



ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ БАЙКАЛО-АМУРСКОЙ МАГИСТРАЛИ: ОПЫТ, ПРОБЛЕМЫ И БЛИЖАЙШИЕ ЗАДАЧИ

ENGINEERING-GEOCRYOLOGICAL MONITORING OF THE BAIKAL-AMUR RAILROAD: THE EXPERIENCE, PROBLEMS, AND IMMEDIATE TASKS

КОНДРАТЬЕВ В.Г.

Научный руководитель НПП «ТрансИГЭМ», профессор кафедры гидрогеологии и инженерной геологии Забайкальского государственного университета, д.г.-м.н., г. Москва, г. Чита, v_kondratiev@mail.ru

KONDRATIEV V.G.

The research manager of the «TransIGEM» Scientific-Production Enterprise, a professor of the department of hydrogeology and engineering geology of Trans-Baikal State University, doctor of science (Geology and Mineralogy), Moscow, Chita

Ключевые слова:

Байкало-Амурская магистраль (БАМ); вечная мерзлота; деформации земляного полотна; стабилизационные мероприятия; инженерно-геокриологический мониторинг.

Key words:

Baikal-Amur Railroad; permafrost; embankment deformations; stabilization measures; engineering-geocryological monitoring.

Аннотация

Статья подготовлена на основе доклада на VII Общероссийской конференции «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации» (Москва, 15–16 декабря 2011 г.). В ней рассматриваются: концепция системы мониторинга Байкало-Амурской железнодорожной магистрали (БАМ); современное состояние земляного полотна БАМ; опыт организации и результаты инженерно-геокриологического обследования и мониторинга дороги в 1989–1991 гг.; необходимость создания, структура и схема функционирования системы инженерно-геокриологического мониторинга (СИГМ) железнодорожного пути; необходимость и пути разработки комплексной программы организации (КПО) СИГМ БАМ.

Abstract

The article is prepared on the basis of a report on the VII All-Russian Conference «Development prospects of engineering surveys in construction in the Russian Federation» (Moscow, 15–16 December 2011). It considers: the monitoring system concept of the Baikal-Amur Railroad (BAM RR); the modern state of the BAM RR embankment; the organization experience and results of engineering-geocryological survey and monitoring of the embankment in 1989–1991; the necessity of creation, structure and functioning scheme of the engineering-geocryological monitoring system (EGMS) of the railroad line; the necessity and ways of development of a complex organization program (COP) of the EGMS BAM RR.

Байкало-Амурская магистраль (БАМ), как известно, проходит по территории с особо сложными природными условиями, характеризующимися почти повсеместным распространением вечной мерзлоты и глубокого сезонного промерзания грунтов, что предопределило громадные трудности при изысканиях, проектировании, строительстве и в особенности при эксплуатации этой железной дороги.

Так, на линии Тында — Ургал на Восточном участке БАМ уже в первые годы эксплуатации, в феврале 1992 г., насчитывалось 188 «больных» и деформирующихся мест земляного полотна общей протяженностью 186,6 км, или 19,2% линии длиной 965 км. В 2004 г. протяженность «больных» мест увеличилась до 325,4 км и составляла 34,2% от всей длины линии. В 2007 г., несмотря на постоянное проведение работ по исправлению пути, участки общей протяженностью 192,4 км (20,6% линии) продолжали деформироваться.

По всей трассе БАМ от Усть-Кута до Комсомольска-на-Амуре в 1992 г. насчитывалось 4238 «больных» мест общей протяженностью 1101 км (35% от всей длины магистрали). При этом осадки земляного полотна вследствие деградации многолетнемерзлых грунтов в его основании составляли около 69% [11].

Эксплуатация БАМ показала, что традиционный метод поддержания железнодорожного пути в рабочем состоянии компенсацией осадки земляного полотна подъемкой рельсошпальной решетки на балласт неэффективен как в техническом, так и в экономическом отношениях. Слишком дороги и не везде эффективны и широко используемые на БАМ бермы и наброски на откосы насыпей и выемок из сортированного скального грунта, а также термосифоны.

