифлюкция (табл. 6.1). Эти процессы активно формируют рельеф ландшафтов и могут создавать угрозу устойчивости автодороги.

Техногенные изменения природных условий при строительстве, наблюдаемое в последнее десятилетие потепление климата, приводят к оттаиванию многолетнемерзлых пород со среднегодовой температурой от 0 до -1°C , которое сопровождается образованием несливающейся мерзлоты,

несквозных и сквозных таликов, изменением режима грунтовых и надмерзлотных вод. Это становится дополнительным фактором экстенсивного и интенсивного развития процессов на трассе. Поэтому экономически эффективное обеспечение эксплуатационной надежности автодороги невозможно без инженерно-геокриологического сопровождения, задачами которого являются:

1) предупреждение опасного проявления инженерно-геокриологических процессов и явлений на основе наблюдений за состоянием земляного полотна, за развитием и возникновением процессов в полосе отвода земель, а также на основе прогноза их динамики;

2) разработка мер превентивной защиты земляного полотна и ИССО от негативного влияния деструктивных процессов и явлений.

Таблица 6.1

Протяженность Забайкальской части трассы автодороги «Амур» в различных геоморфологических регионах с разной геокриологической обстановкой

№ п/п	Геоморфологическая область (регион)	Протяженность по трассе, км	Распространение многолетней мерзлоты и среднегодовая температура пород	Типичные участки, км км	Основные мерзлотно-геологические процессы и явления
1	Восточно-Забайкальская депрессия	300	Прерывистое t_{cp} от 0 до $-3,5^{\circ}$	112 – 115 536 – 539	Сезонное пучение и морозобойное растрескивание мерзлых массивов пород, выпучивание каменного материала, термокарстовые просадки
2	Пришилкинская горно-долинная страна	354	Сплошное преимущественно и прерывистое t_{cp} от 0 до $-3,7^{\circ}$	348 – 350 389 – 392	Сезонное пучение, наледеобразование, солифлюкция, оползни-сплывы, морозобойное растрескивание, осыпи, курумообразование
3	Даурское сводовое поднятие	140	Прерывистое и сплошное t_{cp} от 0 до -2° (-3°)	72 – 75 757 – 760	Сезонное пучение, наледеобразование, выпучивание каменного материала, солифлюкция, морозобойное растрескивание

Контроль состояния земляного полотна и ИССО необходимо проводить как при аэро- и наземном обследовании всей трассы, так и при проведении режимных наблюдений на специальных площадках. Изучение динамики геокриологических процессов в полосе отвода земель и оценка их воздействия на автодорогу следует осуществлять путем проведения режимных наблюдений на ключевых участках с типичным комплексом процессов (см. табл. 6.1). Для решения этой задачи также целесообразно выполнять периодические аэрофотосъёмки, в том числе с использованием беспилотников.

Все виды наблюдений целесообразно разделить на четыре группы:

- наблюдения за состоянием и динамикой факторов природной среды (микrokлиматическими, геоботаническими, гидрологическими, гидрогеологическими, геокриологическими) и техногенными факторами;
- наблюдения за температурным и влажностным режимами грунтов оснований и деформациями земляного полотна;
- наблюдения за развитием инженерно-геокриологических процессов и явлений;
- наблюдения за эффективностью мероприятий противодеформационной защиты автодороги.

Весь комплекс наблюдений проводится, как правило, на стационарах [66]. Материалы наземного обследования используются для принятия решений о ремонтных работах и об организации режимных наблюдений на вновь выявленных опасных участках дороги.

Ниже приводится характеристика наземного обследования трассы и специальных режимных наблюдений на ключевых участках.

6.2. Инженерно-геокриологические обследования трассы автодороги

Основной задачей инженерно-геокриологического обследования дороги является наблюдение за деформациями земляного полотна и ИССО, описание состояния насыпи, откосов, степени нарушенности полосы отвода,

интенсивности развития инженерно-геокриологических процессов (термокарстовые просадки, термоэрозия, пучение, подтопление, заболачивание и др.). При этом определяются состав, влажность (льдиность) и мощность сезонно-талого (сезонно-мерзлого) слоя, ведутся наблюдения за поверхностным стоком и водами сезонно-талого слоя и грунтовыми водами. Отмечаются нарушения их режима, оценивается работа водоотводных канав и водопропускных сооружений.

Основными видами деформаций земляного полотна могут быть: осадки и расползание насыпей на оттаивающих многолетнемерзлых грунтах; термокарстовые понижения дневной поверхности на прилегающих к насыпи территориях; наледи на косогорах, в выемках и руслах водотоков; пучины, в том числе наледного характера, просадки поверхности дороги в выемках и на насыпи с неравномерной осадкой на обочинах; сплывы и оползни на откосах в выемках; заиливание водотоков и нагорных канав.

Если водоотводные канавы заплывают или зарастают они способствуют образованию термокарстовых понижений, которые заполняются водой и затем превращаются в термокарстовые озера, расположенные вдоль насыпи (рис. 6.1).



Рис. 6.1. Начальная стадия формирования термокарстового озера вдоль автодороги «Амур» (фото из архива ТранСИГЭМ, 16 августа 2012 г.)

Наблюдениями устанавливается характер изменения температурного режима грунтов под насыпями. Часто насыпь взаимодействует с многолетнемерзлыми породами (ММП) как нагретый штамп и под ней происходит многолетнее оттаивание мерзлых грунтов.

В основании насыпи из влажного глинистого грунта часто присутствует слабый слой сильно обводненного талого грунта, находящегося в текучем и текучепластичном состоянии. Под действием веса насыпи и нагрузки от движущегося транспорта слабый слой может постепенно выдавливаться из-под насыпи, полотно дороги опускаться. Одновременно с вертикальными перемещениями может происходить деформация (раздвижка) боковых частей насыпи. Раздвижка насыпи может произойти даже на изначально прочных грунтах основания, если в процессе эксплуатации они будут обводнены и изменят свои свойства, что часто наблюдается при скоплении воды возле насыпи.

Кроме осадок земляного полотна (в результате оттаивания ММП), наблюдаются и деформации пучения в результате промерзания талых грунтов земляного полотна и его основания. К грунтам, подверженным пучению, относятся все виды глинистых грунтов, крупнообломочные грунты с глинистым заполнителем, легко выветривающиеся породы, пылеватые пески при насыщении их водой, торф и заторфованные грунты. Наиболее часто пучению подвержены грунты на участках земляного полотна в выемках и на низких насыпях (до 2 м). Особую опасность представляют участки с неравномерным залеганием разнородных (пучинистых и непучинистых) грунтов; выемки в легко выветривающихся породах в условиях их избыточного увлажнения; полунасыпи и полувыемки на косогорах с уклоном круче 1:5 при наличии в пределах слоя сезонного промерзания-протаивания потоков грунтовых вод в дренирующих грунтах (возможно образование наледных пучин).

Наблюдения вдоль трассы в летнее время целесообразно проводить один раз в месяц с целью своевременного выявления опасных ситуаций

вдоль всей дороги. Они включают визуальный осмотр дороги и придорожной полосы с измерением некоторых параметров, например, уровня и температуры воды в образовавшихся водоемах, высотных перемещений дренажных лотков и иных сооружений, если визуальный осмотр выявляет их неисправность. При обследовании естественных и техногенных процессов устанавливается направленность их развития: активизация, затухание или с установившейся скоростью. С этой целью используются не только полевые наблюдения, но и аэрофотоматериалы. Дешифрирование аэрофотоснимков, полученных в одно и то же время года с интервалами в несколько лет, позволяет оценить динамику пораженности территории техногенными процессами, их специфику и интенсивность на различных участках трассы.

Результаты серийных наблюдений фиксируются на рабочих планах, где отражается: состояние почвенного и растительного покрова, мерзлотно-геологические процессы (бугры и площади пучения, термокарстовые просадки, обнажения подземных льдов, термоэрозионные рытвины и овраги, наледи, морозобойные трещины, солифлюкционные потоки и пр.), снегозаносимые участки, подтопляемые территории, места пожаров, вырубок леса и др. – все то, что прямо или косвенно может быть причиной и следствием развития опасных явлений. Если эти явления обнаруживаются, то за ними организуются инструментальные наблюдения по специальной программе. Одной из задач обследования трассы является выбор участков для организации таких наблюдений.

Частота (повторяемость) наземного обследования зависит от интенсивности и экстенсивности (распространение по площади) техногенных процессов, определяемых по последним материалам дешифрирования аэрофотоматериалов и наземного обследования. По опыту проведения подобных работ можно рекомендовать в начальный период эксплуатации автодороги обследования проводить (особенно на сложных участках) несколько раз в год в разные сезоны в течение 3–5 лет до начала выхода геотехнической системы на стабильный режим работы. Сложные участки

обычно характеризуются распространением сильно льдистых многолетнемерзлых пород, наличием горизонтов надмерзлотных вод, избыточной увлажненностью поверхности, широким распространением экзогенных геологических процессов.

6.3. Инженерно-геокриологические наблюдения на ключевых участках трассы автодороги

Наблюдательные площадки за изменением геокриологической обстановки, динамикой и особенностями проявления в рельефе инженерно-геокриологических процессов и явлений на трассе должны располагаться в пределах типичных ключевых участков, представляющих всё многообразие ландшафтно-климатических, геолого-геоморфологических, гидрогеологических и геокриологических условий трассы автодороги (см. главы 2 и 3, а также табл. 6.1). Наблюдения проводятся с помощью комплекса специальных инструментальных методов. Объектами наблюдений являются: микроклимат и растительность (ландшафтные условия), поверхностные и подземные воды, температура и влажность грунтов, глубина их сезонного оттаивания (промерзания), динамика многолетнего оттаивания пород, деформации грунтов оснований и деструктивные инженерно-геокриологические процессы (морозобойное пучение, наледообразование, морозобойное растрескивание, термокарст и др.). Режимные наблюдения должны выходить за границы непосредственных контактов сооружения с грунтом и охватывать всю территорию со значительными техногенными изменениями природной среды, так как именно на прилегающих к дороге участках происходит неуправляемое развитие инженерно-геокриологических процессов, опасность которых для дорожного полотна со временем может сильно возрастать.

При организации режимных наблюдений на ключевых участках следует предусмотреть проведение дополнительных инженерно-геокриологических изысканий (обследований), если выясняется, что полученная ранее информация устарела или является неполной.

Наблюдения за температурным режимом пород

Как известно, наиболее чутко и быстро на нарушение ландшафтных условий (снятие растительного покрова, изменение высоты снега, подтопление и т.п.) реагирует температура земной поверхности и верхнего слоя грунта, а также глубина сезонного оттаивания (промерзания).

Наблюдения за динамикой температурного режима грунтов в слое годовых теплооборотов ведутся в специально оборудованных термометрических скважинах, которые в пределах ключевых участков располагаются, прежде всего, в тех микрорайонах, где могут возникнуть или активизироваться геокриологические процессы, опасные для земляного полотна и ИССО дороги. Скважины проходятся на всех элементах трассы и располагаются на поперечниках, перпендикулярных дороге.

По степени техногенной динамики температурного режима пород выделяются следующие элементы:

- земляное полотно;
- полоса отвода, где в результате планировочных работ, возведения дренажных и других систем защиты земляного полотна от опасных процессов, резко изменены природные условия;
- полоса, в пределах которой частично или полностью преобразован ландшафт в период строительства дороги (временные подъезды, места складирования строительных материалов и др.);
- прилегающий естественный ландшафт.

Под наблюдения должно быть оборудовано не менее одной скважины на каждом элементе трассы.

На участках, ориентированных субмеридионально (одинаковая инсоляция откосов земляного полотна) поперечник скважин может быть расположен с одной стороны полотна.

При субширотной ориентации (различная инсоляция откосов земляного полотна) следует оборудовать двухсторонний поперечник. Двухсторонними также должны быть поперечники на участках с метелевым

переносом снега и на участках, где отсыпка земляного полотна будет изменять сток поверхностных и грунтовых (надмерзлотных) вод.

Глубина скважин на земляном полотне равна его высоте в месте заложения скважины плюс мощность слоя сезонного оттаивания (промерзания) пород, плюс 5 м. На всех остальных выделенных элементах глубина должна быть не менее мощности слоя годовых колебаний температуры (10-15 м).

Все температурные скважины оборудуются наблюдательными трубами для того, чтобы при термометрии использовать как постоянные, так и переносные термометрические комплекты.

Рекомендуются следующие сроки и периодичность измерений: при изучении температурного режима пород в слое сезонного оттаивания (промерзания) и динамики глубины оттаивания (промерзания) измерения следует проводить один раз в 10 дней; при изучении температурного режима пород ниже глубины сезонного оттаивания (промерзания) – один раз в месяц.

Полевое определение температуры пород регламентировано [16]. Стандарт распространяется на мерзлые, промерзающие и протаивающие грунты и устанавливает метод полевого определения температуры в ходе инженерно-геокриологических (мерзлотных) исследований, выполняемых на площадках проектируемых, строящихся и эксплуатируемых сооружений, а также на опытных площадках, предназначенных для стационарных наблюдений.

В Стандарте дан перечень приборов и оборудования, необходимых для полевого измерения температуры пород, и изложены требования к специальному оборудованию скважин, рассмотрен порядок измерения температуры, способы обработки и оформления полученных данных.

В приложениях к ГОСТ 25358-82 приведены формы «Журнала полевого измерения температуры грунтов» и образцы графического оформления результатов измерения температуры.

Наблюдения за динамикой сезонного оттаивания (промерзания) пород

Наблюдения за глубиной сезонного оттаивания (промерзания) пород проводятся с учетом того, что пространственная ее изменчивость определяется неоднородностью состава пород и условиями формирования их термо-влажностного режима. Динамика глубин во времени определяется главным образом колебаниями климатических характеристик. Измерения глубины следует проводить вблизи температурных скважин и на площадках наблюдений за развитием мерзлотно-геологических процессов.

Наблюдения за ходом сезонного промерзания пород должны начинаться с момента устойчивого осеннего перехода среднесуточной температуры воздуха через 0° и заканчиваться летом после его полного оттаивания сезонно-мерзлого слоя. Наблюдение за ходом формирования сезонно-талого слоя начинается с момента устойчивого весеннего перехода среднесуточной температуры воздуха через 0° и продолжается в течение всего летне-осеннего периода. На участках развития мерзлых толщ несливающегося типа и перелетков мерзлых пород наблюдения следует проводить в конце лета и в конце зимы соответственно.

Возможны два различных подхода при измерении мощности сезонно-талого и сезонно-мерзлого слоев. Первый из них заключается в изучении температурного поля горных пород путем термометрии в скважинах. В этом случае положение границы оттаивания (промерзания) связывается с положением нулевой изотермы. Второй подход основывается на том, что мерзлые породы резко отличаются по физическим свойствам от талых, благодаря чему возможно визуальное определение глубины оттаивания (промерзания) в шурфах и по керну, а также применяются мерзлотомеры различных конструкций.

Методы определения глубины сезонного промерзания пород с помощью мерзлотомеров Ратомского и Данилина регламентируются [15]. Стандарт не распространяется на скальные грунты. В нем дана конструкция

мерзлотомеров, способ их установки, методика проведения измерений, обработка результатов, форма журнала наблюдений и образец графического оформления.

В 1984 г. выпущен ГОСТ 26262-84 [17], распространяющийся на песчаные, пылевато-глинистые, биогенные и крупнообломочные грунты в районах распространения вечномёрзлых грунтов. Стандарт не распространяется на засоленные грунты. В стандарте указывается, что для определения глубины оттаивания мёрзлых пород следует применять методы непосредственных измерений, криотекстурный, геофизические, температурный и мерзлотомерами.

Причинная связь температурного режима грунтов, их теплового состояния с комплексом природных факторов предопределяет необходимость проведения наблюдений за характером изменений последних в ходе строительства и эксплуатации автомобильной дороги. Только установив количественные зависимости между отдельными характеристиками изменяющихся условий, можно надёжно прогнозировать состояние земляного полотна.

Микроклиматические наблюдения

Как следует из главы 2, микроклиматические особенности, с которыми связана пространственная изменчивость среднегодовой температуры пород, обусловлена в первую очередь рельефом поверхности. От рельефа зависит количество поглощаемой солнечной радиации, высота снежного покрова, дренированность поверхности, характер растительности, состав и влажность верхнего слоя пород. Поэтому количественно оценить влияние изменения рельефа на геокриологические условия – это значит определить величину радиационной поправки Δt_R и ΔA_R в связи с планировкой местности и сопутствующим изменением снежного покрова и удалением почвенно-растительного слоя, определить соответствующие изменения $\Delta t_{сн}$, $\Delta A_{сн}$, определить влияние изменения состава и влажности пород на Δt_z , определить

изменения конвективного теплообмена в породах под влиянием изменения уклонов поверхности, а также перераспределение поверхностного стока вод.

Микроклиматические наблюдения (включающие наблюдения за составляющими радиационно-теплового баланса, температурой воздуха, атмосферными осадками и др.) должны проводиться на площадках с термометрическими скважинами. Следует учитывать, что изменчивым и сильно влияющим на температурный режим пород в слое годовых теплооборотов является снежный покров. На трассе дороги могут происходить различные изменения высоты и плотности снега, от которых зависит количественная характеристика его утепляющего влияния. На насыпях обычно происходит уменьшение высоты и уплотнение снега в 1,5-2 раза (вплоть до полного удаления снега с полотна дороги) по сравнению с естественными ландшафтами. Однако, на отдельных участках трассы (например, в выемках, на участках, защищенных от ветра, в создаваемых локальных понижениях и др.) высота снега может увеличиваться более, чем в 2 раза, по сравнению с существовавшей прежде. Эти изменения увеличивают пространственную изменчивость геокриологических условий, проявляющуюся не только в температурном режиме, но и в изменении теплового состояния пород. Поэтому на всех ключевых участках один раз в год во второй половине зимы (до разрушения снежного покрова) должна производиться площадная снегомерная съемка, опорными точками которой могут быть пункты различных режимных наблюдений.

Наблюдения за состоянием растительного покрова

Влияние растительного покрова на температурный режим поверхности почвы и подстилающих пород имеет несколько аспектов [20]. Во-первых, растительность в зависимости от видового состава, высоты и степени покрытия поверхности (густоты) изменяет структуру радиационно-теплового баланса земной поверхности. Во-вторых, напочвенный растительный покров (мхи, кустарнички, травостой) является по отношению к почве теплоизоляционным покрытием, препятствующим передаче тепла от дневной

поверхности в грунт в летний период и от грунта в атмосферу зимой. В-третьих, растительный покров существенно влияет на распределение и свойства снежного покрова. На трассе в ходе строительства дороги происходит полное или частичное уничтожение растительности, затем одни растительные сообщества сменяются другими. В случае полного удаления растительности среднегодовая температура поверхности почвы, как правило, повышается на $0,5-1,5^{\circ}$. При частичном уничтожении растительности, например, при вырубке кустарника и деревьев, изменение температурного режима поверхности почвы (грунта) определяется степенью изменения альбедо, турбулентного теплообмена, высоты и плотности снега.

Для конкретной оценки влияния растительности, ее удаления и последующего восстановления на температуру грунтов на начальном этапе мониторинга на каждой опытной площадке должна быть детально охарактеризована растительность естественных ландшафтов. Затем на момент окончания строительства определяется характер и степень нарушенности растительного покрова. В период эксплуатации дороги проводятся наблюдения (с помощью аэрофотосъемки) за его возобновлением в результате естественного процесса или при рекультивации.

Наблюдения за подтоплением трассы

Изменение ландшафтных условий на трассе и строительство дороги могут вызвать подтопление отдельных участков в полосе отвода и образование мелких водоёмов, которые будут характеризоваться своеобразными условиями теплообмена. В летний период водная поверхность обладает небольшой отражательной способностью, солнечная радиация проникает в воду на значительную глубину, что способствует ее поглощению и прогреву донных отложений. В зимний период при промерзании водоема происходит резкое увеличение коэффициента теплопроводности льда, что способствует интенсивному охлаждению водоема и подстилающих пород особенно при небольшой высоте снега. Снежный покров на водоеме вследствие малой шероховатости поверхности

легко сдувается и высота его, как правило, значительно меньше, чем на прилегающих участках, покрытых растительностью. Поэтому суммарное тепловое влияние мелких водоемов в различных конкретных условиях может быть существенно различным. Для определения температурного режима поверхности дна необходимо проводить наблюдения за площадью и глубиной водоёма, максимальной мощностью льда при его промерзании, мощностью и плотностью снега на поверхности льда. Площадь, занимаемую формирующимся на трассе водоёмом, необходимо фиксировать ежегодно на момент осенней межени (перед ледоставом), в момент весеннего паводка и в периоды ливневого выпадения осадков. Для водоёмов, существовавших до строительства, следует по косвенным признакам восстановить первоначальные границы и причины и дату изменения береговой линии. Для вновь образовавшихся водоёмов следует установить причину его образования (земляные работы, обрушение склонов выемок, изменение поверхностного и надмерзлотно-грунтового стока в результате возведения земляного полотна и др.), год и сезон начала образования водоёма.

Глубину водоема следует промерять ежегодно на специальных створах. На водоемах изометрической формы с однородным строением берегов возможна разбивка одного створа. На водоемах вытянутой формы или водоемах с различным строением берегов необходима разбивка не менее двух створов. Промер глубины по створам целесообразно проводить в период осенней межени.

Мощность льда на непромерзающих до дна водоёмах следует измерять на момент максимального льдообразования в данном районе. Этот срок устанавливается по данным ближайшей гидрометеостанции. Определение мощности и плотности снега на водоемах должно по срокам совпадать с определением мощности льда. Динамика температурного режима процессов промерзания и оттаивания донных отложений изучается на основе термометрии в скважинах.

