Исаков В.А.¹, Телков Ф.С.²

¹Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии, Москва

²ОАО «Проекттрансстрой», Москва

Геокриологический мониторинг на объектах дорожной сети в криолитозоне России

Введение

В настоящее время состояние дорожной инфраструктуры на территории криолитозоны России, в большинстве случаев, оставляет желать лучшего. Некоторые участки дорог деформируются уже в течение нескольких десятилетий и положительной тенденции к снижению масштаба деформаций не просматривается. Наоборот, количество и протяжённость участков с интенсивными деформациями растёт. Например, на участке БАМ Тында – Новый Ургал протяжённость участков деформаций выросла с 219,9 км в 2001 году до 325, 4 км в 2004 [5].

Для улучшения ситуации в данной сфере необходим комплексный подход к проблеме устойчивости дорожной сети, в том числе создание систем контроля, оценки, прогноза и управления мерзлотными условиями в основании дорог и на прилегающих территориях. Невозможно представить себе функционирование такой системы без проведения геокриологического мониторинга при строительстве и эксплуатации объектов дорожной сети.

Стадия изысканий и проектирования

Создание системы мониторинга состояния мёрзлых пород в основании сооружения необходимо начинать с самых ранних стадий изысканий и проектирования сооружения – стадии обоснования инвестиций (ОИ) и стадии «проект». На стадии ОИ это позволит определить общие мерзлотно-экологические опасности, которые могут быть распространены на данной территории.

В процессе изысканий необходимо зафиксировать исходное состояние природной среды на территории, через которую пройдёт дорога, путём составления крупномасштабной ландшафтно-геокриологической карты и начать создание мониторинговой сети автоматических метеостанций, оборудование площадок наблюдений за протеканием криогенных процессов в естественных условиях, термометрических скважин, проведение снегомерных съёмки, определение предзимней влажности грунтов. Данные полученные при помощи такой сети наблюдений помогут более обоснованно принимать решения при выборе вариантов и проектировании дороги, а также при дальнейшем планировании изысканий.

После выбора основного варианта трассы и проведения проектирования, можно определить, какой элемент строения земляного полотна (выемка, насыпь, мостовой переход, водопропускная труба) будет расположен на конкретном участке. Это позволит построить на основании

ландшафтно-геокриологической карты, путём совмещения со схемой инженерных сооружений карту участков, на которых наиболее вероятны деформации сооружения или развитие опасных криогенных процессов. На такой карте могут быть отражены основные геокриологические параметры мёрзлых грунтов (температура, льдистость, развитие криогенных процессов) и основные технологические параметры проектируемой дороги (высота/глубина насыпей/выемок, наличие водопропускных сооружений). На основе анализа свойств грунтов естественных оснований и влияния, которое могут оказать на них техногенные изменения может производиться выделение потенциально опасных участков, для которых необходимо предусмотреть мероприятия по стабилизации мерзлотной обстановки в основании сооружений.

К началу реализации стадии «Проект» как правило, уже накапливается некоторый массив данных по изменению во времени метеорологических и геокриологических показателей. Построение графиков изменения геокриологических показателей во времени позволяют получить дополнительные данные для проведения теплофизических расчётов (например, амплитуды температуры грунтов на разных глубинах) и характеристики мёрзлой толщи в целом (например, глубина нулевых годовых амплитуд температуры в грунте).

На стадии изысканий и проектирования «Рабочая документация» (РД) происходит окончательное уточнение основных закономерностей геологического строения и геокриологических условий территории, маршрута прохождения трассы дороги, местоположения и типа строения земляного полотна. В соответствии с этим необходимо вносить изменения в ландшафтно-геокриологическую карту и карту участков наиболее вероятного развития интенсивных деформаций. Встает необходимость в создании карты техногенных нарушений на стадии изысканий. В данной карте необходимо фиксировать в первую очередь нарушение растительного покрова, нарушение на местах лагерей изыскателей, площадках скважин и первичной транспортной сети.

Ко времени проведения стадии «РД» наблюдения на испытательных площадках моделирования взаимодействия инженерных сооружений и грунтов в их основании должны дать определённые результаты. Сравнение этих результатов и проектировочных расчётов может дать дополнительную информацию для более обоснованного выбора методов строительства и конструктивных особенностей сооружений.