Стратегия инновационного развития российских железных дорог предусматривает перспективный рост перевозок по БАМ для обеспечения потребностей экономики страны и ее населения. При этом планируется увеличить осевые и погонные нагрузки грузовых поездов, массу и длину составов, увеличить скорость их



движения. Но прежде необходимо кардинально улучшить состояние земляного полотна, в особенности на участках льдистых многолетнемерзлых грунтов, где скорость движения поездов на протяжении десятилетий постоянно ограничена до 25–40 км/ч. Для этого нужна новая идеология и совершенствование научно-методических основ инженерно-геокриологического обеспечения содержания, реконструкции и модернизации БАМ, в которых мерзлотная составляющая учитывалась бы во всем процессе эксплуатации земляного полотна и искусственных сооружений магистрали. Важнейшим звеном такой идеологии должна стать система инженерно-геокриологического мониторинга БАМ, о необходимости которой автор впервые говорил и писал еще 26 лет назад [8]. (Под инженерно-геокриологическим мониторингом автор понимает систематические наблюдения (контроль) за изменениями инженерно-геокриологических условий в ходе естественной эволюции природы и под воздействием техногенных факторов [2, 12], а под системой инженерно-геокриологического мониторинга — постоянно действующую систему контроля, оценки, прогноза и управления инженерно-геокриологическими условиями [9].)

Опыт организации и проведения инженерно-геокриологического обследования и мониторинга земляного полотна БАМ в 1988–1992 гг.

Земляное полотно БАМ на участках многолетней мерзлоты было запроектировано по II принципу — с допущением оттаивания многолетнемерзлых грунтов в его основании в период эксплуатации. Для компенсации его осадок в первые годы эксплуатации проекты предусматривали подъемку пути на балласт. Предполагалось, что за 3–4 года земляное полотно стабилизируется, однако этого не произошло и деформации приняли угрожающий характер (рис. 1).

Сразу же после приемки БАМ в постоянную эксплуатацию в 1989 г. потребовались значительные затраты на мероприятия по поддержанию железнодорожного пути в рабочем состоянии: 14,5 млн руб. в 1990 г. и 31,8 млн руб. в 1991 г. в ценах 1990 г. Стало очевидным, что использование традиционного метода стабилизации земляного полотна в условиях БАМ оказалось не только затруднительным, но и чрезвычайно дорогим: для ликвидации осадок и ремонта пути, уширения земляного полотна вследствие деградации вечной мерзлоты требовалась ежегодная укладка 2,0–2,5 млн м³ балласта. Кроме того, для устройства охлаждающей обсыпки откосов насыпей, предложенного Г.П. Минайловым, требовался фракционный камень в объеме 3–4 млн м³ [1].

Необеспечение эксплуатационной надежности земляного полотна БАМ обусловлено многими причинами, в т.ч. неучтенными и неконтролируемыми техногенными изменениями инженерно-геокриологических условий на трассе дороги вследствие их недостаточной изученности при изысканиях, несовершенства проектирования, строительства и эксплуатации земляного полотна на многолетнемерзлых грунтах.

Анализ состояния геокриологического обеспечения проектирования, строительства и эксплуатации железных дорог в криолитозоне и предложений по их совершенствованию показал, что только глубокое и всестороннее изучение закономерностей формирования и развития мерзлотных условий, систематический контроль их динамики и воздействия на сооружения, своевременное осуществление мер противомерзлотной защиты могут обеспечить устойчивость и надежность БАМ. Впервые эти выводы были изложены и одобрены в апреле 1987 г. на совещании при главном инженере Байкало-Амурской железной дороги (БАМ ж.д.), а затем они были опубликованы в статье [8]. Указанием министра путей сообщения СССР № 44 от 8.02.1988 г., затем Протоколом оперативного совещания при заместителе министра от 25.07.1988 г. начальнику БАМ ж.д. было предписано разработать и утвердить программу инженерно-геологического и геокриологического обследования «больных» мест земляного полотна на всем протяжении этой магистрали.

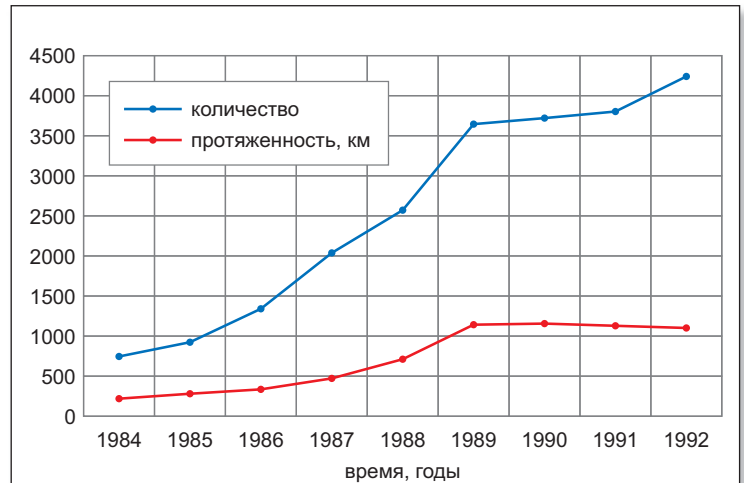


Рис. 1. Количество и общая протяженность (км) деформирующихся мест земляного полотна БАМ в 1984–1992 гг. [11]