Наблюдения за стоком поверхностных, грунтовых и надмерзлотных вод

Существенное влияние на температурный режим грунтов оказывают также поверхностные водотоки, грунтовые и надмерзлотные воды. Опыт строительства линейных сооружений в криолитозоне показывает, что создание насыпи и производство земляных работ могут вызвать в полосе отвода изменение режима существующих мелких водотоков и привести к образованию сосредоточенного поверхностного стока дождевых, снеговых, грунтовых вод и вод надмерзлотного стока. На опытных площадках необходимо зафиксировать смещение русла естественных водотоков, установить его причину, год и сезон года. Для вновь образовавшихся водотоков – установить причину их появления, источник питания, площадь водосбора, форму и устойчивость руслового ложа, состав отложений ложа, их тепловое состояние, криогенное строение и льдистость.

На каждом водотоке необходимо установить поперечные створы, на которых в осеннюю межень, в период весеннего паводка и во время летних паводков следует проводить измерение: ширины водотока, его глубины, расхода, скорости течения, величины твердого стока. Резкое увеличение выноса минеральных частиц может свидетельствовать об эрозионных размывах земляного полотна или в полосе отвода в пределах площади водосбора данного водотока. Кроме того, целесообразно проводить измерение мощности и плотности снежного покрова в русле водотока на момент максимального снегонакопления и толщины льда на водотоке на момент максимального промерзания (март-апрель).

Для наблюдений за режимом грунтовых и надмерзлотных вод на опытной площадке необходимо оборудовать специальные скважины и шурфы, каптировать источники. В комплекс наблюдений должно входить изучение динамики уровня водоносного горизонта (УГВ) и гидрохимического состава подземных вод. Положение УГВ должно фиксироваться ежегодно в начале летнего сезона, во время летней и осенней

межени и при ливневом выпадении дождей. Динамику уровня подземных вод следует наблюдать не только в полосе отвода и в естественных условиях, но и обязательно в основании земляного полотна.

Наблюдения за заболачиванием поверхности

Заболачивание территории существенно сказывается на теплообмен на поверхности почвы и в подстилающих породах. Ее влияние подобно влиянию мелких водоёмов, если возникающие болота имеют открытое зеркало воды: оно может быть, как положительным (отепляющим) по отношению к среднегодовой температуре пород, так и отрицательным. Последнее особенно характерно для условий Забайкалья, где климат отличается повышенной континентальностью и небольшой высотой снежного покрова (0,1-0,3 м). Охлаждающее влияние заболоченности на температуру пород в этом случае определяется большой разностью теплопроводности воды (летом) и льда (зимой) и большими затратами тепла на фазовый переход льда в воду при весенне-летнем оттаивании болот. Кроме того, заболоченность обуславливает большую влажность подстилающих пород, что, учитывая глубокое зимнее промерзание, приводит к существованию температурной сдвижки в сезонно-талом слое и к усилению охлаждающего эффекта заболоченности. Это часто приводит к формированию многолетнемерзлых пород на заболоченных участках при отсутствии их на дренированных. Поэтому на трассе дороги и в полосе отчуждения необходимо выявлять участки с заболачиванием и на них проводить наблюдения аналогичные тем, что указаны для мелких водоёмов.

Наблюдения за режимом влажности, льдистости и плотностью грунтов

При изменении состава и влажности грунтов в сезонно-талом (сезонно-мерзлом) слое изменяются их среднегодовая температура и глубина оттаивания в связи с изменением соотношения коэффициентов теплопроводности грунтов в мерзлом и талом состоянии (λ_m и λ_t) и изменением затрат тепла на фазовый переход льда (воды). Поэтому при

освоении территории дренаж отложений, замена в сезонно-талом или сезонно-мерзлом слоях торфа и сильновлажных мелкодисперсных пород крупнодисперсными ведут к уменьшению температурной сдвижки Δt_λ и в отдельных случаях эти мероприятия могут вызвать многолетнее оттаивание отложений. Дополнительным утепляющим фактором может стать инфильтрация атмосферных осадков, если на поверхности окажутся крупнодисперсные породы. Увеличение влажности пород, заболачивание поверхности (при малой высоте снега) приводят обычно к возрастанию Δt_λ и могут в ряде случаев привести к новообразованию многолетнемерзлых пород. Изменение теплового состояния грунтов часто сопровождается активизацией, интенсивным развитием процессов пучения и термокарста.

Сказанное определяет необходимость детального изучения состава, плотности, криогенного строения и влажности грунтов сезонно-талого (сезонно-мерзлого) слоя на опытных участках. Изменение состава пород, очевидно, определяется характером планировочных работ и должно фиксироваться на детальной топографической, ландшафтной или геокриологической карте-основе в масштабе 1:2000 (5000), составляемой на территорию опытного участка при организации мониторинга.

Наблюдения за изменениями влажности и плотности грунтов производятся в скважинах: при организации наблюдений методом лабораторного определения характеристик на образцах керна, при режимных наблюдениях – прибором ВПГР–1 и ППГР–1 или аналогичных.

Наблюдения за инженерно-геокриологическими процессами и явлениями в полосе отвода

Развитие инженерно-геокриологических процессов в полосе отвода земель на трассе, в непосредственной близости от дороги, может стать причиной разрушения земляного полотна. Поэтому эти процессы также являются объектом мониторинга и должны изучаться с помощью режимных наблюдений, где при изысканиях наблюдались проявления различных

мерзлотных процессов и явлений в рельефе или там, где по условиям можно ожидать их возникновение и активизацию.

Наблюдения за пучением сезоннооттаивающих и сезоннопромерзающих пород проводятся с учетом механизма процесса: миграционного или инъекционного. Миграционное пучение дисперсных пород происходит вследствие подтока влаги к фронту промерзания и образования ледяных шлиров и линз, разуплотняющих скелет породы. Происходит увеличение объема породы и поднятие земной поверхности в пределах всего массива пород конкретного состава, влажности и режима грунтовых (надмерзлотных) вод. Неравномерное промерзание обуславливает формирование миграционных бугров пучения.

Инъекционное пучение водонасыщенных обломочных пород происходит в результате промерзания свободной воды в замкнутых системах. К этому виду относится и пучение пород, возникающее в местах разгрузки подмерзлотных вод в результате увеличения напора при промерзании. В первом случае инъекционное пучение возникает в местах относительно локального понижения кровли многолетнемерзлых пород, вследствие техногенных изменений условий теплообмена на поверхности. Во втором (гидролакколиты) – в долинах рек и ручьев в местах разгрузки подземных вод.

Режимные наблюдения за миграционным пучением пород организуются осенью перед началом зимнего промерзания в пределах тех микрорайонов, где в процессе изысканий или обследований наблюдались деформации поверхности, где распространены пучинистые грунты с влажностью близкой к полной влагоемкости. В каждом пункте наблюдений по 2-3 профилям, расположенным параллельно, устанавливаются пучиномерные марки на расстоянии 3-5 м. Помимо марок здесь оборудуется термометрическая скважина глубиной 10-15 м, устанавливаются невыпучивающийся репер, пучиномерная установка и снегомерная рейка.

После установки оборудования и приборов проводится их мензульная или тахеометрическая привязка на местности.

Определение суммарной величины пучения по маркам проводится нивелированием. Нивелирование пучиномерных марок проводится осенью перед началом промерзания и весной к концу схода снежного покрова перед началом оттаивания. Разность замеров дает величину суммарного пучения в этих точках.

Глубина сезонного оттаивания или сезонного промерзания определяется по термометрии в скважинах или (для СТС) щупом. Предзимняя влажность и плотность грунта определяются соответственно радиационным влагомером ВЛГ–1 и плотномером ППГР–1.

Определение величины пучения по глубине на пучиномерной установке, температуры грунта в скважине и мощности снежного покрова производится ежемесячно в период сентябрь – январь и 2 раза в остальное время (февраль – апрель). Плотность снежного покрова определяется в конце зимнего периода. Отбор образцов для определения физико-механических свойств грунтов слоя сезонного оттаивания и промерзания производится при проведении детальных инженерно-геокриологических исследований перед началом организации режимных наблюдений.

Наблюдения на участках инъекционного пучения грунтов должны включать в себя:

- наблюдения за сезонным оттаиванием и промерзанием грунтов;
- наблюдения за динамикой уровня грунтовых и надмерзлотных вод;
- наблюдения за деформацией поверхности.

Исходные данные для организации режимных наблюдений, получаемые при инженерно-геокриологической съемке масштаба 1:500 – 1:2000, должны включать в себя сведения:

- о составе и залегании пород в верхней части разреза (~ 5 м), в том числе о наличии водоупоров;

- о наличии, конфигурации и об основных гидрогеологических характеристиках зон повышенной трещиноватости;
- о наличии таликов, их типе, мощности и условиях обводнения.

Организация режимных наблюдений за сезонным промерзанием и оттаиванием грунтов производится в соответствии с методикой, описанной выше.

Наблюдения за динамикой уровня подземных вод проводятся в гидрогеологических скважинах. Скважины размещаются на закуветных площадках. Замеры уровня в зимний период (сентябрь – март) должны проводиться 1-2 раза в месяц, в летний период – соответственно режиму выпадения атмосферных осадков, одновременно с наблюдениями за родниками, кюветами, водоотводными канавами.

Наблюдения за деформацией поверхности проводятся посредством технического нивелирования. Нивелирование производится ежемесячно в период с октября по апрель.

Наледообразование относится к опасным мерзлотно-гидрогеологическим процессам. При изучении инженерно-геокриологических условий трассы автодороги отмечаются участки, где обычно формируются наледи. Их вероятное образование в новых местах в значительной мере определяется влиянием земляного полотна на условия существования водоносного горизонта. Уплотнение грунтов под земляным полотном и в полосе отвода ухудшает их фильтрационные свойства и приводит к подпору подземных вод. Сокращение сечения потока подземных вод перед водопропускными сооружениями часто также является причиной наледообразования.

По длительности развития различаются наледи, формирующиеся в течение всей зимы (наледи напорных вод подмерзлотного стока), и наледи, рост которых происходит только в первой половине зимнего периода. Это зависит от емкостных запасов водовмещающих коллекторов, а также от температурных и снежных условий зимы. Заметный прирост запасов

наледного льда наблюдается в предвесенний и весенний периоды, когда за счет дневного снеготаяния на поверхности льда и вблизи наледи скапливаются потоки талых снеговых вод, а при ночных морозах замерзают, иногда вызывая резкое увеличение мощности льда. Такое увеличение мощности льда происходит и на наледях, прекративших свой рост в первой половине зимы. Рост наледей вод СТС и несквозных таликов (наледи в подножьях склонов) заканчивается, как правило, к декабрю. Рост наледей, в питании которых заметную роль играют воды подмерзлотного стока, происходит до марта – апреля.

Расположение пунктов режимных наблюдений выбирается на основе поикетного описания и оценочного районирования трассы с учетом многолетних данных о местах расположения наледей до строительства дороги и появившихся вновь.

При изучении режима формирования наледей необходимо получить количественные параметры роста наледей в течение зимы, характеристику мерзлотно-гидрогеологических условий участков расположения наледей, наледееобразующих вод и их расходов. Наблюдения за режимом формирования и стаивания наледей производятся путем определения мощности наледного льда по опорным вешкам. Площадь наледи оценивается по данным ледосъемок.

Кроме того, следует проводить гидрологические наблюдения, предусматривающие измерение расходов водотоков для определения дебита наледееобразующего источника, изучение ледового режима, уровня и температуры воды. Наблюдения проводятся зимой и летом по гидрометрическим створам, оборудованным выше и ниже наледи. Измерения производятся водомерными рейками. Для выяснения мерзлотно-гидрогеологической обстановки формирования наледей следует проводить наблюдения за уровнями и температурой подземных вод: надмерзлотного стока – в шурфах, вод несквозных и сквозных таликов, а также

подмерзлотных – в скважинах. Необходимо по скважинам установить кровлю ММП и направление движения вод СТС в процессе его промерзания.

Очень часто наледи формируются водами вновь возникших в полосе трассы несквозных или сквозных техногенных таликов, вызывающих изменение режима вод подмерзлотного стока. Целесообразно проводить наблюдения за образованием и ростом техногенных таликов геофизическими методами, а также наблюдениями в скважинах за уровнями вод, оттаиванием и температурами пород по поперечникам.

Возникновение и развитие **термокарста** связано с таянием залежеобразующего или текстурообразующего льда в результате увеличения глубины сезонного оттаивания грунта, вследствие изменений условий теплообмена земной поверхности с атмосферой (нарушение растительного покрова вдоль трассы дорог, подпруживание поверхностного стока, создание искусственных водоемов и отепляющее воздействие техногенных отсыпок на подстилающие их льдистые грунты). Активизация процесса может быть связана также с потеплением климата.

Цель режимных наблюдений за развитием термокарста – определение скорости и величины деформации земной поверхности с целью разработки противодеформационных мероприятий.

Выбор участков для изучения термокарста производится на основе результатов обследования трассы дороги и анализа материалов инженерно-геокриологических изысканий. Первоочередному изучению подлежат участки с интенсивными осадками поверхности и потенциально опасные участки с высоким содержанием различного типа внутригрунтовых залежей и текстурообразующих льдов.

Оборудованию пунктов режимных наблюдений за скоростью и величиной просадки земной поверхности должна предшествовать детальная (м-ба 1:1 000 – 1:2 000) инженерно-геокриологическая съемка опытного участка, при которой особое внимание уделяется картированию подземных льдов и микрорайонам с различными видами техногенного воздействия на

ландшафты: вырубок леса, прокладки зимников, удаления напочвенного покрова и почвенного горизонта, нарезки водоотводных канав, различных по мощности и площади отсыпок крупнообломочных грунтов и др.

Участок целесообразно оборудовать весной до начала сезонного оттаивания грунтов. В процессе оборудования выполняется детальная мензульная съемка м-ба 1:500 – 1:1 000 с высотой сечения рельефа 0,5 м. На планах участков режимных наблюдений отображаются: границы ландшафтов как естественных, так и техногенных с термокарстовым расчленением поверхности, границы зоны термокарстовых просадок и береговая линия термокарстовых озер (в случае их возникновения), техногенные подсыпки и выемки.

На участке режимных наблюдений изучаются:

- а) состав, криогенное строение, льдистость и мощность многолетнемерзлых пород (по результатам опробования скважин);
- б) среднегодовая температура пород;
- в) глубина сезонного оттаивания и промерзания пород;
- г) деформации земной поверхности на трассе и в полосе отвода земель.

Наблюдения за температурами пород в скважинах, влажностью и плотностью грунтов, высотой и плотностью снежного покрова, глубиной сезонного оттаивания проводятся в соответствии с рекомендациями, изложенными выше. Наблюдения за деформациями поверхности осуществляются путем повторного нивелирования. Оно проводится по поперечникам пунктов наблюдения за СТС-СМС. Нивелирование выполняется ежегодно в момент максимального летнего оттаивания грунтов. Один раз в 2-3 года, в зависимости от активности термокарста, выполняется повторная мензульная съемка, позволяющая получить количественную характеристику динамики термокарста по площади.

При образовании термокарстовых озер необходимы дополнительные наблюдения за морфометрией водоема, температурным режимом воды, температурным режимом и глубиной оттаивания пород на берегах озер и его

дне, за изменением глубины озера и толщиной льда на озере, а также наблюдения за снежным покровом.

Солифлюкция вызывает смещения грунта на склонах и деформации откосов в выемках. Активизация процесса может быть обусловлена разрушением растительного покрова, изменением условий поверхностного стока и условий сезонного оттаивания или промерзания грунтов.

Целью режимных наблюдений является:

- уточнение механизма процесса смещения грунта;
- разработка мероприятий по устранению причин развития или локализации и ослаблению воздействия процесса на земляное полотно.

На выбранных участках организация режимных наблюдений должна предваряться детальным изучением инженерно-геокриологических условий в масштабе 1:1 000 – 1:2 000. При этом особое внимание следует уделять характеристике слоя сезонного оттаивания (максимальной мощности, составу грунтов, влажности, горизонту надмерзлотных вод) и солифлюкционных форм рельефа. Для изучения состава и свойств грунтов должны быть проведены определения гранулометрического и микроагрегатного состава с целью получения данных о характере структурных связей и их прочности, пластичности, а также необходимо проведение минералогического и химического анализов с целью получения представления о гидрофильности грунтов, влажности и объемного веса, вязкости, длительной прочности.

Режимные наблюдения за сезонным промерзанием и оттаиванием грунтов проводятся в соответствии с выше сделанными рекомендациями. Наблюдения за смещением грунтов осуществляется геодезическими способами с помощью кинеметров и кинеграфов. Для изучения солифлюкционных склонов наиболее приемлемы геодезические методы и прежде всего мензульная съемка.

Наблюдения должны охватить все характерные точки склонов и откосов, которые фиксируются на местности марками.

Неподвижные точки, относительно которых ведутся наблюдения, располагаются по возможности на горизонтальных площадках и оборудуются невыпучиваемым репером для установки инструмента (теодолита, нивелира, мензулы с кипрегелем). После завершения этого этапа работ производится мензурная съемка участка режимных наблюдений в масштабе 1:500 – 1:1 000, при которой, кроме оконтуривания элементов рельефа, осуществляется плановая привязка установленных марок и оборудования, в том числе для наблюдений за динамикой сезонного протаивания и промерзания. Величины смещения грунтов на склонах могут быть определены нивелированием, повторной мензурной съемкой.

Применение фототеодолитной съемки значительно упрощает проведение полевых работ, но требует применения специального оборудования (фототеодолита и стереокомпоратора) и трудоемких методов камеральной обработки. Величина смещения определяется по результатам стереофотограмметрических измерений маркированных точек на одновременных фототеодолитных снимках. Достоинством метода является возможность «наблюдать» смещение грунтов всего участка режимных исследований и проводить оценку величины смещения не только по маркированным точкам, но и по изменению положения любого множества опознающихся на снимках характерных точек. Таким образом, фототеодолитный метод обладает высокой чувствительностью, обусловленной прежде всего с возможностью резкого увеличения точек наблюдения. Другим достоинством метода является то, что позволяет проводить дистанционные измерения и не вносить изменений и нарушений в естественное состояние грунтов на изучаемых участках. Фототеодолитную съемку целесообразно проводить осенью, весной, после схода снежного покрова и раз в месяц в течение летнего периода.

Развитие **термоэрозии (эрозии)** на склонах вдоль трассы дороги создает серьезную угрозу устойчивости земляного полотна.

В соответствии с существующими представлениями степень активности процесса определяется предрасположенностью рельефа (крутизной склонов, характером их профиля), размываемостью пород, количеством атмосферных осадков, в том числе в жидкой фазе и геокриологическими условиями. Среди последних важны глубина сезонного оттаивания пород, их льдистость и ее распределение по площади и глубине.

Участки режимных наблюдений выбираются в полосе трассы, в той или иной степени нарушенной при строительстве и эксплуатации дороги, в районах разных по геоморфологической опасности и размываемости грунтов, а также на участках, формирующихся термоэрозионных форм. Режимные наблюдения организуются за:

- а) скоростью роста термоэрозионных форм (промоин и оврагов);
- б) характеристиками поверхностного стока;
- в) мерзлотно-грунтовыми условиями.

Исходные характеристики участка режимных наблюдений получают в ходе проведения детальной инженерно-геокриологической съемки масштаба 1:1000 – 1:2000. Они включают в себя:

- характеристику растительного покрова в плане поверхностного закрепления грунтов от размыва, степень техногенных нарушений растительности;
- сведения о составе и строении пород в верхней 5-7 м толще с детальным описанием как легко размываемых разностей, так и бронирующих грунтов (торфа и др.);
- характер распространения залежеобразующих подземных льдов (повторно-жильных, пластовых и др.), а также общую характеристику льдистости и криогенного строения грунтов;
- детальную характеристику сезонного оттаивания (промерзания) грунтов в зависимости от среднегодовой температуры пород, их состава и влажности.

Наблюдения за скоростью роста термоэрозионных форм проводят посредством повторной мензульной съемки и нивелирования по поперечникам. Результатом полевых наблюдений являются данные об объемах и динамике вынесенного материала из наблюдаемой термоэрозионной формы в целом и из отдельных ее элементов за год (теплый период года).

Повторная мензульная съемка производится в масштабе 1:1 000 – 1:2 000 один раз в год в конце теплого периода года. Сечение рельефа принимается 0,25 или 0,5 м. Сезонную динамику термоэрозии целесообразно наблюдать путем нивелирования по поперечникам и продольным профилям. Поперечники намечаются на мензульном плане таким образом, чтобы получить наиболее представительные данные об объеме данной термоэрозионной формы. На местности поперечники оборудуются вешками высотой 2 м, устанавливаемыми в наиболее характерных точках рельефа. Вешки нижним концом помещаются в предварительно пробуренные скважины глубиной около 2 м. После высотной и плановой привязки по вешкам производится нивелирование поверхности, а также наблюдения за снегонакоплением. Нивелирование проводится 1 раз в 15 дней, а также после выпадения сильных и продолжительных дождей.

Изучение характера поверхностного стока предполагает проведение наблюдений за расходами воды и скоростью течения временных водотоков. Определение расхода водотоков следует проводить методом треугольного или трапецидального водослива. В случае небольшого, но устойчивого расхода возможно применение мерного сосуда. Водослив устанавливается в нижней по тальвегу части промоины и характеризует общий расход воды. Для измерения расходов в отдельных частях промоины, в том числе и отвержках, наиболее удобно пользоваться переносной водосливной рамкой. Регламент проведения замеров соответствует таковому для нивелирования поперечников. Скорость течения может быть определена методом поплавков или рассчитана эмпирически как функция расхода воды.

Геокриологические наблюдения предусматривают изучение сезонного оттаивания грунтов. Они проводятся по описанной выше методике и состоят из детальных работ по определению глубины оттаивания на нивелировочных поперечниках с выходом на ненарушенные поверхности склонов.

В заключение следует отметить, что режимные наблюдения, как и любые инженерно-геокриологические исследования, должны обязательно сопровождаться изучением состава и строения верхней части разрезов отложений, водно-физических, теплофизических и деформационных свойств мерзлых, оттаивающих и промерзающих пород.

6.4. Наблюдения за деформациями земляного полотна дороги

Из опыта эксплуатации автомобильных и железных дорог в криолитозоне [36, 39, 73] следует, что основными деформациями земляного полотна являются: осадки уплотнения и осадки оттаивания, расползание насыпи, оползание откосов, разрушение откосов под влиянием термоэрозии, морозное пучение и наледообразование (в выемках).