Основные задачи геокриологического мониторинга на стадии изысканий и проектирования заключаются в следующем: 1. Анализ мелкомасштабных карт различной направленности с целью определения основных особенностей территории и возможной динамике природных процессов на ней; 2. Составление крупномасштабной ландшафтно-геокриологической карты вдоль прохождения трассы дороги; 3.

Составление карты участков наиболее вероятного развития деформаций и опасных процессов; 4. Развертывание первичной сети мониторинга; 5. Создание площадок для натурного наблюдения влияния дорог на мёрзлые породы; 6. Создание карты техногенных нарушений на стадии изысканий; 7. Сбор и систематизация информации полученной с первичной сети мониторинга и площадок моделирования взаимодействия инженерных сооружений и грунтов основания

Геокриологический мониторинг на стадии строительства

На стадии строительства дороги основной целью геокриологического мониторинга является сбор необходимых для дальнейшего анализа данных о сооружаемом объекте и выполнение тех работ по созданию сети мониторинга, которые затруднительно или невозможно будет провести в более позднее время. Важным аспектом мониторинга на этапе строительства является составление карты техногенных нарушений, сделанных в ходе строительства. Параллельно могут выполняться работы по контролю качества строительства.

Для проведения полноценного мониторинга состояния земляного полотна необходимой является информация о составе грунта в теле насыпи, его гранулометрического и минерального состава, влажности и плотности. Это позволит более чётко представлять внутреннее строение насыпи и более точно моделировать процессы, происходящие в ней. В случае развития деформаций на данном участке можно будет обоснованно определять их причины – изменение структуры отсыпанных грунтов (вызванное, например, уплотнением грунтов или криогенной переработкой) или деформации естественного основания.

Составление крупномасштабной карты техногенных нарушений в ходе строительства позволит оконтурить потенциально опасные участки развития криогенных процессов и зафиксировать изменения состояния верхнего горизонта мёрзлых пород. По результатам составления такой карты можно будет предпринять ряд срочных мер по ликвидации наиболее опасных нарушений, а также определить участки возможного ухудшения мерзлотно-экологической ситуации вдоль трассы дороги.

Работы по контролю качества строительства включают выборочное бурение насыпей (сопоставление реального грунтового состава насыпи с проектным) и составлением карты техногенных нарушений.

На стадии строительства основными задачами геокриологического мониторинга является: 1. Сбор данных о грунтах земляного полотна и основных площадок выемок; 2. Составление карты техногенных нарушений; 3. Начало развертывания сети постоянного мониторинга

Организация геокриологического мониторинга на стадии эксплуатации

Основной объём работ геокриологического мониторинга состояния дорожной сети приходится на период эксплуатации дорог. На самом

начальном этапе эксплуатации необходимо провести работы по развертыванию сети мониторинга. В эти работы должны быть включены: установка и геодезическая привязка деформационных марок на земляном полотне и искусственных сооружениях автомобильной или железной дороги; оборудование сети термометрических наблюдений (проверка старых скважин или/и бурение новых); обследование земляного полотна и искусственных сооружений с документированием их состояния; подготовка к проведению снегомерной съёмки (разбивка и привязка площадок); оборудование площадок для наблюдения за развитием криогенных и других экзогенных процессов; получение космических снимков и построение цифровой модели рельефа вдоль трассы дороги.

В первые годы эксплуатации основной упор следует делать на работы по определению температурного режима грунтов основания, скорости восстановления растительности и динамики развития техногенных нарушений, допущенных в ходе строительства. Выявленные изменения необходимо наносить на ландшафтно-геокриологическую карту и карты техногенных нарушений и участков наиболее вероятных деформаций. Динамика наблюдаемых показателей за первые несколько лет наблюдений дадут представление о направлении развития мерзлотной обстановки в техногенно - изменённых ПТК, через которые проходит дорога.

По результатам таких обследований после первых лет эксплуатации можно будет точно определить участки развития деформаций – их привязку и протяженность. На основании этого разрабатывается техническое задание на паспортизацию участков интенсивных деформаций.