Вополнение данных решений Управление капитального строительства МПС СССР, Управление пути МПС СССР и БАМ ж.д. в октябре 1988 — мае 1990 гг. выдали Мосгипротрансу как генеральному проектировщику БАМ, задания на инженерно-геокриологическое обследование и мониторинг участков Тында — Ургал, Беркакит — Томмот, Бамовская — Тында, Тында — Беркакит, Усть-Кут — Кунерма, Байкальский тоннель — Чара и Чара — Тында. Этими заданиями предусматривалось:

- провести инженерно-геокриологическое обследование указанных участков для установления реальной мерзлотной обстановки на них, «больных» мест и причин их возникновения;
- разработать прогноз изменения мерзлотных условий и появления в связи с этим новых «больных» мест;
- разработать мероприятия по предотвращению, ослаблению или подавлению неблагоприятных инженерно-геокриологических процессов;
- разработать программу геокриологического мониторинга — системы натуральных наблюдений за изменением мерзлотных условий в ходе естественной эволюции природы и под воздействием техногенных факторов;
- разработать предложения по организации и структуре мерзлотной службы БАМ ж.д. для постоянного контроля устойчивости железнодорожных объектов и

охраны геокриологической среды, режимных наблюдений за динамикой мерзлотной обстановки, систематического изучения воздействия криогенных процессов на магистраль и оперативной корректировки мероприятий по ее противомерзлотной защите.

Для решения первой задачи необходимо было с помощью аэрофотосъемки, геофизических исследований, бурения, инженерно-геокриологической съемки, режимных наблюдений, лабораторных и камеральных исследований установить состав, криогенное строение, физико-механические и теплофизические свойства, распространение, температурный режим, условия залегания и мощность сезонно- и многолетнемерзлых и сезонноталых пород, развитие криогенных процессов и явлений. В результате должны были быть установлены закономерности формирования и развития геокриологических условий в зависимости от геолого-географических факторов, конструктивных и технологических особенностей элементов железной дороги.

На этой основе, а также используя математическое и физическое моделирование в сочетании с теплотехническими расчетами и режимными наблюдениями необходимо было решить вторую задачу — геокриологическое прогнозирование, целью которого являлось получение научно обоснованного, «конкретного в пространстве и времени» представления о характере возможных изменений инженерно-геокриологической обстановки вследствие естественных природных процессов и техногенных воздействий при строительстве и эксплуатации магистрали.

Результаты решения первых двух задач необходимо было представить в виде специальных карт, разрезов и таблиц, а также пояснительных записок. Для «больных» и потенциально «больных» участков был выбран масштаб карт 1:1000–1:2000, для остальных — 1:10 000–1:20 000.

Эти материалы, в свою очередь, явились исходными данными для решения третьей задачи — управления инженерно-геокриологической обстановкой, цель которого — создание оптимальных условий для эксплуатации магистрали и охраны природы. Иначе говоря, в неблагоприятных мерзлотных условиях или при возможном неблагоприятном их изменении в будущем необходимо целенаправленное изменение мерзлотной обстановки.

Принципиальной основой для управления мерзлотными условиями является информация о закономерностях их формирования и изменениях, выявляемых при мерзлотной съемке и мерзлотном прогнозе. Мероприятия по управлению мерзлотной обстановкой в зависимости от конкретных условий могут быть направлены на понижение или повышение среднегодовой температуры грунтов, уменьшение или увеличение мощности сезонноталого или сезонномерзлого слоя, ослабление пучения и осадки грунтов, а также на предотвращение новообразования мерзлоты, термокарста, термоэрозии, солифлюкции, наледей и других криогенных процессов и явлений. Для достижения нужного результата возможны непосредственные воздействия на геолого-географические факторы природной среды, а также конструктивные и технологические мероприятия.

При решении четвертой задачи — геокриологическом мониторинге — необходимо было подвергнуть

систематическому квалифицированному контролю мерзлотоформирующие геолого-географические и техногенные факторы, температурный режим грунтов, их сезонное оттаивание и промерзание, деградацию и аградацию многолетней мерзлоты, развитие криогенных процессов и воздействие их на железнодорожные объекты. Мониторинговая информация позволяет проверять достоверность геокриологического прогноза, правильность и эффективность мероприятий по управлению мерзлотной обстановкой, а в случае необходимости — корректировать их или разрабатывать новые.