Осадки уплотнения насыпи происходят при строительстве и в начальный период эксплуатации дороги. Причиной их является сжимаемость грунтов насыпи и талых грунтов основания под действием статической нагрузки от собственного веса грунтов и под действием динамической нагрузки от транспорта.

Осадка оттаивания обуславливается уменьшением объема грунта при переходе льда в воду и сжимаемостью оттаявших слоев грунта под действием вышеперечисленных нагрузок. Оттаивание бывает сезонное и многолетнее. Сезонное оттаивание захватывает тело насыпи и иногда небольшой слой грунтов основания. Многолетнее оттаивание распространяется на значительно большую глубину. В районах с температурой ММП близкой к 0°C предельная глубина оттаивания определяется мощностью многолетнемерзлых толщ и сроком эксплуатации дороги. Осадка оттаивания происходит постоянно. Причинами многолетнего

оттаивания являются тепловое влияние земляного полотна, перенос тепла фильтрующей в основании насыпи водой и снегонакопление на откосах насыпи.

Глубина многолетнего оттаивания под откосом южной экспозиции обычно больше, чем под основной площадкой, в результате осадка откоса протекает более интенсивно, чем основной площадки и возле бровки откоса часто наблюдаются трещины в теле насыпи (откос как бы отваливается от насыпи), что является чрезвычайно опасным.

Перенос тепла фильтрующей в основании насыпи водой происходит в случае изменения гидрогеологической обстановки в результате перекрытия насыпью естественных водотоков и выхода из строя дренажной системы. Возле насыпи в этом случае с нагорной стороны образуются водоемы, появляется гидравлический напор и происходит напорная фильтрация воды в теле насыпи и ее основании. Теплоперенос тем больше, чем выше скорость фильтрации, что определяется гидравлическим напором и водопроницаемостью грунтов. В хорошо фильтрующих грунтах это может привести к интенсивному оттаиванию грунтов основания и серьезным деформациям насыпи.

Перечисленные причины позволяют наметить состав наблюдений для регистрации осадок насыпи и их прогноза на будущее. К ним относятся:

- регистрация высотных отметок нивелировочных марок, устанавливаемых на дневной поверхности в пределах основной площадки и откосов;
- наблюдения за глубиной сезонного промерзания-оттаивания в пределах основной площадки и откосов;
- наблюдения за температурой грунта в теле и основании насыпи;
- измерения высоты и плотности снега на основной площадке, откоса и в полосе отвода;
- регистрация уровня и температуры воды в водоеме возле насыпи в зоне разгрузки фильтрационного потока (в дренажной канаве);

- наблюдения за состоянием дренажной системы.

Расползание насыпи обуславливается выдавливанием из-под насыпи (выпор) или раздвижением в сторону (разжатие) слабого слоя талого грунта в основании насыпи под действием статической и динамической нагрузки. Выпор и раздвижение происходят в том случае, когда суммарная нагрузка превосходит прочность грунта против выпора и разжатия. Основной причиной расползания насыпи является обводнение грунтов основания. При этом обводнению могут подвергаться как оттаявшие грунты, так и талые. Особенно опасно обводнение тиксотропных грунтов, которые под действием динамической нагрузки от транспорта переходят в плавунное состояние и вытекают из-под насыпи. Расползание насыпей требует серьезных ремонтных работ, главным образом по устранению ее причины – выдавливания слабого слоя грунта, что достигается упрочнением грунта за счет его осушения или устройством механических препятствий выдавливанию в виде мерзлотных поясов по краю насыпи или каменных шпор.

Названная причина расползания насыпи требует дополнить состав перечисленных выше наблюдений периодическими измерениями влажности талого грунта в основании насыпи, а в случае установки мерзлотных поясов или каменных шпор – наблюдениями за их состоянием. Кроме того, необходимы наблюдения за горизонтальными перемещениями грунта вблизи подошвы насыпи.

Сезонное или многолетнее промерзание глинистых (включая пылеватые пески) водонасыщенных грунтов основания сопровождается их пучением, которое в свою очередь приводит к неравномерному подъёму полотна дороги и разрушению дорожного покрытия. Если в основании земляного полотна находятся водоносные горизонты, то при их промерзании появляется криогенный напор, который инициирует образование бугров пучения и наледей (в выемках). Во избежание этого явления устраивают различного рода подземные дренажи для разгрузки напорных вод.

Наблюдения за деформациями пучения должны включать дополнительный состав работ: наблюдения за вертикальными перемещениями грунта с помощью пучиномеров и поверхностных марок; наблюдения за уровнем грунтовых вод в основании земляного полотна; при наличии подземных дренажей – наблюдения за его работой (температурные измерения на глубине заложения дренажа).

Разрушение и оползание откосов насыпи и выемки могут происходить при обводнении грунтов и увеличении глубины оттаивания, а также под влиянием эрозии. Последняя возникает в результате формирования интенсивных потоков по откосу талых снеговых и дождевых вод. На откосах, сложенных крупнообломочными породами, возможно развитие поверхностного выноса мелкозема, результатом которого является неравномерная просадка поверхности откоса.

Наблюдения за целостностью и устойчивостью откоса должны вестись постоянно и включать инструментальные наблюдения за горизонтальными и вертикальными перемещениями грунта, глубиной сезонного оттаивания, влажностью, слагающих откос грунтов, и развитием появившихся на откосе промоин.

Режимные наблюдения за указанными деформациями земляного полотна ведутся на опорных профилях, пересекающих дорожную магистраль примерно под прямым углом и проходящую через земляное полотно и прилегающий к нему с двух сторон участок отчуждения дороги. Длина профиля зависит от конкретных геокриологических и технических условий и обычно не превышает 50 м. На профиле располагаются пункты наблюдений: реперные знаки, термометрические и гидрогеологические скважины, снегомерные рейки, мерзлотомеры, пучино- и осадкомеры и пр. Опорный профиль оборудуется на участке выделенного типа местности с характерным техническим решением (насыпь, выемка, косогор), в пределах которого по данным наземного (или аэровизуального) обследования трассы выявлены значительные деформации земляного полотна.

На профилях производится основной объем наблюдений, который включает контроль за:

- вертикальными перемещениями поверхности земляного полотна и прилегающего к земляному полотну участка профиля;
- горизонтальными перемещениями грунта возле подошвы откоса земляного полотна;
- температурой грунта в теле земляного полотна и его основании;
- влажностью грунта в основании земляного полотна;
- глубиной сезонного промерзания-оттаивания в пределах земляного полотна; осадками грунтов основания;
- пучением грунта слоя сезонного и многолетнего промерзания;
- высотой и плотностью снежного покрова в пределах всего профиля;
- уровнем грунтовых (надмерзлотных) вод в основании земляного полотна.

В заключении главы отметим, что все геокриологические исследования и наблюдения автодороги «Амур» должны не только констатировать те или иные характеристики геокриологической обстановки на трассе дороги, но и выявлять закономерные связи их с параметрами геолого-географической среды и техногенного воздействия при эксплуатации дороги. Это позволит оценивать возможные изменения инженерно-геокриологических условий и развитие опасных инженерно-геокриологических процессов и явлений, а также своевременно разрабатывать превентивные защитные мероприятия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на основе выполненных исследований решена актуальная научно-практическая задача разработки научно-методических основ геокриологического обеспечения стабильности земляного полотна Забайкальской части федеральной автомобильной дороги «Амур» Чита – Хабаровск на участках льдистых многолетнемерзлых грунтов, на примере перехода дороги через долину руч. Чичон, 247 км.

Основные научные и практические результаты, полученные при выполнении исследований:

1. Составлена, совместно с проф. Кондратьевым В.Г. и с.н.с. Соболевой С.В., по материалам изысканий ОАО «Иркутскгипродорнии» и других организаций обзорная схема мерзлотно-геоморфологического районирования трассы Забайкальской части федеральной автомобильной дороги «Амур» Чита – Хабаровск и крупномасштабные инженерно-геокриологические врезки на наиболее характерные (ключевые) участки, позволяющие охарактеризовать пространственные закономерности сложных и неоднородных инженерно-геокриологических условий в зависимости от геоморфологических, геолого-тектонических и ландшафтно-климатических условий трассы.

2. Разработана, совместно с проф. Кондратьевым В.Г. и проф. Л.С. Гарагулей, прогнозная оценка возможных изменений геокриологических условий трассы автодороги «Амур», показывающая высокую интенсивность их в естественных условиях и, в особенности, под воздействием техногенных факторов при строительстве и эксплуатации дороги. Установлено, что опасные инженерно-геокриологические процессы 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 инженерно-геокриологических условий и конструкций элементов дороги.

3. Выполнен анализ длительных деформаций автодороги «Амур», установлено, что главной причиной их является деградация многолетнемерзлых грунтов в основании дороги. Разработаны рекомендации по управлению температурным режимом земляного полотна на льдистых многолетнемерзлых грунтах Забайкальской части автодороги «Амур» путем регулирования теплоточков между земляным полотном и атмосферой, позволяющие своевременно назначать мероприятия по предотвращению деградацию многолетней мерзлоты и обеспечению стабильности дороги.

4. Выполнен анализ 16-летних деформаций автодороги «Амур» на переходе через руч. Чичон, инженерно-геокриологических условий участка и многократных попыток стабилизировать участок, что позволило выявить причины деформаций и определить пути решения проблемы.

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

В заключении отметим, что с начала изысканий дороги «Амур» прошло более 45 лет, строительство её заняло более 30, почти 5 лет продолжается постоянная эксплуатация дороги, поэтому необходимо к ближайшим задачам дальнейших исследований отнести проведение специального инженерно-

геокриологического обследования автодороги для установления кардинально изменившейся геокриологической обстановки в теле и основании земляного полотна, полосе отвода и на прилегающей территории, на площадках искусственных сооружений. С помощью космо- и аэрофотосъемки, геофизических методов [24], бурения, инженерно-геокриологического 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 криогенных процессов и явлений. 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.

На этой основе, с использованием математического и физического моделирования в сочетании с теплотехническими расчетами следует выполнить геокриологическое прогнозирование с целью получения научно обоснованного, конкретного в пространстве и времени представления о характере возможного изменения инженерно-геокриологической обстановки на трассе магистрали вследствие естественных природных процессов и техногенных воздействий при строительстве и эксплуатации автодороги. 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 криогенных процессов и явлений. Они в свою очередь станут исходными данными для разработки мероприятий по управлению инженерно-геокриологической обстановкой, цель которого –

создание оптимальных условий эксплуатации автомагистрали и охраны природы на прилегающей территории.

Необходимо обеспечить федеральную автомобильную дорогу «Амур» Чита – Хабаровск эффективной защитой от опасных инженерно-геокриологических процессов и явлений – 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 автодорога «Амур» будет обречена на перманентный ремонт, постоянные ограничения скорости движения автомобилей и колоссальные в связи с этим финансовые и материальные потери государства и населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Опубликованная литература

1. **Алексеев В.Р.** Закономерности распространения многолетнемерзлых горных пород на юго-востоке Сибирской платформы // Геокриологические условия Забайкалья и Прибайкалья. М.: Наука, 1967. – С. 177–121.
2. **Алисов Б.П.** Климат СССР. М.: МГУ, 1956.
3. **Барашкова Е.П., Гаевский В.Л., Дьяченко Л.Н. и др.** Радиационный режим территории СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1961.
4. **Будыко М.И.** Тепловой баланс земной поверхности. Л.: Гидрометеиздат, 1956.
5. **ВСН 46-83** Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. Минтрансстрой СССР. – М.: Транспорт, 1985.
6. **ВСН 84-85** Изыскания, проектирование и строительство автомобильных дорог в районах распространения вечномерзлых грунтов. М., 1985.
7. **ВСН 84-89** Изыскания, проектирование и строительство автомобильных дорог в районах распространения вечной мерзлоты. М., 1989.
8. **ВСН 176-78** Инструкция по проектированию и постройке металлических гофрированных водопропускных труб. Минтрансстрой, МПС СССР. М., 1979. – 130 с.
9. **Гаврилова М.К.** Современный климат и вечная мерзлота на континентах. Новосибирск: Наука, 1981. – 112 с.
10. **Гарагуля Л.С.** Методика прогнозной оценки антропогенных изменений мерзлотных условий. М.: Изд-во МГУ, 1985. – 224 с.
11. **Геокриологические условия** зоны Байкало-Амурской магистрали. Якутск, Изд-во ИМ СО АН СССР, 1980.
12. **Геокриология СССР.** / Под ред. Э.Д. Ершова. – М.: Недра. Т. V. Горные страны юга СССР, 1989. – 359 с.
13. **Геология и сейсмичность** зоны БАМ. Инженерная геология. Новосибирск, Наука, 1984.
14. **ГОСТ 23279-85** Сетки арматурные сварные для железобетонных конструкций и изделий. М. НИИЖБ Госстроя СССР, 1985.
15. **ГОСТ 24847-81** Методы определения глубины сезонного промерзания грунтов, 1981.
16. **ГОСТ 25358-82** ГРУНТЫ Метод полевого определения температуры, 1982.
17. **ГОСТ 26262-84** ГРУНТЫ Методы полевого определения глубины сезонного оттаивания, 1984.

18. **Давыдов В.А., Бондарева Э.Д.** Изыскания и проектирование автомобильных дорог на многолетнемерзлых грунтах. Учеб. пособие; Сиб. автомоб.-дор. ин-т им. В. В. Куйбышева, 1989. – 79 с.
19. **Демидюк Л.М.** Особенности формирования температурного режима горных пород Читино-Ингодинской депрессии // Мерзлотные исследования, вып. 4. М.: Изд-во МГУ, 1964. – С. 95–101.
20. **Достовалов Б.Н., Кудрявцев В.А.** Общее мерзлотоведение. М.: Изд-во МГУ, 1967.
21. **Еленевский В.В. и Низовкин Г.А.** Железнодорожное строительство в условиях мерзлоты. М.: Трансжелдориздат, 1936.
22. **Ершов Э.Д.** Общая геокриология: Учебник. – М.: Изд-во МГУ, 2002.
23. **Зайцев С.В., Костромин М.В. и др.** Плотина из местных материалов на высокольдистых основаниях в суровых климатических условиях. Авторское свидетельство на изобретение № 1434814.
24. **Зыков Ю.Д.** Геофизические методы исследования криолитозоны. М.: Изд-во МГУ, 1999. – 243 с.
25. **Иванов Н.Ф.** «Амур» собирает Россию. М.: Информавтодор, 2003. – 200 с.
26. **Инженерная геология СССР. Т. 3. Восточная Сибирь.** М., Изд-во МГУ, 1977.
27. **Исследование устойчивости** земляного полотна железных дорог в районах вечной мерзлоты / Сб. науч. трудов. Под ред. Перетрухина Н.А, М. ЦНИИС, 1987. –130 с.
28. **Кагановская С.Е.** Некоторые вопросы охраны окружающей среды в связи с устройством насыпей и пористых подсыпок на вечномерзлых грунтах // Охрана окружающей среды в связи с хозяйственным освоением области распространения многолетнемерзлых пород. Якутск, 1975. – С. 67–71.
29. **Климатические** параметры зоны освоения БАМ. Л., Гидрометеиздат, 1977.
30. **Кондратьев В.Г.** Насыпь на участках с поперечным уклоном местности и сильнольдистыми вечномерзлыми грунтами. Патент на изобретение № 1807173, 1993.
31. **Кондратьев В.Г.** Новые способы укрепления основания железнодорожного земляного полотна на сильнольдистых вечномерзлых грунтах // Ж.-д. транспорт. Сер. «Строительство. Проектирование»: ЭИ/ЦНИИТЭИ МПС. – 1995.– Вып. 1.
32. **Кондратьев В.Г.** Концепция системы мониторинга опасных наледных процессов на территории Читинской области. Чита: Забтранс, 2000.
33. **Кондратьев В.Г.** О геокриологическом обосновании изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации автодороги Чита-Хабаровск. // Материалы

научно-практической конференции «Проблемы проектирования и строительства автомобильной дороги Чита-Хабаровск. Иркутск, 2003. – С.157–163.

34. Кондратьев В.Г. Не повторить ошибок БАМа // Дороги России XXI. 2003, № 5. – С.17–19.

35. Кондратьев В.Г. Цинхай-Тибетская ж.д.: грандиозная попытка решить проблему стабильности земляного полотна на вечной мерзлоте // Геотехника, № 1, 2011.

36. Кондратьев В.Г. Стабилизация земляного полотна на вечномерзлых грунтах. – Чита: Забтранс, 2011.

37. Кондратьев В.Г., Бройд И.И. Способ укрепления основания земляного полотна на сильнольдистых вечномерзлых грунтах. Патент на изобретение 2074928, 1994.

38. Кондратьев В.Г., Бронников В.А., Пузиков А.Г. Первый опыт охлаждения массива многолетнемерзлых грунтов путем регулирования теплотоков через его поверхность // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2016. № 2 (22). – С. 66–73.

39. Кондратьев В.Г., Валиев Н.А. Стабилизация земляного полотна центрального участка БАМ с помощью солнцезащитных навесов // Сб. докл. межд. науч.-техн. конф. Казахстан-Холод 2016 (1-2 марта 2016 г.) – Алматы: АТУ, 2016. – С. 65–72.

40. Кондратьев В.Г., Дементьев А.Д., Кондратьев С.В. 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.

41. Кондратьев В.Г., Ерошенко В.Н., Шестаков В.Г. Солнцезащитные навесы для укрепления основания земляного полотна дорог на вечномерзлых грунтах // Транспортное строительство. 1998. № 8. – С. 48–61.

42. 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. Междунар. научно-практич. конф., посвященная 80-летию Сибирского гос. ун-та путей сообщения. Тезисы конф. Ч. 1. Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2012. –С. 19–20.

43. 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»: сб. науч. тр.», МАДИ. – М.: ТехПолиграфЦентр, 2013. – С. 70–81.

44. 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.

45. 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.

46. 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 (Москва, 21 марта 2014) – М.: ГЕОС, 2014. – С. 407–412.

47. Кондратьев В.Г., Королев А.А., Карлинский М.И., Позин В.А. и Розанов А.С. Железнодорожный путь на сильнольдистых вечномерзлых грунтах. Патент на изобретение № 1740555, 1992.

48. Кондратьев В.Г., Королев А.А., Карлинский М.И., Позин В.А. и Розанов А.С. Способ укрепления основания земляного полотна на сильнольдистых грунтах. Патент на изобретение 1764371, 1992.

49. Кондратьев В.Г., Карлинский М.И., Савельев Б.А. и Соколов А.В. Насыпь на сильнольдистых вечномерзлых грунтах. Патент на изобретение № 2010919, 1993.

50. Кондратьев В.Г., Кобзев В.А. и Гусаков В.А. Насыпь на косогорных участках местности с сильнольдистыми многолетнемерзлыми грунтами. Патент на изобретение № 2059752, 1993.

51. Кондратьев В.Г., Соболева С.В. Концепция системы инженерно-геокриологического мониторинга автодороги «Амур» Чита-Хабаровск. Чита: Забтранс, 2010. – 176 с.

52. Королёв В.А. Мониторинг геологической среды. М.: Изд-во МГУ, 1995. – 272 с.

53. Кудояров Л.И. и др. Плотины из грунтовых материалов в районах Крайнего Севера и вечной мерзлоты. Л., ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1973.

54. Кудрявцев В.А. Температура верхних горизонтов вечномерзлой толщи в пределах СССР- М.: Изд-во АН СССР, 1954. – 182 с.

55. Кудрявцев В.А., Ершов Э.Д. Принципы управления мерзлотными процессами. // Мерзлотные исследования. – М.: Изд-во МГУ, 1969₁. – Вып. IX.

56. Кудрявцев В.А., Ершов Э.Д. Классификационная схема приемов по направленному изменению мерзлотных условий // Мерзлотные исследования. – М.: Изд-во МГУ, 1969₂. – Вып. IX.