Паспорта участков интенсивных деформаций должны содержать: топографический план участка; фрагменты ландшафтно-геокриологической и инженерно-геологической карт на данный участок; фрагмент карты техногенных нарушений на данный участок; результаты геологического обследования грунтов (бурения, геофизических исследований), представленные в виде инженерно-геологических колонок скважин и разрезов, результатов лабораторных исследований грунтов; инженерно-геологические разрезы и колонки, выполненные на стадии изысканий; результаты геодезической съёмки деформационных марок; сведения о строении земляного полотна, типах деформаций, динамике развития криогенных процессов.

Эти данные будут способствовать определению причин деформаций на участке и корректному прогнозу изменения геокриологической обстановки. На основании выводов о причинах образования деформаций и геокриологическом прогнозе могут быть выработаны методы стабилизации мерзлотной обстановки.

Основными задачами геокриологического мониторинга на стадии эксплуатации является: 1. Развертывание сети постоянного

мониторинга; 2. Обследование земляного полотна и искусственных сооружений с целью документации их состояния и наблюдения за деформациями; 3. Паспортизация участков интенсивных деформаций, выявление причин и геокриологический прогноз на данные участки с целью выработки методов стабилизации мерзлотной обстановки.

**Геокриологический мониторинг автомобильных и железных дорог в районах криолитозоны с развитой дорожной сетью
Ж/д «Обская - Бованенково», п-ов Ямал**

Работы по геотехническому мониторингу ж/д «Обская – Бованенково» велись в 2007 – 2010 гг [4,6]. Основным видом работ, проводимых в рамках мониторинга являлось бурение скважин в насыпи железной дороги.

Достоинства: большой объём данных по грунтам насыпи, подробная и хорошо проработанная карта техногенных нарушений на несколько лет наблюдений.

Недостатки: сравнительно ограниченный объём термометрических наблюдений, конструктивные недостатки сети геодезического мониторинга.

Предложения: Особенности данного региона (высокая льдистость естественных грунтов оснований, сплошное распространение многолетнемёрзлых пород) делает главным фактором обеспечения устойчивости дороги недопущение оттаивания мёрзлых пород в основании дороги. Исходя из этого, необходимым видится увеличение сети термометрических скважин, в том числе и в теле насыпи железной дороги.

Железная и автомобильная дороги «Норильск – Талнах»

На данных объектах геотехнический мониторинг ведется в достаточно ограниченных объёмах. Проводятся дефектоскопические и геодезические наблюдения за состоянием дорожного полотна, в единичных случаях проводятся регулярные термометрические наблюдения. Сколько-нибудь внятная система геокриологических наблюдений отсутствует, что приводит к многочисленным деформациям, устранимым, как правило, подсыпками балласта (железная дорога) и «заплаточным» ремонтом (автомобильная дорога) [2]. Также в распоряжении эксплуатирующих организаций отсутствуют данные по инженерным изысканиям на значительные участки дорог.

Достоинства: нет

Недостатки: Эксплуатирующие организации практически не имеют информации о мерзлотной обстановке в основании дорог.

Предложения: На данных объектах необходима организация полноценного геокриологического мониторинга. В первую очередь необходимо создание карты опасных экзогенных процессов, развитых вдоль трасс автомобильной и железной дорог, поскольку многие деформации вызваны развитием процессов подтопления, термокарста, термоэрозии и термоабразии.

Железная дорога «Улак - Эльга» участок 124 – 149 км

На данном участке ж/д трассы «Улак – Эльга» геокриологический мониторинг после строительства (2008 - 2009 г.) не осуществлялся. Были проведены только работы, соответствующие стадии изысканий – составление инженерно-геологической и ландшафтно-геокриологической карты, а также карта участков наиболее вероятного развития деформаций и опасных экзогенных процессов [1]. Отсутствие в настоящее время системы мониторинга геокриологических условий не позволяет наблюдать изменение мерзлотной обстановки на данном участке железной дороги, что, в условиях сильно расчленённого рельефа, сурового климата и высокой сложности самого сооружения может привести к значительным его деформациям.

Достоинства: Наличие предварительных материалов для организации геотехнического мониторинга.

Недостатки: Отсутствие данных об изменении геокриологических условий и мерзлотной обстановке в основании сооружения

Предложения: Организация полноценного геокриологического мониторинга с упором на наблюдения за процессами криогенного выветривания.