- 57. Лапердин В.К., Имаев В.С., Верхозин И.И., Качура Р.А., Имаева Л.П.** Опасные геологические процессы на юге Якутии и сопредельных территориях. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2011. – 240 с.
- 58. Лахтина О.В., Суходольская Л.А.** Динамика многолетнемерзлых пород в Забайкалье на протяжении позднего плейстоцена – голоцена. – В кн.: История развития многолетнемерзлых пород Евразии. М., 1981. – С. 113–125.
- 59. Лехатинов А.М.** Экзогенные геологические процессы и их прогноз: Зона БАМ и сопредельные территории: Автореф. дис. ... доктора геол.-мин. наук. Иркутск, ИЗК СО РАН, 2004. – 45 с.
- 60. Луговой П.Н.** Особенности геокриологических условий горных стран. – М., Наука, 1970.
- 61. Львов А.В.** Поиски и испытания источников водоснабжения на западной части Амурской железной дороги в условиях вечной мерзлоты. – Иркутск, 1916.
- 62. Лю Цзянькунь и Кондратьев В.Г.** Оценка влияния солнцезащитного навеса на температурный режим вечномёрзлых грунтов основания железнодорожной насыпи // Ж.-д. транспорт. Сер. «Строительство. Проектирование»: ЭИ/ЦНИИТЭИ МПС. – 1996. – Вып. 2.
- 63. Методика мерзлотной съёмки.** / Под ред. В.А. Кудрявцева. М.: Изд-во МГУ, 1979. – 358 с.
- 64. Методы геокриологических исследований.** / Под ред. Э.Д. Ершова. М.: Изд-во МГУ, 2004. – 512 с.
- 65. Методы определения механических свойств мёрзлых грунтов.** / Под ред. Э.Д. Ершова, Л.Т. Роман. М.: Изд-во МГУ, 1995. – 181 с.
- 66. Методические рекомендации по стационарному изучению криогенных процессов.** / Под ред. В.Л. Невечери. М., ВСЕГИНГЕО, 1979.
- 67. Некрасов И.А., Климовский И.В.** Вечная мерзлота зоны БАМ. – Новосибирск, Наука, 1978.
- 68. Основы геокриологии (мерзловедения), ч. II.** / Под ред. П.Ф. Швецова. М., Изд-во АН СССР, 1959.
- 69. Основы мерзлотного прогноза при инженерно-геологических исследованиях.** – М.: Изд-во МГУ, 1974.
- 70. Осокин И.М.** Особенности радиационного режима в Забайкалье // Сибирский географический сборник. Вып. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1962.
- 71. Осипов В.И.** Природные опасности и стратегические риски в мире и в России // Экология и жизнь, № 11-12 (96-97), 2009. – С. 6–16. <http://www.ecolife.ru>

- 72 Павлов А.В.** Расчёт и регулирование мерзлотного процесса почвы. – Новосибирск, 1980.
- 73 Перетрухин Н.А., Потатуева Т.В.** Взаимодействие земляного полотна и вечномерзлых грунтов. – Томск: Изд-во Том. Ун-та, 1987. – 160 с.
- 74 Романовский Н.Н.** О новом методе создания мерзлотных поясов для борьбы с наледями при помощи навесов // Мерзлотные исследования. Вып. III. Изд-во МГУ, 1963.
- 75 Сергеев Е.М.** Инженерная геология. — М.: Знание, 1985. – 48 с.
- 76 СНиП 2.02.04-88** Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. ВНИИОСП им. Н.М. Герсеванова Госстроя СССР, 1990.
- 77 СНиП 2.05.02-85** Автомобильные дороги. Союздорнии Минтрансстроя, 1985.
- 78 СНиП 2.05.03-84*** Мосты и трубы. ЦНИИС, Минтрансстрой, МПС, 1984.
- 79 СНиП 23-01-99.** Строит. климатология. М.: ИИТП Госстроя СССР, 2000. –73 с.
- 80 СП 11-105-97.** Инженерно-геологические изыскания для строительства. Ч. IV. Правила производства работ в районах распространения многолетнемерзлых грунтов. М.: ПНИИИС Госстроя России, 1999. – 60 с.
- 81 Стаценко В.П.** Части зданий. – СПб., 1912.
- 82 Сумгин М.И.** Вечная мерзлота почвы в пределах СССР, изд. 1. Владивосток, 1927; изд. 2. М., 1937.
- 83 Типовой проект** серии 3.501.1-112.97. Трубы водопропускные круглые железобетонные сборные из длинномерных звеньев (для опытного применения). – Вып. 0–1. СПб.: Трансмост, 1998.
- 84 Типовой проект серии** 3.501.1-168. – Вып. 0–1. СПб.: Трансмост, 1998.
- 85 Типовые материалы** для проектирования 503-0-48.87 Земляное полотно автомобильных дорог общего пользования. Союздорпроект Минтрансстроя СССР, 1987.
- 86 Типовые проектные решения** серии 3.501.1-156. Укрепление русел, конусов и откосов насыпи у малых и средних мостов и водопропускных труб. Ленгипротранс Минтрансстроя СССР, 1988.
- 87 Типовые** строительные конструкции, изделия и узлы. Серия 3.501.1-177.93. Трубы водопропускные железобетонные прямоугольные сборные для автомобильных и железных дорог. – Вып. 0–2. СПб.: Трансмост, 1984.
- 88 Толстихин Н.И.** Подземные воды мерзлой зоны литосферы. Л., Госгеолтехиздат, 1951.
- 89 Трофимов В.Т.** Грунтоведение. Изд.6, перераб. и доп. М.: МГУ, 2005.
- 90 Филатов М.М.** Почвы бассейнов Урюмкана и Газимура (Забайкальской области // Труды почвенно-ботанических экспедиций по исследованию колонизационных

районов Азиатской России. Ч. I. Почвенные исследования 1909 года. – Вып. 6. Спб.: Типография Ю.Н. Эрлих (вл. А.Э. Коллинс), 1912. – 102 с.

91 Чжан Р.В. Проектирование, строительство и эксплуатация гидротехнических сооружений низкого напора в криолитозоне (на примере Якутии). – Якутск: ИМЗ СО РАН, 2000. – 158 с.

92 Шелопаев Е.И., Юрков Ф.Х. Строительство и эксплуатация автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты. – Красноярск, Красноярский рабочий, 1977.

93 Шестернев Д.М. Криогенные процессы Забайкалья. Новосибирск: Изд-во Сиб. отд-ния РАН, 2005. – 259 с.

94 Шполянская Н.А. Вечная мерзлота Забайкалья. М., Наука, 1978.

95 Щербакова Е.Я. Климат Восточной Сибири // Климат СССР. – Вып. 5. Л.: Гидрометеоиздат, 1961.

96 Berg R.L. and G.W. Aitken. Some passive methods of controlling geocryological conditions in roadway construction. Proc. North American Contribution 2nd International Conference on Permafrost, Yakutsk, USSR, 1973.

97 Berg R.L. and Esch, D.C. Effect of color and texture on the surface temperature of asphalt concrete pavements. Proc. 4th International Conf.on Permafrost, Fairbanks, Alaska, 1983.

98 Fulwilder C.W. and Aitken G.W. "Effect of surface color on thaw penetration beneath a pavement in the Arctic". Proc. 1st International Conference on Structural Design of Asphalt Pavements. Ann Arbor, Michigan, 1963.

99 Kondratiev V.G. Strengthening railroad roadbed bases constructed on icy permafrost soils. – Proc. of Eighth Int. Conf. on Cold Regions Engineering. Fairbanks, Alaska, 1996.

100 Niu Fujin, Shen Yongping. Guide of Field Excursion after Asian Conference on Permafrost (Aug. 10-16, 2006). Lanzhou, China, 2006. – 28 p.

101 Feng W., Ma W., Sun Zh. and et al. Radiation effect analysis of awning measure on the embankment slope field test in cold regions // Permafrost engineering. Proceeding of the IX international symposium, 3-7 September 2011, Mirny, Russia. – Якутск, 2011.

102 Roads and airfields in cold regions. ASCE, New York, 1996.

103 Wu Ziwang and et al. Roadbed engineering in permafrost regions. Lanzhou University, 1988.

104 Zarling J.P. and Breley A.W. Thaw stabilization of roadway embankments constructed over permafrost. Report NO FHWA-AK-RD-81-20, 1986.

Фондовые материалы

105 Геокриологическое обоснование изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации подъездного ж/д пути к Эльгинскому месторождению углей. М. ТрансИГЭМ. 2000-2002.

106 Кондратьев В.Г., Бройд И.И. Каталог противоналедных мероприятий. М. ТрансИГЭМ. 2003.

107 Материалы инженерно-геологических изысканий по трассе автодороги «Амур». Фонды Иркутскгипродорнии, Хаб-го ф-ла Гипродорнии, ДСД «Дальний Восток».

108 Отчет по теме «Инженерно-геокриологическое обследование и мониторинг участка земляного полотна дороги Тында-Ургал». М. Геологический ф-т МГУ, 1991.

109 Отчет по теме «Выявление причин деформаций земляного полотна федеральной автодороги Чита-Хабаровск и разработка рекомендаций по их устранению». Заключение о причинах деформаций земляного полотна на участке перехода автодороги через руч. Чичон, км 247. М. ТрансИГЭМ, 2002.

110 Отчет по теме «Инженерно-геокриологическое обоснование эксплуатации федеральной автомобильной дороги «Амур» Чита – Хабаровск». М. ТрансИГЭМ, 2005.

111 Отчет по теме «Разработка программы дополнительного обследования участка деформаций автодороги «Амур» Чита-Хабаровск в районе перехода через р.Чичон км 247, анализ материалов обследования и разработка рекомендаций по стабилизации». М. ТрансИГЭМ, 2006.

112 Отчет по теме «Обоснование применения солнцезащитных навесов для предотвращения деградации сильнольдистых многолетнемерзлых грунтов в основании земляного полотна железнодорожной линии Томмот - Кердем». М. ТрансИГЭМ, 2007.

113 Отчет по теме «Геокриологическое сопровождение проектирования развязки в разных уровнях на пересечении автодорог Улан-Удэ – Забайкальск и Чита – Смоленка – подъезд к автодороге Чита – Хабаровск (район Каштака)». М. «ТрансИГЭМ», 2011.

114 Отчет по теме «Анализ и обобщение имеющихся материалов по участку деформаций автодороги Р-297 «Амур» Чита – Хабаровск, км 247 для выявления причин деформации участка и определения путей его стабилизации», М. «ТрансИГЭМ», 2011.

115 Отчет по теме «Мерзлотно-геофизическое обследование участка деформаций автомобильной дороги Р-297 «Амур» Чита – Хабаровск, км 247». М. «ТрансИГЭМ», 2011.

116 Отчет по теме «Геокриологическое сопровождение изысканий и проектирования стабилизационных мероприятий на участке автомобильной дороги Р-297 «Амур» Чита – Хабаровск, км 247». М. «ТрансИГЭМ», 2012.

117 Проект на восстановление разрушенного оползневыми явлениями участка автодороги «Амур» Чита – Хабаровск км 246+950 – км 247+150. Хабаровск. Азимут, 2005.

118 Рабочая документация на строительство федеральной автодороги «Амур» на участке км 246 – км 248 в Читинской области. Иркутск, Иркутскгипродорнии, 1997.

119 Результаты обследования опасных наледей на территории Читинской обл. М. «ТрансИГЭМ», 1999-2002.

120 Рекомендации по противоналедным мероприятиям для водопропускных гофрированных металлических труб на км 1008 автодороги Чита – Хабаровск. М. «ТрансИГЭМ», 2003.

121 Рекомендации по противоналедным мероприятиям для водопропускных гофрированных металлических труб на км 1022 автодороги Чита – Хабаровск. М. «ТрансИГЭМ», 2003.

122 Технический отчет по результатам инженерных изысканий на федеральной автодороге «Амур» на участке км 246 – км 248 в Читинской области. Иркутск, Иркутскгипродорнии, 1997.

123 Технический отчет об инженерно-геологических изысканиях для научно-исследовательских работ по федеральной автомобильной дороге «Чита-Хабаровск» на участке км 246-км 248 (ПК 28+50 – 29+50) в Нерчинском районе Читинской области. Чита, Проектная контора Читиноблавтодора, 2002.

124 Технический отчет по результатам инженерных изысканий по объекту: «Автомобильная дорога «Амур» Чита – Хабаровск на участке км 234-277 (II стадия). Мост через р. Чичон (ПК 119 – ПК 129)». Инженерно-геологические изыскания. Иркутск, Иркутскгипродорнии, 2006.

125 Техническое предложение для разработки мероприятий по обеспечению эксплуатационной надежности и технической безопасности федеральной автодороги Чита – Хабаровск на участке глубокой выемки 390 км. М. «ТрансИГЭМ», 2003.

126 Швецов П.Ф. К основным положениям об инженерных приемах управления тепловым и механическим взаимодействием почв и горных пород с возведенными на них и в них сооружениями. Рукопись. Фонды Ин-та мерзлотоведения АН СССР, 1954.

Интернет-ресурсы

127 www.pogodaiklimat.ru

128 www.ecolife.ru

129 www.weather.gov.hk

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Схема мерзлотно-геоморфологического районирования
Забайкальской части трассы автодороги «Амур», км км 0 – 794
2. Инженерно-геокриологические условия участка км км 72 – 75
 - 2а. Схема микрорайонирования
 - 2б. Продольный профиль
 - 2в. Таблица
3. Инженерно-геокриологические условия участка км км 112 – 115
 - 3а. Схема микрорайонирования
 - 3б. Продольный профиль
 - 3в. Таблица
4. Инженерно-геокриологические условия участка км км 332 – 335
 - 4а. Схема микрорайонирования
 - 4б. Продольный профиль
 - 4в. Таблица
5. Инженерно-геокриологические условия участка км км 348 – 350
 - 5а. Схема микрорайонирования
 - 5б. Продольный профиль
 - 5в. Таблица
6. Инженерно-геокриологические условия участка км км 389 – 392
 - 6а. Схема микрорайонирования
 - 6б. Продольный профиль
 - 6в. Таблица
7. Инженерно-геокриологические условия участка км км 536 – 539
 - 7а. Схема микрорайонирования
 - 7б. Продольный профиль
 - 7в. Таблица
8. Инженерно-геокриологические условия участка км км 757 – 760
 - 8а. Схема микрорайонирования
 - 8б. Продольный профиль
 - 8в. Таблица

**Приложение 1. Схема мерзлотно-геоморфологического районирования Забайкальской части
трассы федеральной автомобильной дороги “АМУР” Чита-Хабаровск, км км 0 - 794**
(по материалам ТрансИГЭМ, 2004-2006 гг.; Кондратьеву В.Г. и Соболевой С.В., 2010 г.)



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Геоморфологические области

-  Даурское сводовое поднятие
-  Восточно-Забайкальская депрессия
-  Пришилкинская горно-долинная страна

 Могоча
Транссиб

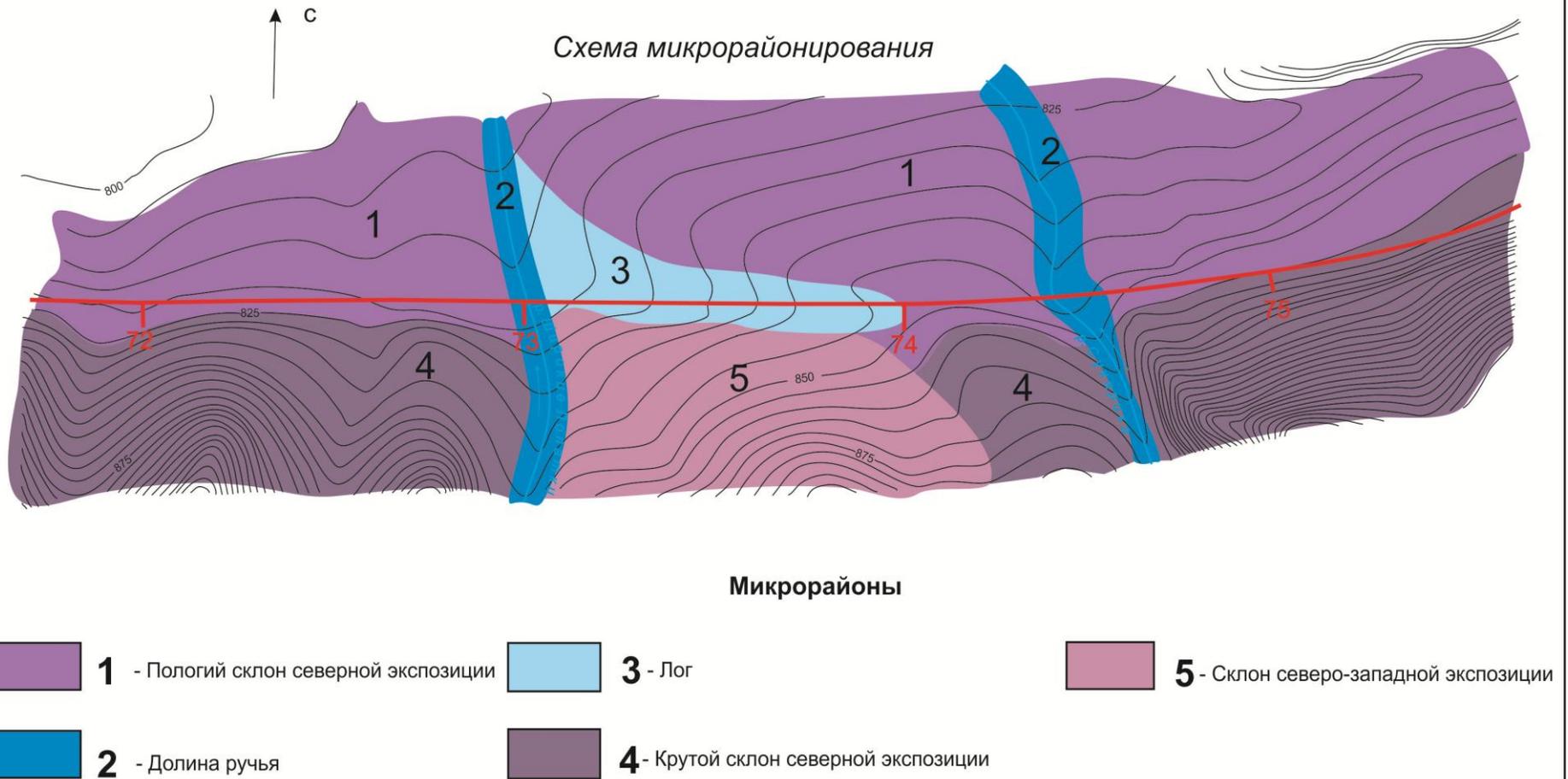
 Трасса автодороги “Амур”

Мерзлотные зоны

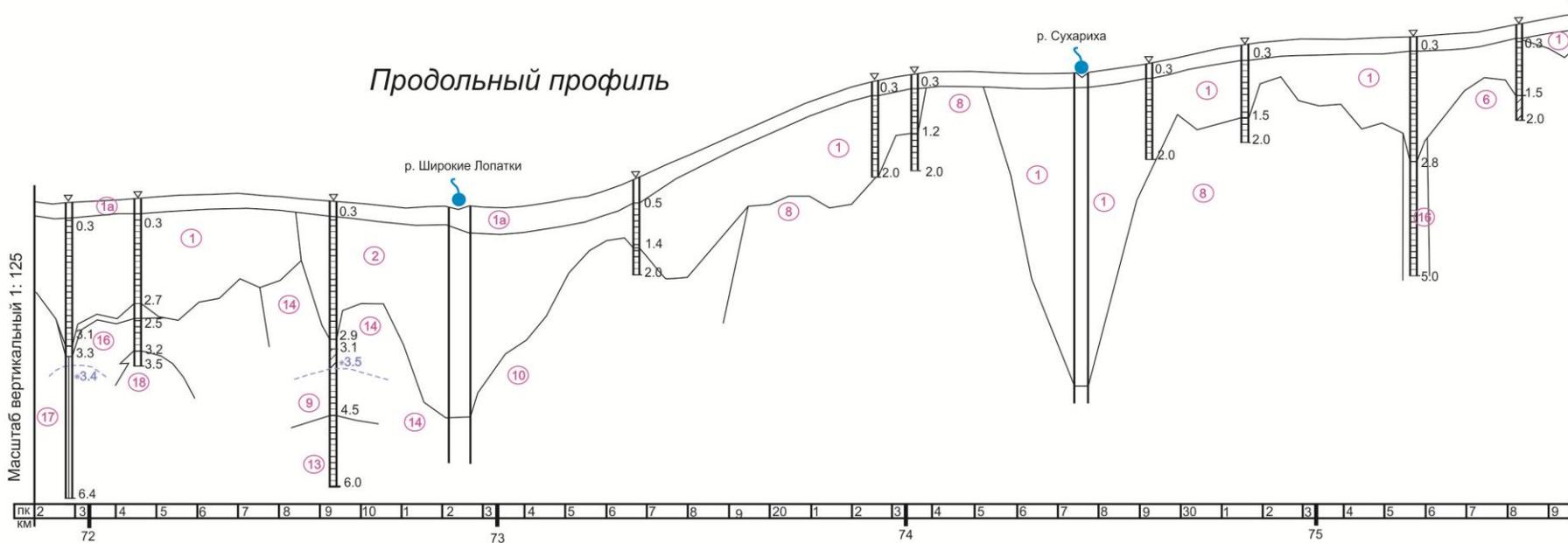
-  Зона несплошного распространения вечной мерзлоты с островами таликов
-  Зона сплошного распространения вечной мерзлоты
-  Условная граница между мерзлотными зонами

 112-115
Ключевые участки на отдельные километры трассы

Приложение 2 (а). Инженерно-геокриологические условия участка трассы федеральной автомобильной дороги “Амур” Чита-Хабаровск, км км 72-75
(по материалам ТранСИГЭМ, 2004-2006 гг.; Кондратьеву В.Г. и Соболевой С.В., 2010 г.)



Приложение 2 (б). Инженерно-геокриологические условия участка трассы федеральной автомобильной дороги “Амур” Чита-Хабаровск, км км 72-75
 (по материалам ТрансИГЭМ, 2004-2006 гг.; Кондратьеву В.Г. и Соболевой С.В., 2010 г.)



Условные обозначения

38 Инженерно-геологический элемент (ИГЭ)

2.9 Кровля многолетнемерзлых пород

Состояние грунтов

	Связных	Несвязных	Вечномерзлых
	твердые	сухие	без ледяных включений
	полутвердые	маловлажные	малольдистые
	тугопластичные	влажные	льдистые
	мягкопластичные	сильновлажные	сильнольдистые
	текучепластичные		
	текучие	водонасыщенные	
			морозные

ИГЭ	Наименование грунтов
1а	щебеночно-песчаная смесь
1	супесь песчаная щебенистая твердая
2	суглинок легкий песчанистый щебенистый твердый (нас. грунт)
6	песок гравелистый плотный влажный
8	супесь песчаная щебенистая твердая с примесью органических веществ
9	супесь песчаная с включением дресвы без лед. включений
10	суглинок легкий песчанистый с включением дресвы твердый
13	супесь песчаная малольдистая с примесью органических веществ
14	супесь песчаная мягкопластичная с примесью органических веществ
16	супесь песчаная твердая с примесью органических веществ
17	супесь песчаная льдистая слаботорфованная
18	гранит прочный неразмываемый слабовыветрелый

**Приложение 2 (в). Инженерно-геокриологические условия
участка трассы федеральной автомобильной дороги «Амур» Чита-Хабаровск, км км 72-75
(по материалам ТранСИГЭМ, 2004-2006 гг.; Кондратьеву В.Г. и Соболевой С.В., 2010 г.)**

Окончание таблицы

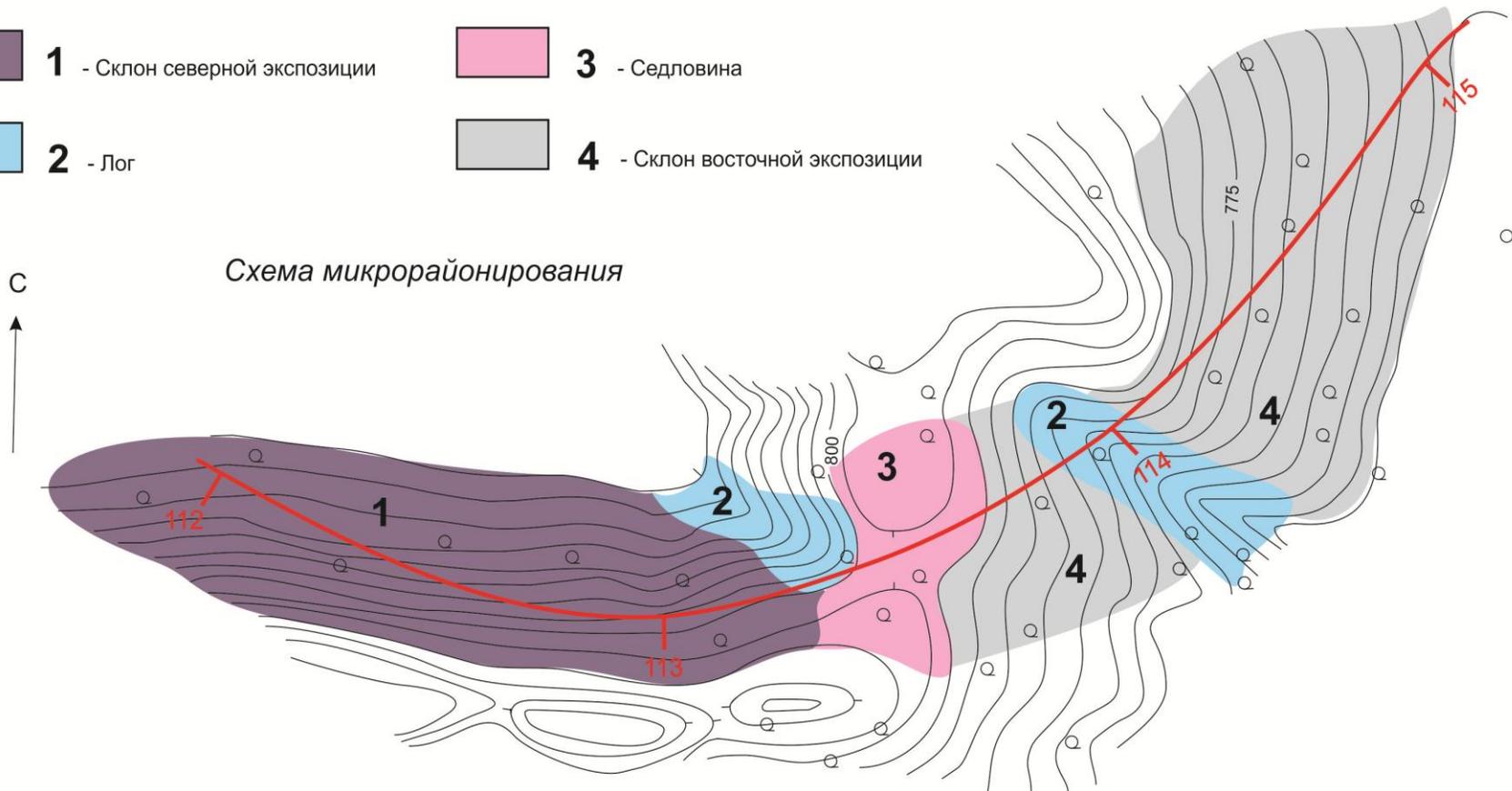
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>
3-Лог	редкий смешанный лес	не вскрыты	супесь песчанистая; суглинок песчанистый	прерывистое	Многолетне- мерзлые породы не установлены		8,3-14,6		2,3-2,8		14-23
4 - Крутой склон северной экспозиции		не вскрыты	супесь песчанистая; песок гравелистый		Многолетне- мерзлые породы не установлены		6,2-15,6		2,8-3,0		32-39

Приложение 3 (а). Инженерно-геокриологические условия участка трассы федеральной автомобильной дороги "Амур" Чита-Хабаровск, км км 112-115.
(по материалам ТранСИГЭМ, 2004-2006 гг.; Кондратьеву В.Г. и Соболевой С.В., 2010 г.)

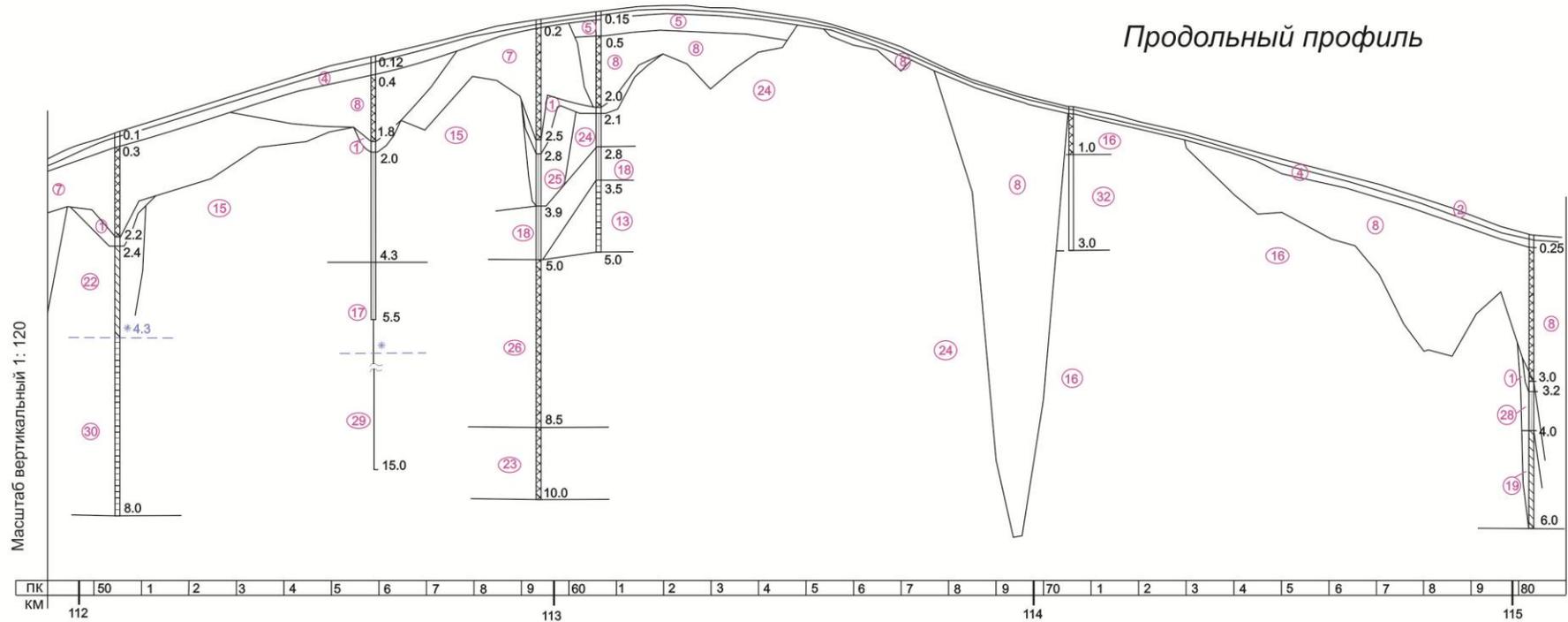
Микрорайоны

- | | | | |
|---|--------------------------------------|---|---------------------------------------|
|  | 1 - Склон северной экспозиции |  | 3 - Седловина |
|  | 2 - Лог |  | 4 - Склон восточной экспозиции |

Схема микрорайонирования



**Приложение 3 (б). Инженерно-геокриологические условия участка трассы
федеральной автомобильной дороги “Амур” Чита-Хабаровск, км км 112-115
(по материалам ТрансИГЭМ, 2004-2006 гг.; Кондратьеву В.Г. и Соболевой С.В., 2010 г.)**



Состояние грунтов

Условные обозначения

- 38 Инженерно-геологический элемент (ИГЭ)
- Кровля многолетнемерзлых пород

	Связных	Несвязных
	твердые	
	тугопластичные	маловлажные
	мягкопластичные	

ИГЭ	Наименование грунтов	ИГЭ	Наименование грунтов
1	почвенно-растительный слой	19	дресвяный грунт заполнитель суглинок мягкопластичный
2	асфальтобетон	22	суглинок легкий песчанистый щебенистый мягкопластичный слабозаторфованный
4	щебенисто-песчаная смесь	23	суглинок легкий песчанистый с включением дресвы твердый
5	щебенистый грунт	24	суглинок легкий песчанистый с включением дресвы тугопластичный
7	щебенистый грунт заполнитель супесь твердая	25	суглинок тяжелый песчанистый с включением дресвы тугопластичный
8	дресвяный грунт заполнитель супесь твердая	26	супесь песчанистая твердая
15	щебенистый грунт заполнитель суглинок тугопластичный	28	суглинок легкий песчанистый с примесью орг. в-в тугопластичный
16	дресвяный грунт заполнитель супесь твердая	30	дресвяный грунт заполнитель суглинок малольдистый
17	дресвяный грунт заполнитель супесь тугопластичная	32	гранит пониженной прочности размягчаемый слабыветрелый
18	дресвяный грунт заполнитель суглинок тугопластичный		

**Приложение 3 (в). Инженерно-геокриологические условия
участка трассы федеральной автомобильной дороги «Амур» Чита-Хабаровск, км км 112-115
(по материалам ТранСИГЭМ, 2004-2006 гг.; Кондратьеву В.Г. и Соболевой С.В., 2010 г.)**

Таблица

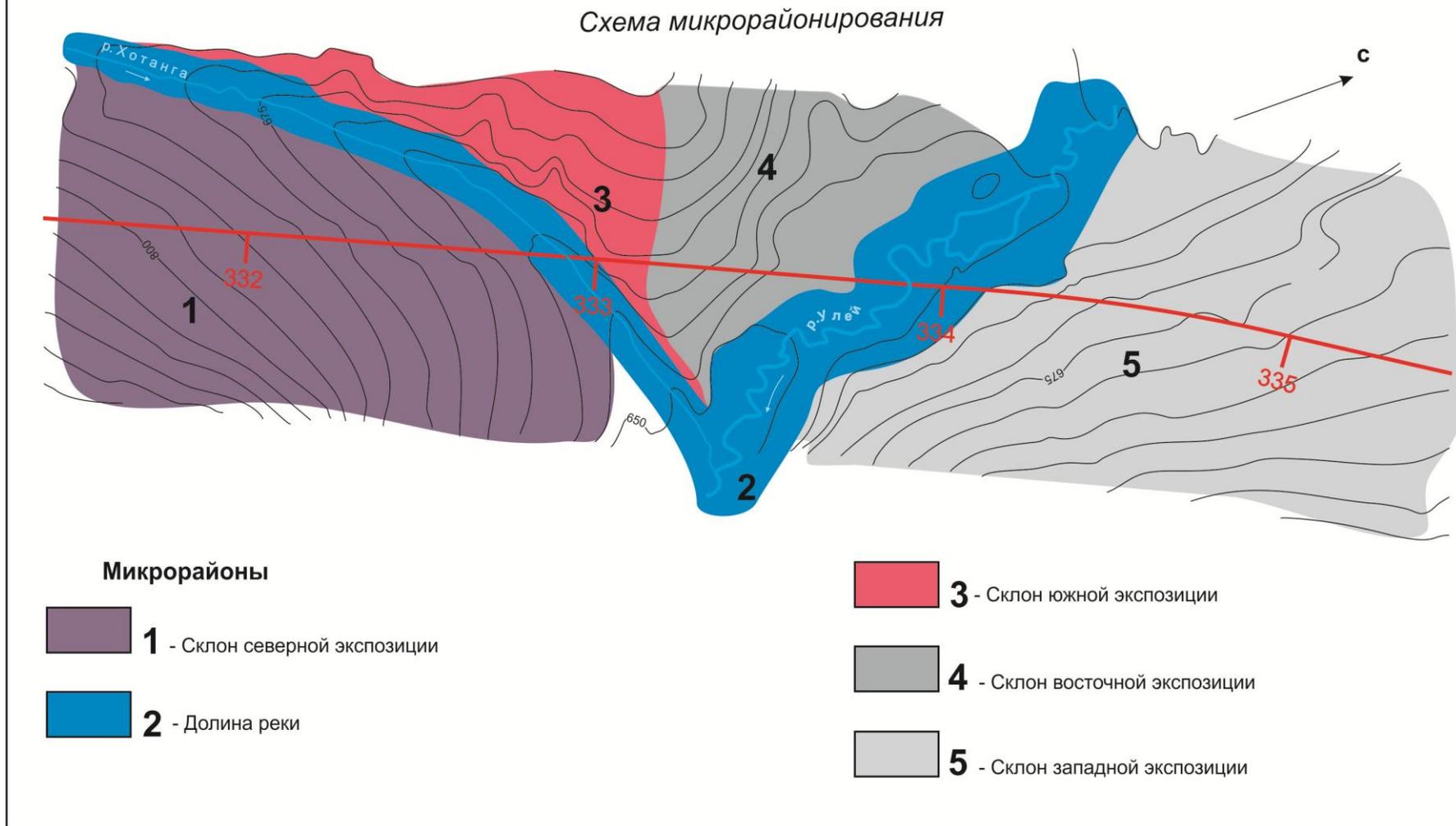
Микрорайон	Геоботанические условия	Геологические условия		Мерзлотные условия							Пересечение микрорайона автодорогой, ПК
		Коренные породы	Четвертичные отложения	Распространение многолетнемерзлых пород	Мощность, м	Криогенная текстура	Льдистость (влажность), %	Среднегодовая температура пород, °С	Глубина сезонного оттаивания (промерзания), м	Криогенные процессы и явления	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1- Склон северной экспозиции	редкий смешанный лес (береза, сосна)	не вскрыты	дресвяный и щебенистый грунт с различным заполнителем, суглинок мягко- и тугопластичный	неплошное, с островами и таликов	>15	массивная в дресвяном, щебенистом грунте; тонко- и редкослоистая в суглинках	в дресвяном и щебенистом грунте 3,9-19,5; в слаботорфованных суглинках – 35,3	от -1,0 до -1,3	2,2-4,3	ПК 50 – просадка, пучение грунтов	49-62
		не вскрыты	дресвяный и щебенистый грунт, суглинок		не вскрыта	массивная	5,5-16,0	от -1,0 до -1,3	?	пучение грунтов	62-63
		граниты непрочные выветрелые	дресвяный грунт, суглинок тугопластичный		не вскрыта	массивная	5,5-13,3	от -1,0 до -1,3	?	пучение грунтов	68-71

**Приложение 3 (в). Инженерно-геокриологические условия
участка трассы федеральной автомобильной дороги «Амур» Чита-Хабаровск, км км 112-115
(по материалам ТранСИГЭМ, 2004-2006 гг.; Кондратьеву В.Г. и Соболевой С.В., 2010 г.)**

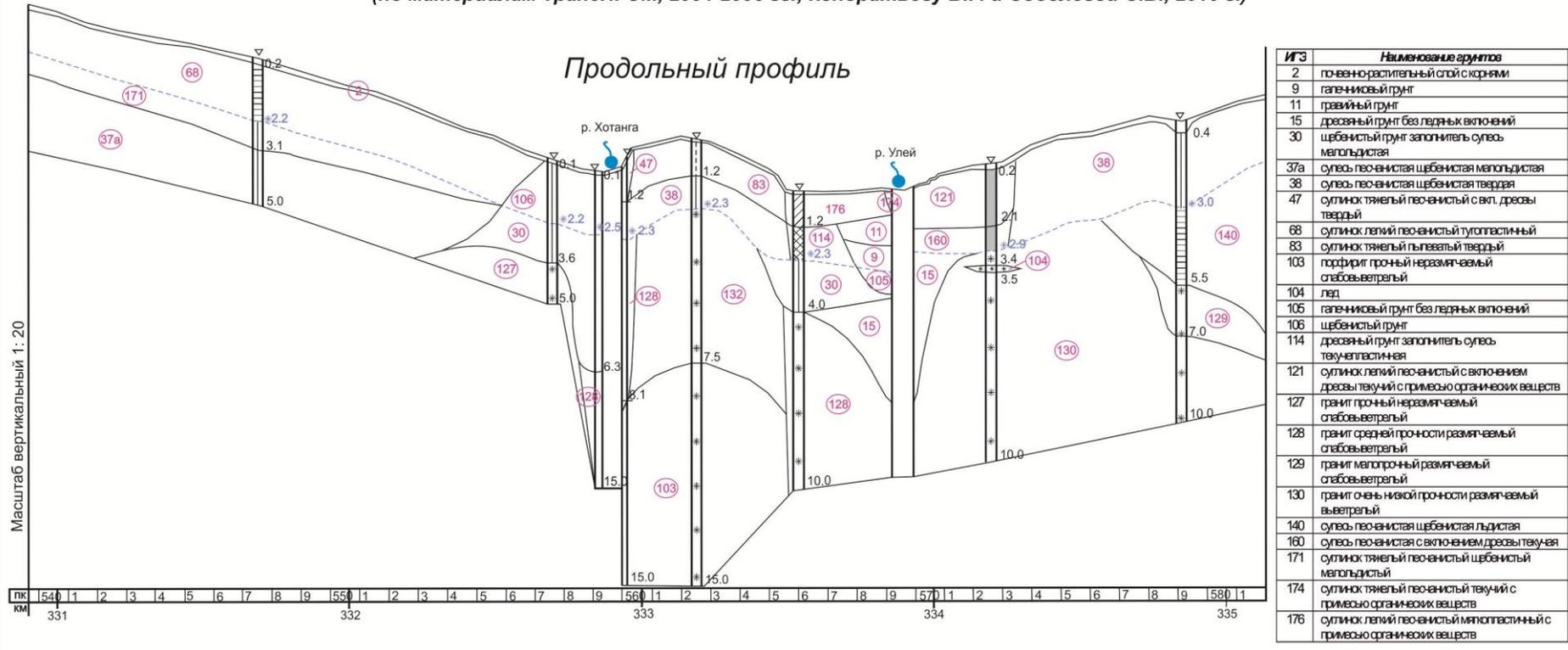
Окончание таблицы

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>
3-Седловина	редкий смешанный лес (береза, сосна)	не вскрыты	дресвяный грунт, суглинок тугопластичный, супесь твердая		не вскрыта	массивная	5,5-16,0	?	?	-	63 – 67
4- Склон восточной экспозиции		не вскрыты	дресвяный грунт, суглинок тугопластичный		не вскрыта	массивная	5,5-10,4	?	?	-	67- 68
		граниты непрочные выветрелые	дресвяный грунт, суглинок с примесью органических веществ		не вскрыта	массивная; тонко- и редко-слоистая в сулинке	5,3-23,0	?	?	пучение грунтов	71- 80

Приложение 4 (а). Инженерно-геокриологические условия участка трассы федеральной автомобильной дороги "Амур" Чита-Хабаровск, км км 332-335
 (по материалам ТрансИГЭМ, 2004-2006 гг.; Кондратьеву В.Г. и Соболевой С.В., 2010 г.)



Приложение 4 (б). Инженерно-геокриологические условия участка трассы федеральной автомобильной дороги “Амур” Чита-Хабаровск, км км 331-335
(по материалам ТрансИГЭМ, 2004-2006 гг.; Кондратьеву В.Г. и Соболевой С.В., 2010 г.)