Железная дорога «Улак – Эльга» участок 0 – 54 км

Данный участок дороги был сооружен в 2001 г. В преддверии запуска рабочего движения в 2010 г было принято решение о проведении инженерно-геологического обследования участков деформаций и составлении их паспортов. С этой целью было проведено бурение по поперечникам (в основном по бокам насыпи, на бермах с подъездных дорог и на естественных грунтах), термометрические наблюдения в пробуренных скважинах, лабораторные исследования грунтов, сравнение с исходными геологическими данными, полученными на стадии проектирования [3]. Работы продолжались в течение первого полугодия 2010 г, после чего были свернуты по инициативе заказчика.

Достоинства: широкий охват исследования (обследовано около 1/3 от всей длины участка), правильное распределение работ по сезонам года, наличие материалов стадии изысканий для проведения сравнительного анализа.

Недостатки: отсутствие актуальной топографической съёмки участков деформаций, не проведены работы (как геофизические, так и бурение) по исследованию состава и состояния грунтов насыпей, не были выполнены работы по картированию экзогенных процессов и техногенных нарушений, сравнительная кратковременность работ.

Предложения: Выявленная недостаточная надёжность основания железной дороги [3] диктует необходимость продолжения работ по наблюдению за состоянием грунтов в основании сооружения. Необходимо расширение работ с целью изучения строения и состава грунтов насыпей

(геофизические работы, бурение), составление карты техногенных нарушений и развития экзогенных процессов, а также топографическая съёмка участков деформаций.

Заключение

В заключение хотелось бы сказать о том, что пренебрежение работами по мониторингу геокриологической обстановки в основании сооружений, особенно с точки зрения эксплуатирующих автомобильные и железные дороги организаций, приводит, как правило, к повышению интенсивности деформаций дорожного полотна и повышенным расходам на её содержание. Приведение систем мониторинга всех объектов дорожной сети к более или менее единой схеме позволит не только обеспечить полноту геокриологической и инженерно-геологической информации, необходимой для проведения мероприятий по стабилизации оснований, но и позволит оценить работу эксплуатирующих дороги организаций.

Список использованных источников

1. Исаков В.А. Анализ природно-техногенных геокриологических факторов влияющих на устойчивость основания железной дороги «Улак – Эльга» на участке 125 – 149 км. / Инженерные изыскания в строительстве (Материалы седьмой научно-практической конференции молодых специалистов) – М.: ОАО «ПНИИИС», 2011 г. с. 144 – 150

2. Исаков В.А. Основные типы и причины развития деформаций автомобильных и железных дорог в Норильском промышленном районе. //Материалы Десятой Международной конференции по мерзлотоведению (ТМСОР): Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире. Том 3: Статьи на русском языке./Под ред. В.П. Мельникова. – Тюмень, Россия: Печатник, 2012. с 207 – 211

3. Исаков В.А., Наумов М.С., Телков Ф.С. Результаты обследования грунтов основания железной дороги Улак – Эльга на участке 0 – 54 км.//Материалы международной научно-практической конференции по инженерному мерзлотоведению, посвященной 20-летию ООО НПО «Фундаментстройаркос». Тюмень 7-10 ноября 2011 г. – Тюмень, ООО НПО «Фундаментстройаркос», 2011. с 293 – 297

4. Исаков В.А., Панченко Е.Г., Мерзлотно–экологические проблемы при возведении трассы железной дороги «Обская – Бованенково»././ Человеческое измерение в региональном развитии: Доклады II Всероссийской научно-практической конференции (Нижневартовск, 4-7 декабря 2008 г.) – Нижневартовск: НГГУ, 2009. с 42-44.

5. Позин В.А., Наумов М.С. Железная дорога на «ледовом комплексе»: объекты-аналоги, ожидаемые проблемы и подходы к их решению. //Материалы семинара-совещания 11-12 сентября 2007 г в г. Якутске – М. Центр трансстройиздат, 2007 – С. 102-122.

6. Чернядьев В.П., Максимов А.В., Шаманова И.И., Титков С.Н. Основные результаты геотехнического мониторинга на железнодорожной линии Обская – Бованенково и предложения по конструкции земляного полотна.//Материалы VII научно-технической конференции с международным участием «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железных дорог», Москва 17 ноября 2010 г. – М.: МИИТ, 2010 с 118 – 121.