ИГЭ	Наименование грунтов
2	почвенно-растительный слой с корнями
9	гапелниевый грунт
11	гравийный грунт
15	древяный грунт без ледяных включений
30	щебенистый грунт заполнитель супесь малольдистая
37a	супесь песчанистая щебенистая малольдистая
38	супесь песчанистая щебенистая твердая
47	сулинок тяжелый песчанистый с вкл. дресвы твердый
68	сулинок легкий песчанистый тугопластичный
83	сулинок тяжелый пылеватый твердый
103	порфирит прочный неразмываемый слабоветревший
104	лед
105	гапелниевый грунт без ледяных включений
106	щебенистый грунт
114	древяный грунт заполнитель супесь текучепластичная
121	сулинок легкий песчанистый с включением дресвы текучий с примесью органических веществ
127	гранит прочный неразмываемый слабоветревший
128	гранит средней прочности размываемый слабоветревший
129	гранит малопроцный размываемый слабоветревший
130	гранит очень низкой прочности размываемый выветревший
140	супесь песчанистая щебенистая льдистая
160	супесь песчанистая с включением дресвы текучая
171	сулинок тяжелый песчанистый щебенистый малольдистый
174	сулинок тяжелый песчанистый текучий с примесью органических веществ
176	сулинок легкий песчанистый мягкопластичный с примесью органических веществ

Условные обозначения

- 38 Инженерно-геологический элемент (ИГЭ)
- Кровля многолетнемерзлых пород

Состояние грунтов

	Связных	Несвязных	Вечномерзлых
	твердые	сухие	без ледяных включений
	полутвердые	маловлажные	малольдистые
	тугопластичные	влажные	льдистые
	мягкопластичные	сильновлажные	сильнольдистые
	текучепластичные		
	текучие	водонасыщенные	
			морозные

**Приложение 4 (в). Инженерно-геокриологические условия
участка трассы федеральной автомобильной дороги «Амур» Чита-Хабаровск, км км 332-335
(по материалам ТранСИГЭМ, 2004-2006 гг.; Кондратьеву В.Г. и Соболевой С.В., 2010 г.)**

Таблица

Микрорайон	Геоботанические условия	Состав пород		Мерзлотные условия							Пересечение микрорайона автодорогой, ПК
		Коренные породы	Четвертичные отложения	Распространение многолетнемерзлых пород	Мощность многолетнемерзлых пород, м	Криогенная текстура	Льдистость (влажность), %	Среднегодовая температура пород, °С	Глубина сезонного оттаивания (промерзания), м	Криогенные процессы и явления	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	1- Склон северной экспозиции	редкий смешанный лес, кочковатая заболоченная поверхность	гранит слабоветре-лый	сплошное	>15,0	массивная, тонко- и редко-слоистая	11,3-24,6	?	2,2	термо-карстовые просадки, морозобойное растрескивание	540-559
	Долина р. Хотанги	кочковатая заболоченная поверхность	порфирит слабоветре-лый, гранит слабоветре-лый		>15,0	массивная	11,3-20,7	от -0,9 до -0,1 на ПК559	2,4-2,8		559-561
	Долина р. Улей		гранит слабоветре-лый		не установ-лена	слоистая	22-25,5 в текучем суглинке-67,7	от -0,9 до -0,0 на ПК569	2,6-2,7		569-571

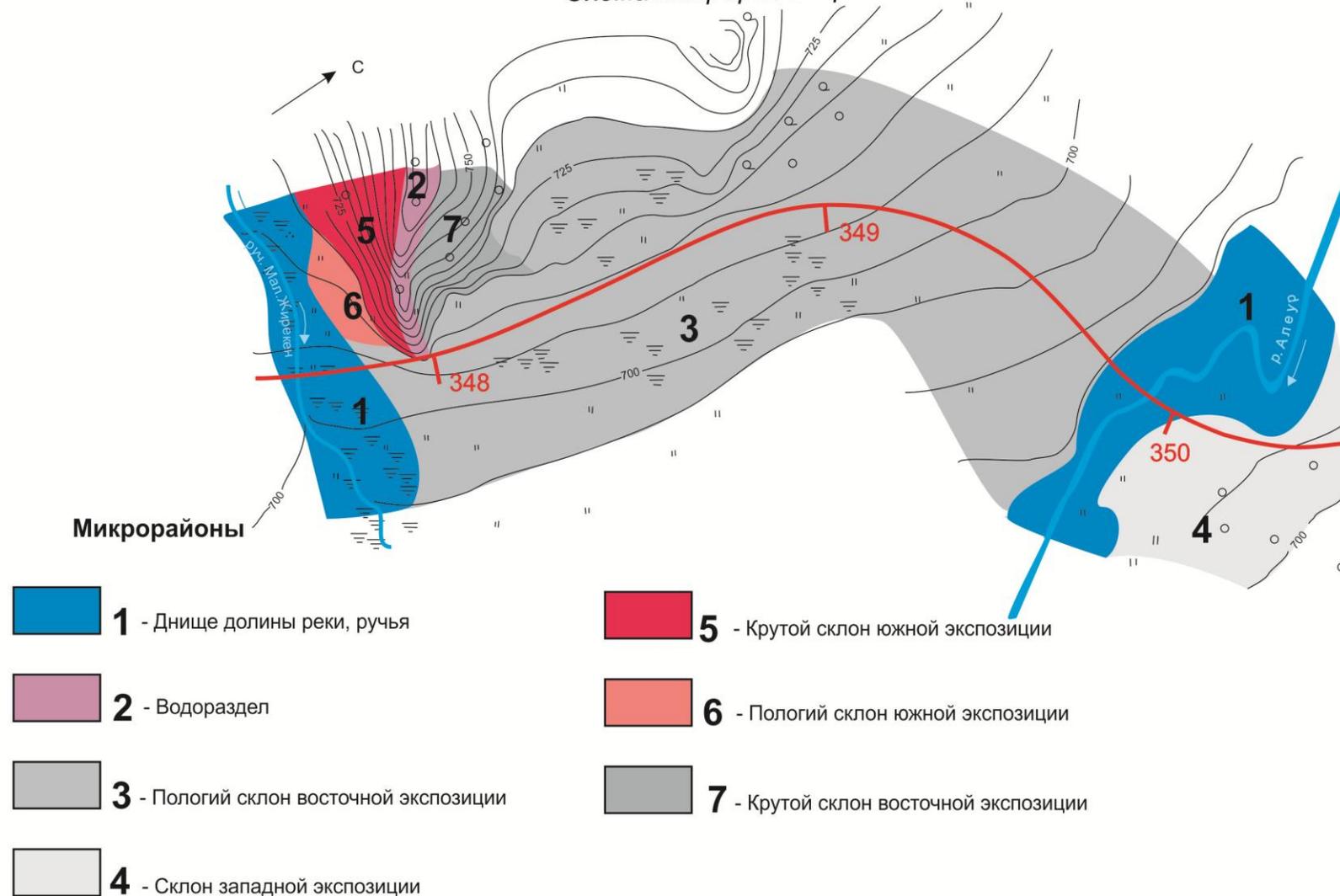
**Приложение 4 (в). Инженерно-геокриологические условия
участка трассы федеральной автомобильной дороги «Амур» Чита-Хабаровск, км км 332-335
(по материалам ТранСИГЭМ, 2004-2006 гг.; Кондратьеву В.Г. и Соболевой С.В., 2010 г.)**

Окончание таблицы

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>
3- Склон южной экспозиции	редкий смешанный лес	порфирит слабовеетрелый, гранит слабовеетрелый	супесь песчанистая; суглинок песчанистый	сплошное	>15,0	массивная	20-20,7	?	2,3		561-562
4- Склон восточной экспозиции		порфирит слабовеетрелый, гранит слабовеетрелый	суглинок песчанистый или пылеватый; супесь песчанистая; гравийный, галечниковый, дресвяный грунт		>15,0	массивная	20,6-20,7	?	2,3		562-569
5- Склон западной экспозиции		редкий смешанный лес, кочковатая заболоченная поверхность	гранит слабовеетрелый		супесь песчанистая, суглинок песчанистый; лед	>10,0	массивная, слоистая	14.9-26.0 в текучем суглинке-67,7	?		2,9-3,0

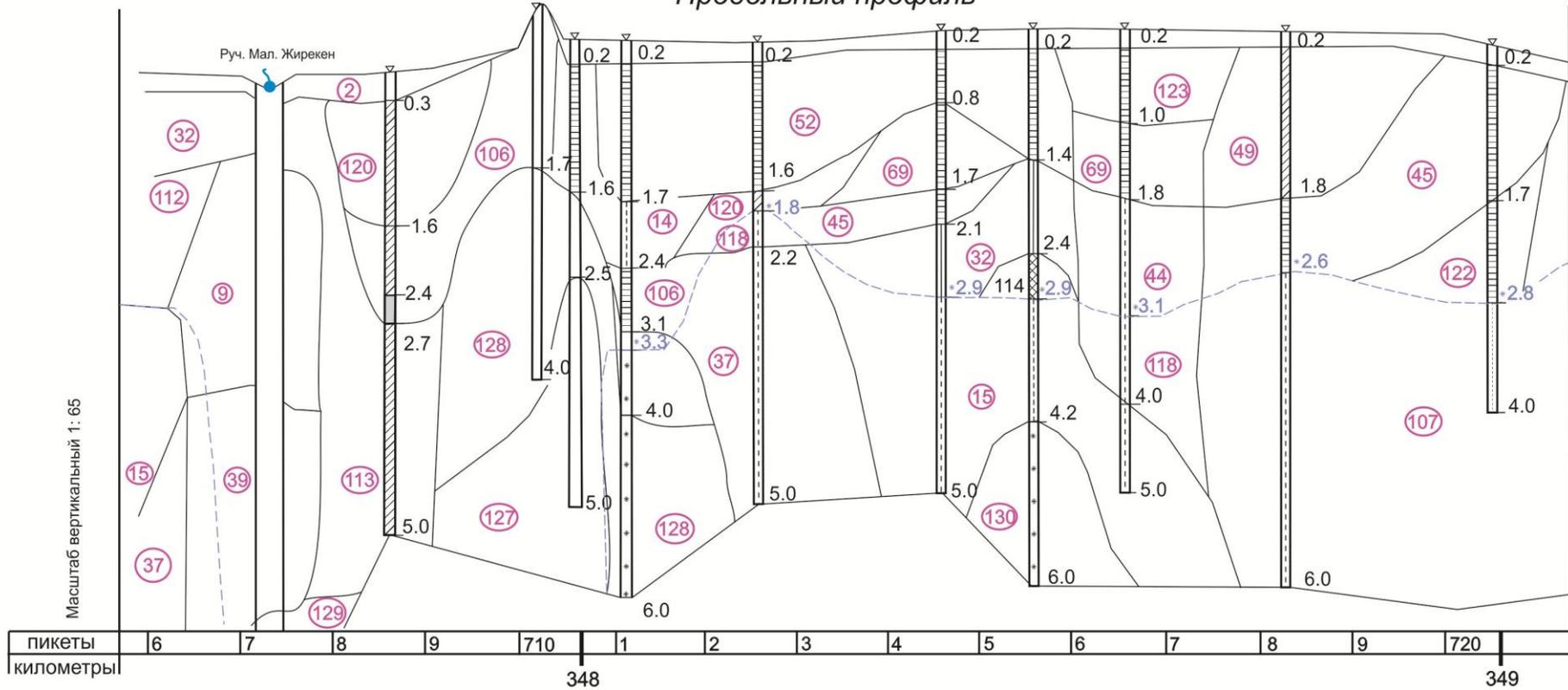
Приложение 5 (а). Инженерно-геокриологические условия участка трассы федеральной автомобильной дороги "Амур" Чита-Хабаровск, км км 348-350
(по материалам ТрансИГЭМ, 2004-2006 гг.; Кондратьеву В.Г. и Соболевой С.В., 2010 г.)

Схема микрорайонирования



Приложение 5 (б). Инженерно-геокриологические условия участка трассы федеральной автомобильной дороги "Амур" Чита-Хабаровск, км км 348-349
 (по материалам ТрансИГЭМ, 2004-2006 гг.; Кондратьеву В.Г. и Соболевой С.В., 2010 г.)

Продольный профиль



Условные обозначения

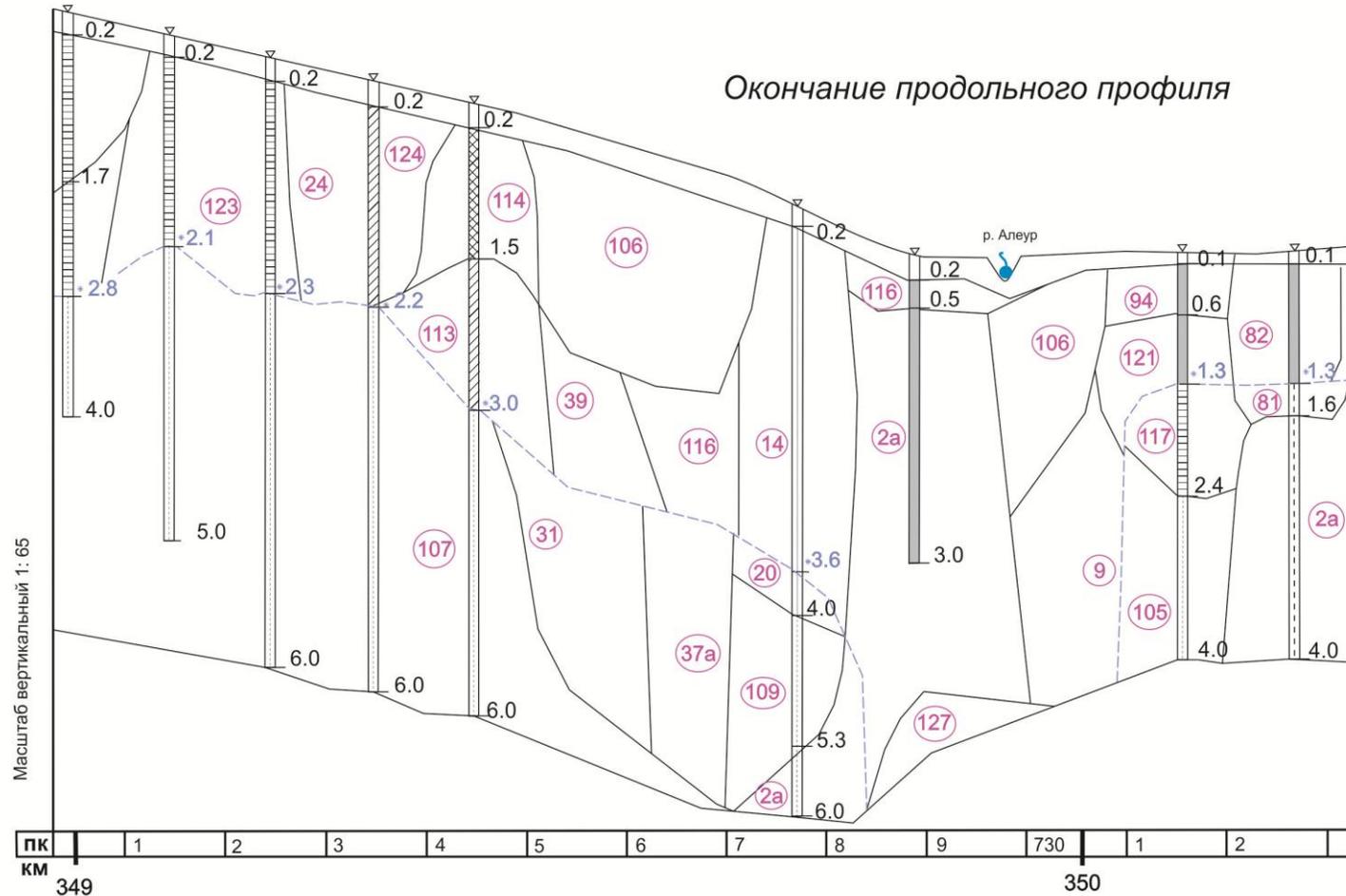
- 38 Инженерно-геологический элемент (ИГЭ)
- 2.9 Кровля многолетнемерзлых пород

Состояние грунтов

	Связных	Несвязных	Вечномерзлых		Связных	Несвязных	Вечномерзлых
	твердые	сухие	без ледяных включений		мягкопластичные	сильновлажные	сильнольдистые
	полутвердые	маловлажные	малольдистые		текучепластичные		
	тугопластичные	влажные	льдистые		текучие	водонасыщенные	
							морозные

Приложение 5 (в). Инженерно-геокриологические условия участка трассы федеральной автомобильной дороги "Амур" Чита-Хабаровск, км км 349-350
(по материалам ТрансИГЭМ, 2004-2006 гг.; Кондратьеву В.Г. и Соболевой С.В., 2010 г.)

Окончание продольного профиля



игэ	Наименование грунтов
2	почвенно-растительный слой
2a	глыбовый грунт водонасыщенный
9	галечниковый грунт
14	дресвяный грунт
15	дресвяный грунт без ледяных включений
20	песок средней крупности
31	дресвяный грунт заполнитель суглинок льдистый
32	дресвяный грунт заполнитель суглинок полутвердый
37	супесь песчаная щебенистая без лед.включений
37a	супесь песчаная щебенистая малольдистая
44	суглинок легкий песчаный щебенистый твердый
45	суглинок легкий песчаный щебенистый тугопластичный
49	суглинок тяжелый песчаный щебенистый мягкопластичный
52	суглинок тяжелый пылеватый с включением дресвы тугопластичный
69	суглинок легкий пылеватый тугопластичный с примесью орг. веществ
81	суглинок тяжелый пылеватый малольдистый
82	суглинок тяжелый песчаный текучий
94	глина легкая пылеватая текучая слабозаторфованная
105	галечниковый грунт без ледяных включений
106	щебенистый грунт с примесью орг. веществ
107	щебенистый грунт без ледяных включений
109	галечниковый грунт заполнитель супесь без лед. включений
112	дресвяный грунт заполнитель супесь текучая
113	дресвяный грунт заполнитель суглинок мягкопластичный
114	дресвяный грунт заполнитель суглинок текучепластичный

117	суглинок легкий песчаный с включением дресвы льдистый с примесью орг.в-в
118	суглинок легкий песчаный щебенистый без лед. включений с примесью орг.в-в
120	суглинок легкий песчаный щебенистый мягкопластичный
121	суглинок легкий песчаный с включением дресвы текучий с примесью орг.в-в
122	суглинок легкий пылеватый щебенистый тугопластичный
123	суглинок тяжелый пылеватый щебенистый тугопластичный с примесью орг.в-в

124	суглинок тяжелый пылеватый с включением дресвы мягкопластичный
127	гранит прочный размягчаемый слабыветрелый
128	гранит средней прочности размягчаемый слабыветрелый
129	гранит малопропрочный размягчаемый слабыветрелый
130	гранит низкой прочности размягчаемый выветрелый

**Приложение 5 (в). Инженерно-геокриологические условия
участка трассы федеральной автомобильной дороги «Амур» Чита-Хабаровск, км км 348-350
(по материалам ТранСИГЭМ, 2004-2006 гг.; Кондратьеву В.Г. и Соболевой С.В., 2010 г.)**

Таблица

Микрорайон	Геоботанические условия	Геологические условия		Мерзлотные условия							Пересечение микрорайона автодорогой, ПК
		Коренные породы	Четвертичные отложения	Распространение многолетнемерзлых пород	Мощность, м	Криогенная текстура	Льдистость (влажность), %	Среднегодовая температура пород, °С	Глубина сезонного оттаивания (промерзания), м	Криогенные процессы и явления	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1-	Долина руч. Мал. Жирекен	кустарниково-травянистая растительность и кочки	гранит малопрочный размягчаемый, слабоветрелый	несплошное, с островами таликов	4,6	массивная	8,7-16,0	?	2,6	пучение грунтов, наледи, заболоченность	705-709
	Долина р. Алеур	травянистая растительность и кочки	гранит прочный размягчаемый слабоветрелый		>6	массивная в галечниковом, щебенистом грунте; тонко- и редкослоистая в суглинке; средне- и частослоистая и сетчатая в глине	7,4-52,0; 69,7 в текучем суглинке; 116,9 в глине слабозаторфованной	?	1,3	пучение грунтов, наледи, заболоченность	728-731

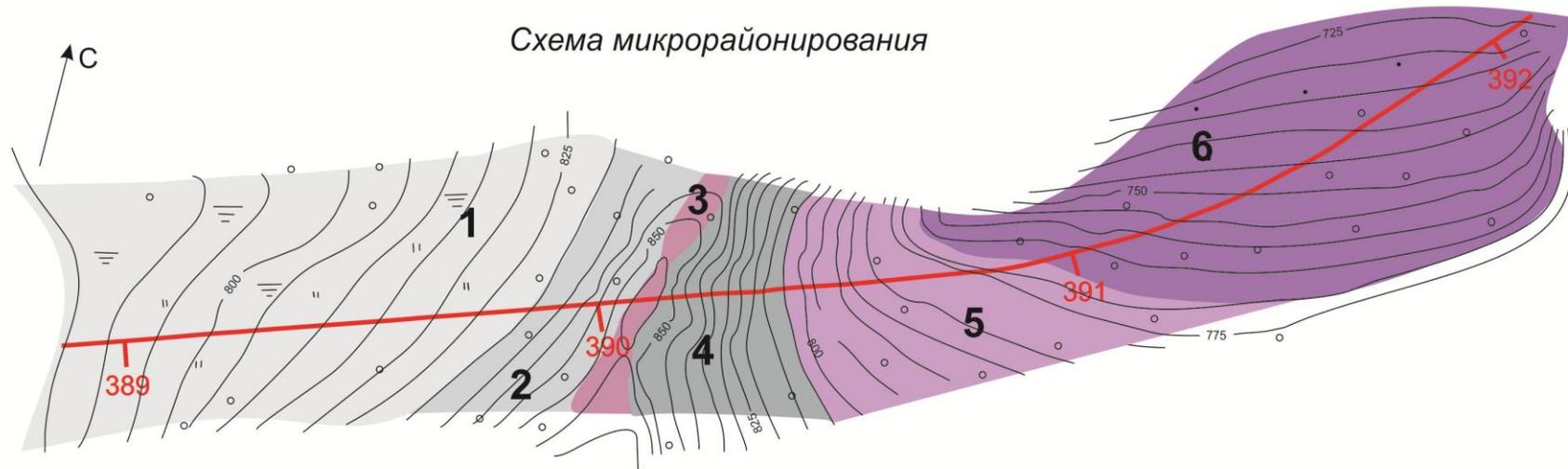
**Приложение 5 (в). Инженерно-геокриологические условия
участка трассы федеральной автомобильной дороги «Амур» Чита-Хабаровск, км км 348-350**
(по материалам ТранСИГЭМ, 2004-2006 гг.; Кондратьеву В.Г. и Соболевой С.В., 2010 г.)

Окончание таблицы

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>
2- Водораздел	кочковатая поверхность, поросшая чахлой болотной растительностью, мхом, кустарником	гранит прочный и средней прочности слабыветрелый	дресвяный и щебенистый грунт с примесью органических веществ		?	массивная	10,3-13,9	от 1,1 до -0,1	?	курумы	710-711
3- Пологий склон восточной экспозиции	то же	гранит средней и низкой прочности, выветрелый	галечниковый, дресвяный, щебенистый грунт; супесь, суглинок различной пластичности с включениями		>6	массивная в галечниковом, дресвяном, щебенистом грунте; слоистая в супеси и суглинке	7,4-22,1; 244,0 в супеси текучей	от 1,1 до -0,1	1,8-3,6	пучение грунтов, солифлюкция, заболоченность	711-728
4- Склон западной экспозиции	карликовая береза, багульник, шиповник.	гранит прочный, слабыветрелый	суглинок текучий, малольдистый с включениями дресвы и орг. в-в; глина слабозаторфованная; галечниковый грунт		>4	массивная и тонко-и редко-слоистая в суглинке; средне-и частослоистая в глине; массивная в галечниковом грунте	26,5-69,7; 116,9 в глине слабозаторфованной	от 0,0 до -3,7	?	пучение грунтов, солифлюкция, заболоченность	732-736

Примечание: микрорайоны 5, 6 и 7 в таблице не приводятся, т.к. дорогой не пересекаются

**Приложение 6 (а) Инженерно-геокриологические условия
участка трассы федеральной автомобильной дороги "Амур" км км 389-392**
(по материалам ТранСИГЭМ, 2004-2006 гг.; Кондратьеву В.Г. и Соболевой С.В., 2010 г.)

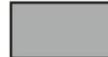


Микрорайоны

 **1** - Пологий склон западной экспозиции

 **2** - Крутой склон западной экспозиции

 **3** - Водораздел

 **4** - Крутой склон восточной экспозиции

 **5** - Склон северо-восточной экспозиции

 **6** - Пологий склон северной экспозиции

Приложение 6 (б) Инженерно-геокриологические условия участка трассы федеральной дороги “Амур” Чита-Хабаровск, км км 389-390
 (по материалам ТрансИГЭМ, 2004-2006 гг.; Кондратьеву В.Г. и Соболевой С.В., 2010 г.)

Продольный профиль



Состояние грунтов

	Связных	Несвязных	Вечномерзлых
	твердые	сухие	без ледяных включений
	полутвердые	маловлажные	малоледистые
	тугопластичные	влажные	ледистые
	мягкопластичные	сильновлажные	сильноледистые
	текучепластичные		
	текучие	водонасыщенные	
			морозные

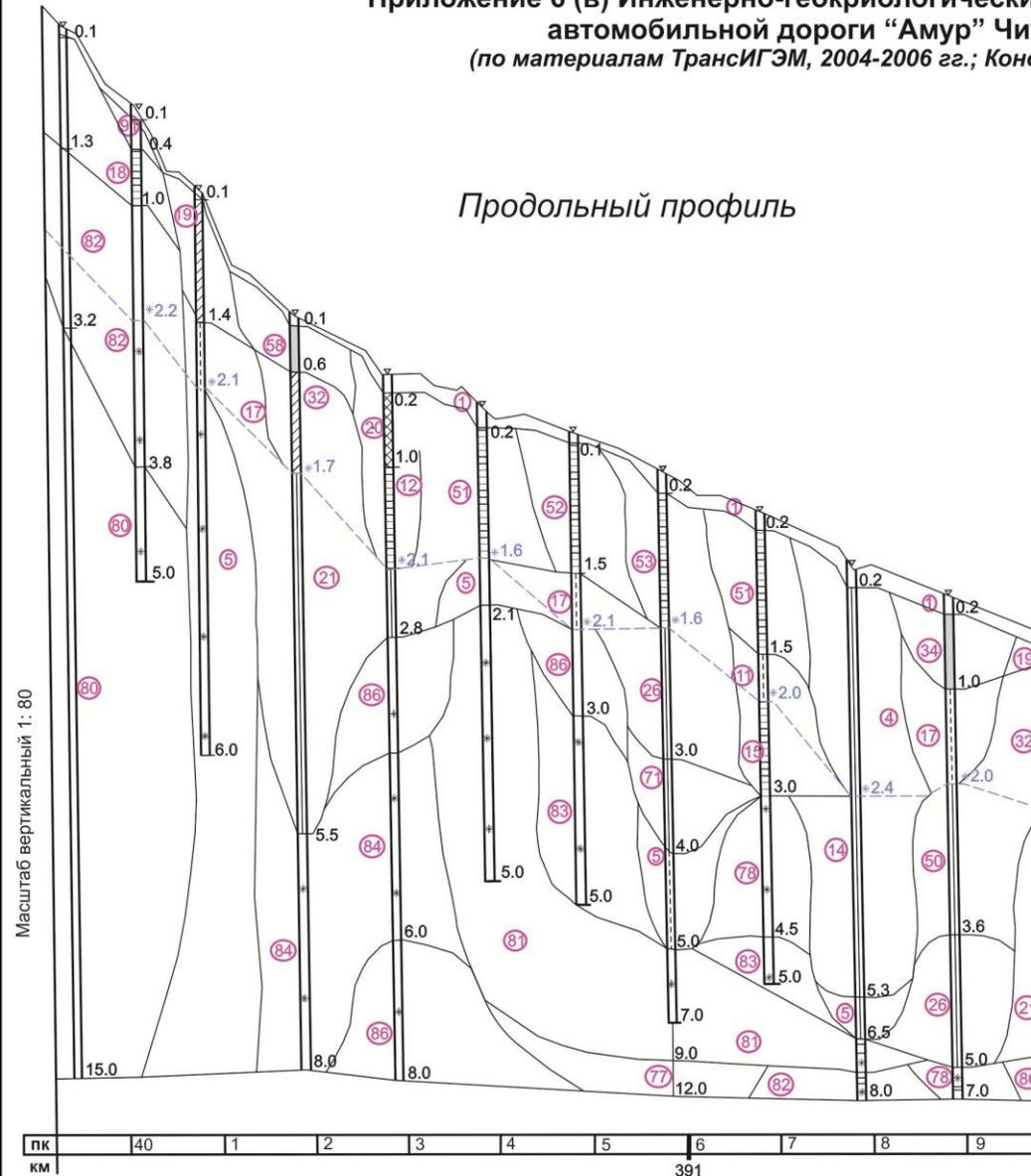
Условные обозначения

Инженерно-геологический элемент (ИГЭ)

Кровля многолетнемерзлых пород

**Приложение 6 (в) Инженерно-геокриологические условия участка трассы федеральной
автомобильной дороги "Амур" Чита-Хабаровск, км км 390-391
(по материалам ТрансИГЭМ, 2004-2006 гг.; Кондратьеву В.Г. и Соболеву С.В., 2010 г.)**

Продольный профиль



ИГЭ	Наименование грунтов
1	почвенно-растительный слой
2	торф средневолокнистый среднеразложившийся
4	дресвяный грунт
5	дресвяный грунт без ледяных включений
11	щебенистый грунт заполнитель супесь, суглинок твердые
12	щебенистый грунт заполнитель супесь, суглинок тугопластичные
14	щебенистый грунт заполнитель супесь, суглинок малольдистые
15	щебенистый грунт заполнитель супесь льдистая
17	дресвяный грунт заполнитель супесь, суглинок твердые
18	дресвяный грунт заполнитель супесь, суглинок тугопластичные
19	дресвяный грунт заполнитель супесь, суглинок мягкопластичные
20	дресвяный грунт заполнитель супесь текучая
21	дресвяный грунт заполнитель супесь, суглинок малольдистые
23	супесь легкая гравелистая текучая
26	супесь легкая щебенистая малольдистая
28	супесь легкая щебенистая твердая
31	супесь легкая щебенистая тугопластичная
32	супесь легкая щебенистая мягкопластичная
33	супесь легкая щебенистая текучепластичная
34	супесь легкая щебенистая текучая
36	супесь легкая с включением дресвы полутвердая
44	суглинок легкий гравелистый полутвердый
45	суглинок легкий гравелистый тугопластичный слабозаторфованный
50	суглинок легкий щебенистый малольдистый
51	суглинок легкий щебенистый тугопластичный
52	суглинок легкий щебенистый тугопластичный с включением глыб
53	суглинок легкий щебенистый тугопластичный слабозаторфованный
54	суглинок легкий щебенистый мягкопластичный
58	суглинок легкий щебенистый текучий слабозаторфованный
71	супесь легкая малольдистая
76	гранит очень прочный неразмягчаемый
77	гранит прочный неразмягчаемый трещиноватый
78	гранит прочный неразмягчаемый интенсивно трещиноватый
79	гранит средней прочности размягчаемый трещиноватый
80	гранит средней прочности размягчаемый интенсивно трещиноватый
81	гранит малопропрочный размягчаемый интенсивно трещиноватый
82	гранит пониженной прочности размягчаемый интенсивно трещиноватый
83	гранодиорит прочный неразмягчаемый трещиноватый
84	гранодиорит прочный неразмягчаемый интенсивно трещиноватый
86	гранодиорит средней прочности размягчаемый интенсивно трещиноватый
89	диабаз средней прочности размягчаемый
90	диабаз малопропрочный размягчаемый
91	глыбовый грунт

**Приложение 6 (в). Инженерно-геокриологические условия
участка трассы федеральной автомобильной дороги «Амур» Чита-Хабаровск, км км 389-392
(по материалам ТранСИГЭМ, 2004-2006 гг.; Кондратьеву В.Г. и Соболевой С.В., 2010 г.)**

Таблица

Микрорайон	Геоботанические условия	Геологические условия		Мерзлотные условия							Пересечение микрорайона автодорогой, ПК
		Коренные породы	Четвертичные отложения	Распространение многолетнемерзлых пород	Мощность, м	Криогенная текстура	Льдистость (влажность), %	Среднегодовая температура пород, °С	Глубина сезонного оттаивания (промерзания), м	Криогенные процессы и явления	
1- Пологий склон западной экспозиции	редкий березовый лес	гранит, гранодиорит различной прочности трещиноватый	торф; дресвяный, щебенистый грунт с различным заполнителем; супесь; суглинок тугопластичный	с п л о	>15	массивная в дресвяном, щебенистом грунте; тонко и редкослоистая в суглинке и супеси; частослоистая и сетчатая в торфе	5,7 - 34,3; в торфе - 880,3	от -0,2 до -1,1	1,8-2,7	ПК27 – ПК34 – заболачивание; ПК26-ПК27; ПК32-ПК34 – сезонное пучение грунтов	25 - 35
2- Крутой склон западной экспозиции	береза, лиственница	гранит различной прочности трещиноватый; диабаз размягчаемый	дресвяный грунт с различным заполнителем; супесь полутвердая	о ш н о е	>24	массивная	4,9-25,7		2,0	осыпи	35 - 37

**Приложение 6 (в). Инженерно-геокриологические условия
участка трассы федеральной автомобильной дороги «Амур» Чита-Хабаровск, км км 389-392
(по материалам ТранСИГЭМ, 2004-2006 гг.; Кондратьеву В.Г. и Соболевой С.В., 2010 г.)**

Окончание таблицы

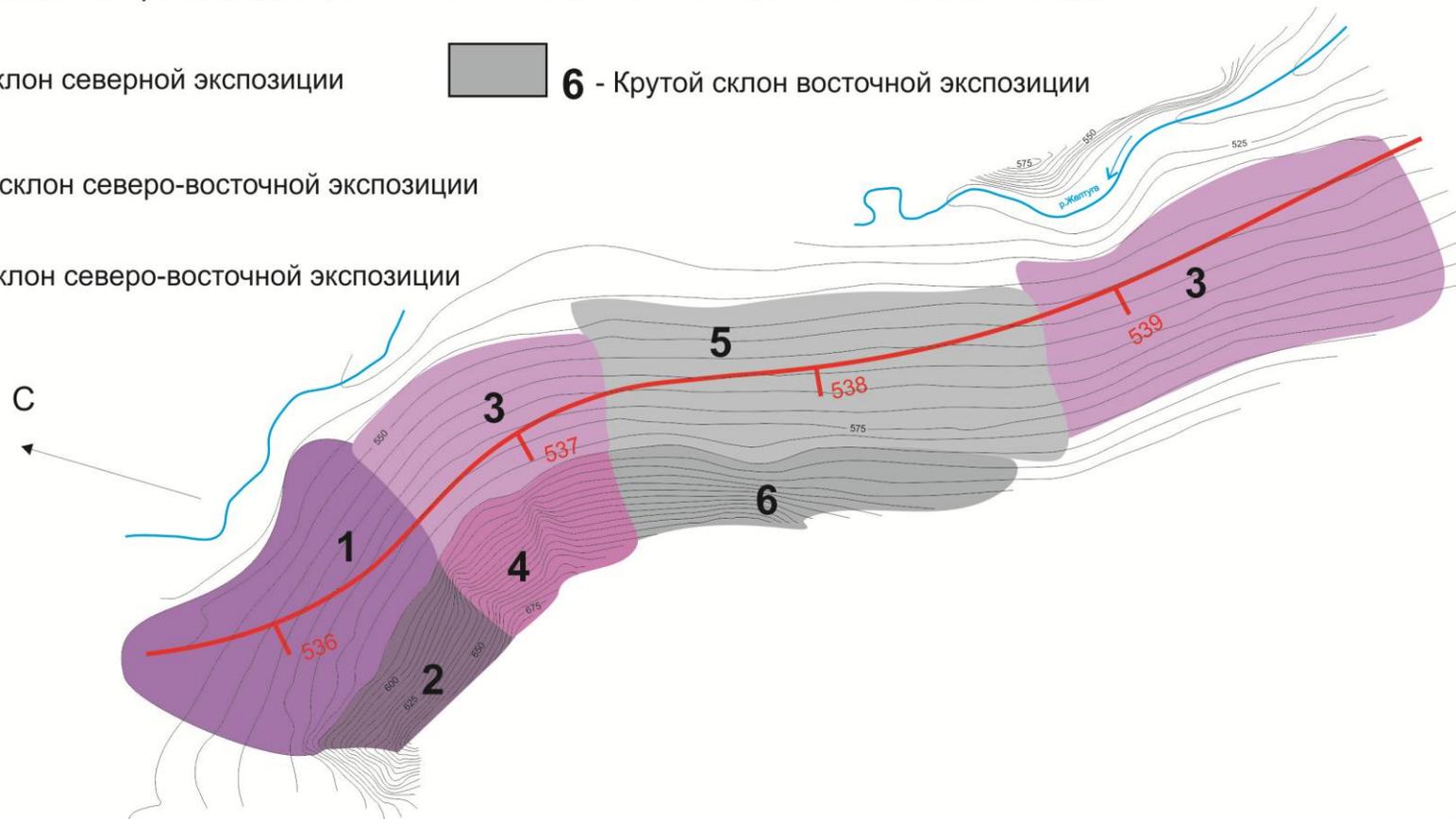
4- Крутой склон восточной экспозиции	редкий кустарник	гранит различной прочности трещиноватый; диабаз размягчаемый	дресвяный, щебенистый грунт с различным заполнителем; супесь твердая;	с п л о ш н о е	>40	массивная	3,3-25,7		2,0-3,0	осыпи	37 - 40
5- Склон северо-восточной экспозиции	<i>редкий лиственный лес</i>	гранит, гранодиорит различной прочности трещиноватый	дресвяный, щебенистый грунт с разным заполнителем; супесь; суглинок тугопластичный, слабозаторфованный		>8	массивная; тонко- и редкослоистая в суглинке	3,6-32,4	от -0,1 до -0,9	1,6-2,2	ПК40+ сезонное пучение грунтов	40 - 45
6- Пологий склон северной экспозиции	<i>редкая лиственная, багульник</i>	гранит, гранодиорит различной прочности трещиноватый	то же		>12	массивная; тонко- и редкослоистая в суглинке	5,7-42,7	от 0 до -1,2	1,6-2,4	солифлюкция	45 - 50

Приложение 7 (а). Инженерно-геокриологические условия участка трассы федеральной автомобильной дороги “Амур” Чита-Хабаровск, км км 536-539
(по материалам ТранСИГЭМ, 2004-2006 гг.; Кондратьеву В.Г. и Соболевой С.В., 2010 г.)

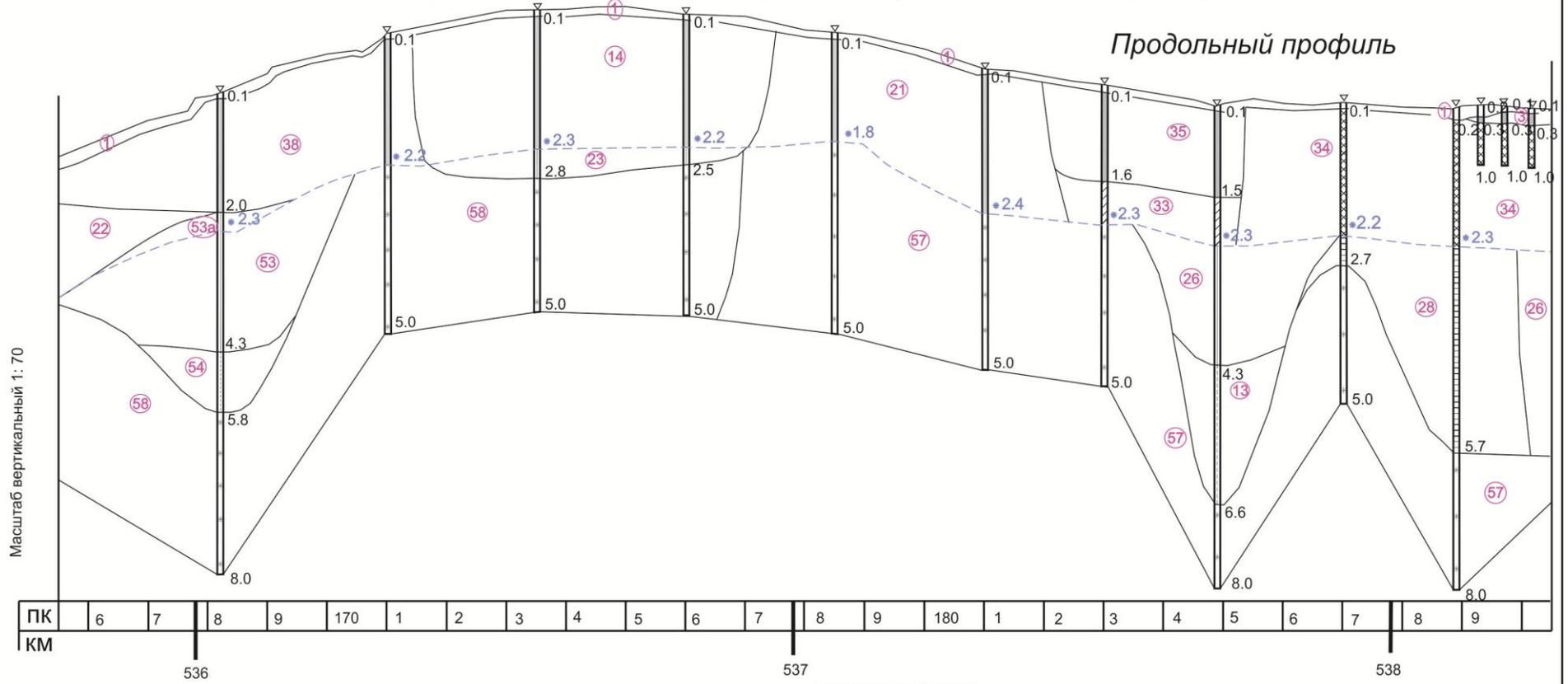
Схема микрорайонирования

Микрорайоны

- | | | | |
|---|--|--|---|
|  | 1 - Пологий склон северной экспозиции |  | 5 - Пологий склон восточной экспозиции |
|  | 2 - Крутой склон северной экспозиции |  | 6 - Крутой склон восточной экспозиции |
|  | 3 - Пологий склон северо-восточной экспозиции | | |
|  | 4 - Крутой склон северо-восточной экспозиции | | |



Приложение 7 (б). Инженерно-геокриологические условия участка трассы федеральной автомобильной дороги "Амур" Чита-Хабаровск, км км 536-538
 (по материалам ТранСИГЭМ, 2004-2006 гг.; Кондратьеву В.Г. и Соболевой С.В., 2010 г.)



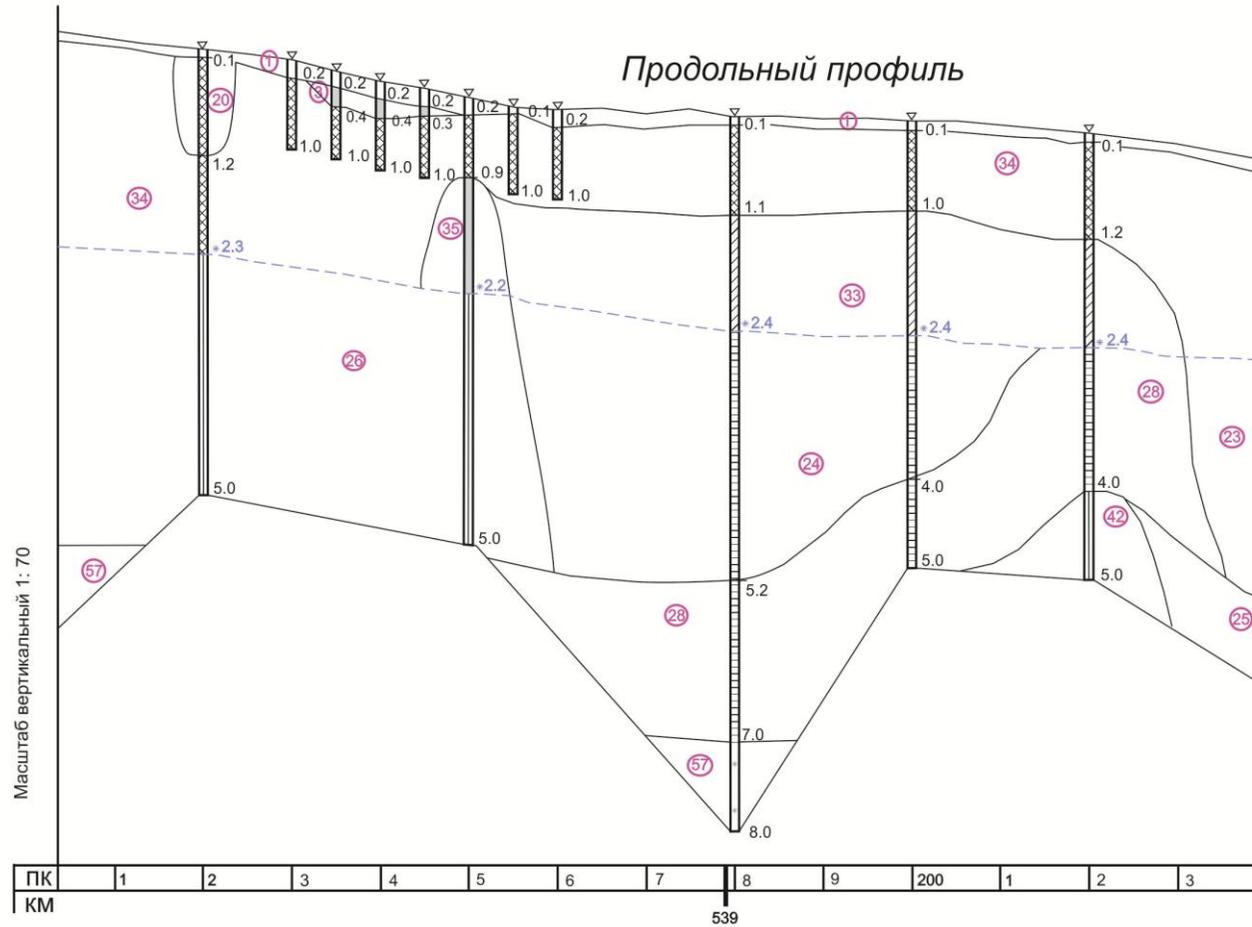
Условные обозначения

- 38 Инженерно-геологический элемент (ИГЭ)
- 2.9 Кровля многолетнемерзлых пород

Состояние грунтов

	Связных	Несвязных	Вечномерзлых
	твердые	сухие	без ледяных включений
	полутвердые	маловлажные	малольдистые
	тугопластичные	влажные	льдистые
	мягкопластичные	сильновлажные	сильнольдистые
	текучепластичные		
	текучие	водонасыщенные	
			морозные

Приложение 7 (в). Инженерно-геокриологические условия участка трассы федеральной автомобильной дороги “Амур” Чита-Хабаровск, км км 538-539
 (по материалам ТрансИГЭМ, 2004-2006 гг.; Кондратьеву В.Г. и Соболевой С.В., 2010 г.)



игэ	Наименование грунтов
1	почвенно-растительный слой
3	торф слаболокнистый среднеразложившийся
20	дресвяный грунт заполнитель супесь текучепластичная
23	дресвяный грунт заполнитель супесь малольдистая
24	дресвяный грунт заполнитель супесь льдистый
25	супесь песчаная щебенистая без лед включений
26	супесь песчаная щебенистая малольдистая
28	супесь песчаная щебенистая льдистая
33	супесь песчаная щебенистая мягкопластичная
34	супесь песчаная щебенистая текучепластичная
35	супесь песчаная щебенистая текучая
42	супесь песчаная малольдистая
57	гранит прочный неразмываемый

13	песок гравелистый без ледяных включений
14	щебенистый грунт заполнитель супесь текучая
21	дресвяный грунт заполнитель супесь текучая
22	дресвяный грунт заполнитель суглинок мягкопластичный
38	супесь пылеватая щебенистая текучая
53	дресвяный грунт малольдистый (элювий)
53а	дресвяный грунт маловлажный (элювий)
54	песок гравелистый без ледяных включений (элювий)
58	гранит средней прочности размягчаемый

**Приложение 7 (в). Инженерно-геокриологические условия
участка трассы федеральной автомобильной дороги «Амур» Чита-Хабаровск, км км 536-539
(по материалам ТранСИГЭМ, 2004-2006 гг.; Кондратьеву В.Г. и Соболевой С.В., 2010 г.)**

Таблица

<i>Микрорайон</i>	<i>Геоботанические условия</i>	<i>Геологические условия</i>		<i>Мерзлотные условия</i>							<i>Пересечение микрорайона автодорогой, ПК</i>
		<i>Коренные породы</i>	<i>Четвертичные отложения</i>	<i>Распространение многолетнемерзлых пород</i>	<i>Мощность, м</i>	<i>Криогенная текстура</i>	<i>Льдистость (влажность), %</i>	<i>Среднегодовая температура пород, °С</i>	<i>Глубина сезонного оттаивания (промерзания), м</i>	<i>Криогенные процессы и явления</i>	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>
1- <i>Пологий склон северной экспозиции</i>	светлый лиственный лес с примесью березы, подлесок – шиповник, багульник	гранит размягчаемый	дресвяный, щебенистый грунт с различным заполнителем; супесь текучая; песок гравелистый	с п л о	>8	массивная; тонко- и редкослоистая в супеси	5,5 – 19,5	от 0,0 до -3,1	2,0-2,3	ПК172-ПК175 термокарст	166-175
3- <i>Пологий склон северо-восточной экспозиции</i>	редкий березовый лес	гранит неразмягчаемый	дресвяный, щебенистый грунт заполнитель супесь текучая и малольдистая	ш н о е	>5	массивная; тонко- и редкослоистая в супеси	11,5-19,5		1,8-2,4	ПК178-ПК181 термокарст	175-181

**Приложение 7 (в). Инженерно-геокриологические условия
участка трассы федеральной автомобильной дороги «Амур» Чита-Хабаровск, км км 536-539
(по материалам ТранСИГЭМ, 2004-2006 гг.; Кондратьеву В.Г. и Соболевой С.В., 2010 г.)**

Окончание таблицы

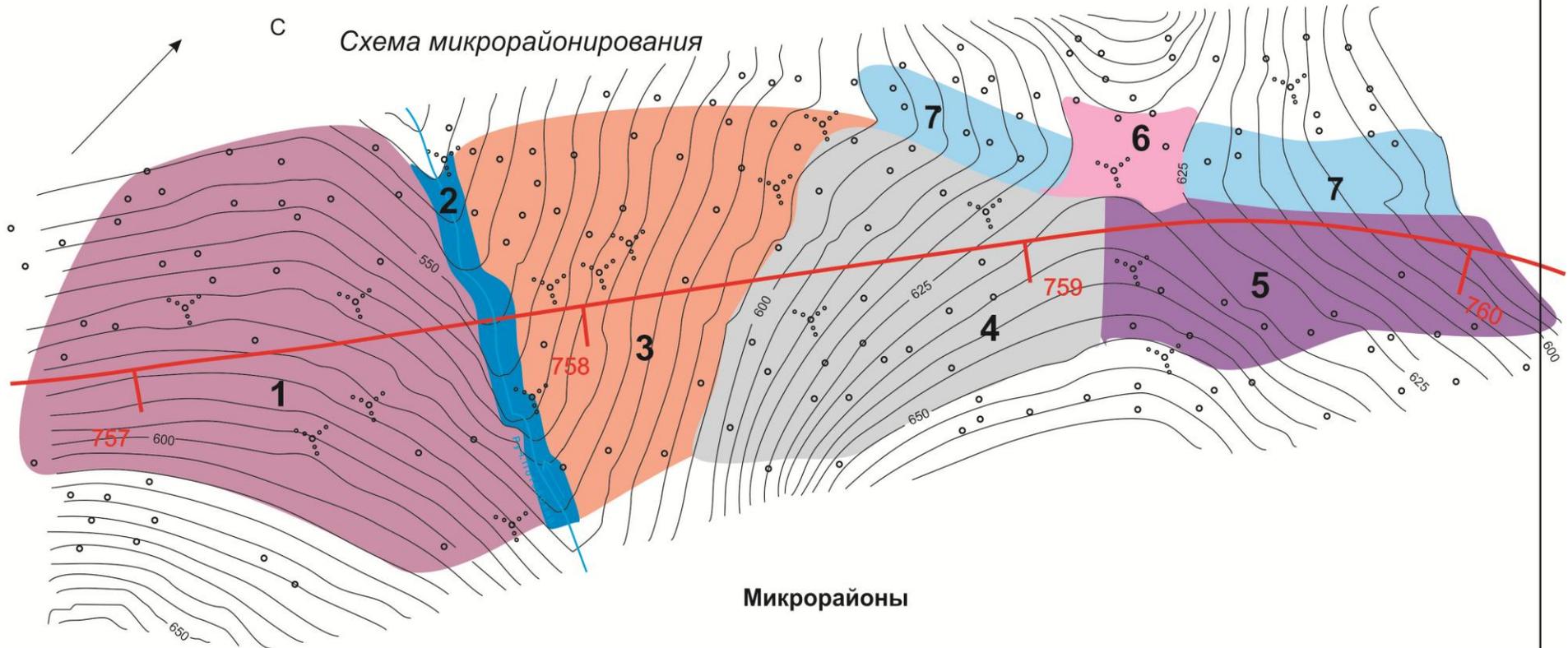
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>
3- Пологий склон северо-восточной экспозиции	лиственничный лес с примесью березы	гранит неразмягчаемый	дресвяный грунт; супесь песчанистая различной пластичности	с п л	>8	массивная в дресвяном грунте; тонко- и среднеслоистая в супеси	11,6-42,1	от -0,9 до -6,0	2,2-2,4	термокарстовые воронки с выпиранием глыб \varnothing до 1 м гранитного состава	195-203
5- Пологий склон восточной экспозиции	лиственница	гранит неразмягчаемый	торф; дресвяный грунт заполнитель супесь текучая; супесь песчанистая различной пластичности	о ш н о е	>8	массивная и тонко- и среднеслоистая в дресвяном грунте с заполнителем; среднеслоистая в торфе	7,7-43,3; в торфе - 415,8	от 0,0 до -3,5	2,2-2,4	болота с торфом мощностью 0,2-1,0 м; термокарст	180-195

Примечание: микрорайоны 2, 4 и 6 в таблице не приведены, т.к. автодорогой не пересекаются

Приложение 8 (а). Инженерно-геокриологические условия участка трассы федеральной автомобильной дороги “Амур” Чита-Хабаровск, км км 757-760

(по материалам ТрансИГЭМ, 2004-2006 гг.; Кондратьеву В.Г. и Соболевой С.В., 2010 г.)

С
Схема микрорайонирования



Микрорайоны

1 - Склон северо-западной экспозиции

2 - Долина ручья

3 - Склон юго-западной экспозиции

4 - Склон западной экспозиции

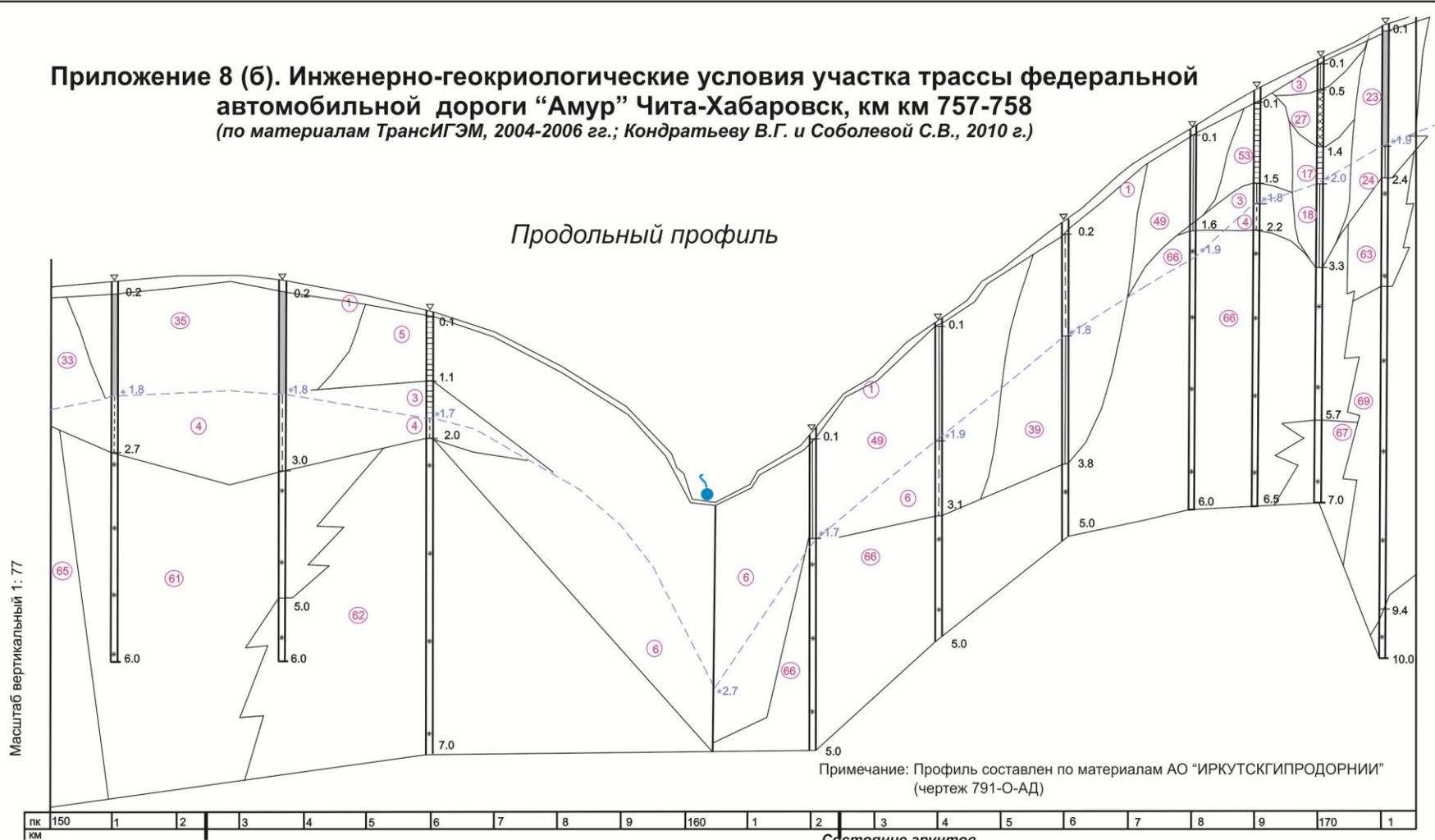
5 - Склон северной экспозиции

6 - Седловина

7 - Лог

Приложение 8 (б). Инженерно-геокриологические условия участка трассы федеральной автомобильной дороги “Амур” Чита-Хабаровск, км км 757-758
 (по материалам ТрансИГЭМ, 2004-2006 гг.; Кондратьеву В.Г. и Соболевой С.В., 2010 г.)

Продольный профиль



Примечание: Профиль составлен по материалам АО “ИРКУТСКГИПРОДОРНИИ” (чертеж 791-О-АД)

Условные обозначения

(38) Инженерно-геологический элемент (ИГЭ)

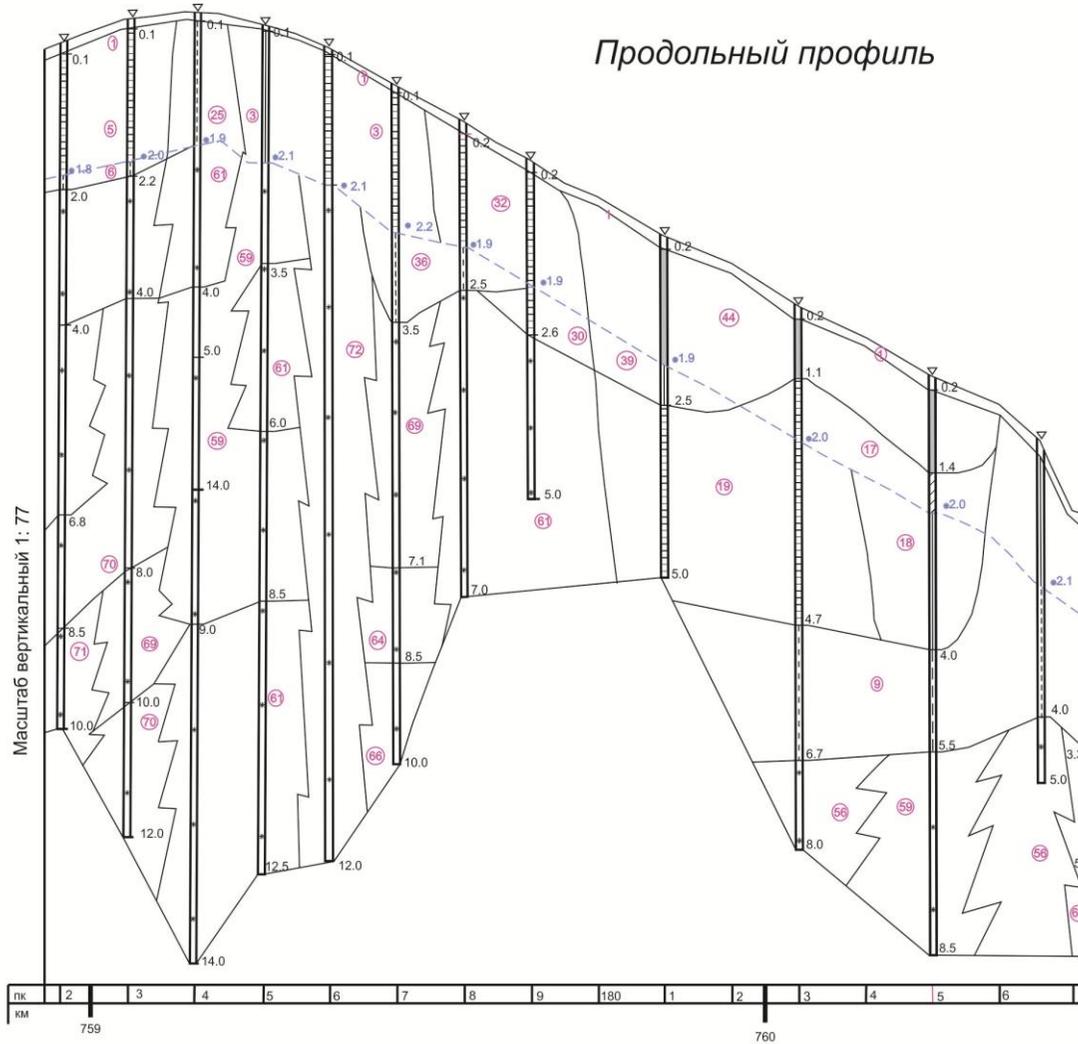
—2.9 Кровля многолетнемерзлых пород

Состояние грунтов

	Связных	Несвязных	Вечномерзлых
	твердые	сухие	без ледяных включений
	полутвердые	маловлажные	малольдистые
	тугопластичные	влажные	льдистые
	мяккопластичные	сильновлажные	сильнольдистые
	текучепластичные		
	текучие	водонасыщенные	
			морозные

**Приложение 8 (в). Инженерно-геокриологические условия участка трассы федеральной
автомобильной дороги “Амур” Чита-Хабаровск, км км 758-760**
(по материалам ТрансИГЭМ, 2004-2006 гг.; Кондратьеву В.Г. и Соболеву С.В., 2010 г.)

Продольный профиль



игэ	Наименование грунтов
1	почвенно-растительный слой с корнями деревьев
3	глыбовый грунт
4	глыбовый грунт без ледяных включений
5	щебенистый грунт
6	щебенистый грунт без ледяных включений
9	дресвяный грунт без ледяных включений
17	песок гравелистый
18	песок гравелистый малопылистый
19	песок гравелистый льдистый
23	глыбовый грунт заполнитель суглинок текучий
24	глыбовый грунт заполнитель супесь малольдистая
25	щебенистый грунт заполнитель супесь твердая
27	щебенистый грунт заполнитель супесь текучепластичная
30	щебенистый грунт заполнитель супесь льдистая
32	дресвяный грунт заполнитель супесь тугопластичная
35	дресвяный грунт заполнитель супесь текучая
36	дресвяный грунт заполнитель супесь без лед.включений
39	супесь песчанистая щебенистая малольдистая
41	супесь песчанистая щебенистая твердая
44	супесь песчанистая щебенистая текучая
49	супесь пылеватая щебенистая полутвердая
56	гранит низкой прочности размягчаемый
59	гранит средней прочности размягчаемый
61	гранит прочный неразмьгаемый
62	гранодиорит очень прочный размягчаемый
63	гранодиорит малопрочный размягчаемый
64	гранодиорит средней прочности размягчаемый
66	гранодиорит прочный неразмьгаемый
67	гранодиорит очень прочный неразмьгаемый
68	диорит низкой прочности размягчаемый
69	диорит малопрочный размягчаемый
70	диорит средней прочности размягчаемый
71	диорит прочный размягчаемый
72	метасоматит средней прочности размягчаемый интенсивно трещиноватый

**Приложение 8 (в). Инженерно-геокриологические условия
участка трассы федеральной автомобильной дороги «Амур» Чита-Хабаровск, км км 757-760
(по материалам ТранСИГЭМ, 2004-2006 гг.; Кондратьеву В.Г. и Соболевой С.В., 2010 г.)**

Таблица

Микрорайон	Геоботанические условия	Состав пород		Мерзлотные условия							Пересечение микрорайона автодорогой, ПК	
		Коренные породы	Четвертичные отложения	Распространение многолетне мерзлых пород	Мощность многолетне мерзлых пород, м	Криогенная текстура	Льдистость (влажность), %	Среднегодовая температура пород, °С	Глубина сезонного оттаивания (промерзания), м	Криогенные процессы и явления		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1- Склон северо-западной экспозиции	густой березовый подрост	граниты прочные и очень прочные неразмягчаемые	дресвяный, щебенистый, глыбовый грунт; торф	с п л о ш н о е	>7	массивная в дресвяном, щебенистом, глыбовом грунте с заполнителем; слоистая, сетчатая в торфе	7,8-27,0 в торфе 213	?	1,7-1, 8	морозное выветривание горных пород, морозное пучение в виде каменных россыпей, замаренность	150-160	
2- Долина ручья	кочковатые травянистые мари	гранодиориты прочный неразмягчаемые	щебенистый грунт				массивная	13,8	от 0,0 до-2,1	2,7	морозное выветривание горных пород	160-161
3- Склон юго-западной экспозиции	густой разнородный подрост	гранодиорит прочный неразмягчаемый	супесь песчанистая, пылеватая; щебенистый грунт			>5	преимущественно массивная	7,5-27,0	?	1,7-1, 9	морозное выветривание горных пород	161-167

**Приложение 8 (в). Инженерно-геокриологические условия
участка трассы федеральной автомобильной дороги «Амур» Чита-Хабаровск, км км 757-760
(по материалам ТранСИГЭМ, 2004-2006 гг.; Кондратьеву В.Г. и Соболевой С.В., 2010 г.)**

Окончание таблицы

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>
4- Склон западной экспозиции	густой разно-породный подрост	граниты, гранодиориты, диориты разной прочности	глыбовый, щебенистый грунт; песок гравелистый; супесь песчанистая, пылеватая	с	>14	массивная	10,5-29,0	?	1,7-1, 8	морозное выветривание горных пород, морозное пучение	150-160
				п							
				л							
				о							
5- Склон северной экспозиции	густой березовый подрост	граниты, гранодиориты и диориты различной прочности; метасоматит средней прочности размягченный трещиноватый	песок гравелистый, щебенистый и дресвяный грунт; супесь песчанистая, пылеватая	ш	>12	массивная	5,0-24,0;		1,9 -2,1	морозное выветривание горных пород, морозное пучение	174-183
				н							
				о							
				е							

Примечание: микрорайоны 6 и 7 в таблице не приводятся т.к. не пересекаются автодорогой