Концепция создания противомерзлотной защиты БАМ и научно-методическая часть программы исследований были опубликованы в работе [7] и докладывались на различных научно-технических совещаниях и конференциях. Программы работ по отдельным участкам БАМ и АЯМ (Амуро-Якутской магистрали) многократно обсуждались и дополнялись в Мосгипротрансе, БАМ ж.д., МПС и Минтрансстрое. Так, в марте 1991 г. научно-технический совет МПС специально рассмотрел вопрос о состоянии земляного полотна БАМ и путях его стабилизации и одобрил программу действий БАМ ж.д. и Мосгипротранса по созданию противомерзлотной защиты БАМ.

Работы по программе инженерно-геокриологического обследования и мониторинга земляного полотна были начаты на участках: Тында — Ургал (Восточном) в 1989 г., Беркамит — Томмот в 1989 г., Бамовская — Тында в 1990 г., Тында — Чара (Центральном) в 1991 г., Чара — Усть-Кут (Западном) в 1991 г. Из-за финансовых затруднений заказчика — БАМ ж.д. — не были начаты работы на участках Тында — Беркамит и Ургал — Польшево.

К выполнению программы исследований на отдельных участках БАМ были привлечены проектные институты «Томгипротранс» (на участке Усть-Кут — Кунерма), «Сибгипротранс» (Байкальский тоннель — Чара), «Ленгипротранс» (Чара — Тында), а также специализированные научно-исследовательские организации (ТМС, ЦНИИС, МГУ, ВНИИЖТ, ВСЕГИНГЕО, ЧПИ и др.) для решения отдельных тематических задач.

Почти на всю протяженность Байкало-Амурской (от Усть-Кута до Ургала) и Амуро-Якутской (от Бамовской до Якутска) магистралей был выполнен комплекс летно-съёмочных работ с самолета АН-2 с высоты 100–300 м и с самолета ТУ-134 СХА с высоты 3–5 км — телевизионная, тепловизионная и многозональная съемки. Был получен громадный объем информации (например, только спектрональных снимков масштаба 1:10 000 насчитывалось более 2000). Кроме того, на Восточном участке все «больные» и потенциально опасные места были охвачены детальной аэрофотосъемкой, что позволило оперативно составить топопланы, а также детальные мерзлотные карты для разработки противодеформационных мероприятий. При этом использовалась вся имевшаяся информация по материалам предыдущих исследований, специально выполнявшихся работ, наблюдений службы пути БАМ ж.д.

Совместный анализ закономерностей пространственной изменчивости инженерно-геокриологических условий и данных по развитию деформаций позволял оценивать состояние земляного полотна по степени его устойчивости. При этом учитывались актив-



ность протекания процессов непосредственно в теле насыпи и в полосе отчуждения и устойчивость грунтов основания, определяемая льдистостью и мощностью многолетнемерзлых толщ, тепловой осадкой при оттаивании, обводненностью и пучинистостью. По этим критериям проводилась оценка состояния (неустойчивого, относительно неустойчивого, потенциально неустойчивого и устойчивого) земляного полотна, которое показывалось на карте окраской по «семафорному» принципу: красным, розовым, желтым и зеленым цветами. На карту выносились также типы деформаций земляного полотна.

Инженерно-геокриологические карты наглядно иллюстрировали пространственную изменчивость устойчивости земляного полотна, отражали причинно-следственную связь развития его деформаций с мерзлотно-грунтовыми условиями, позволяли сократить объем обследований на деформирующихся участках, а также выявить потенциально неблагоприятные участки, на которых необходимо было установить наблюдения или принять превентивные меры. Карты масштаба 1:10 000 были составлены на 400 км трассы на Восточном участке БАМ (Тында — Зейск) и на 22 км — на Западном (Улан-Макит — Кодар). Детальные карты масштаба 1:1000-1:2000 были составлены на 23 «больных» места Восточного участка общей протяженностью 45 км и на одно такое место на Западном участке.

Для оценки возможных изменений инженерно-геокриологических условий, необходимости и достаточности проектируемых противодеформационных мероприятий выполнялось инженерно-геокриологическое прогнозирование, основанное на теплофизических расчетах и данных, полученных при обследовании конкретных участков земляного полотна. Всего было выполнено прогнозирование для 33 деформирующихся мест (для 28 — на Восточном и для 5 — на Западном участках), причем для 24 мест прогнозирование было выполнено Мосгипротрансом собственными силами, а для 9 — с помощью субподрядных организаций (МГУ — 7, ЦНИИС — 2). Теплофизические расчеты выполнялись для 10–15 вариантов изменения климатических факторов и противодеформационных мероприятий. При этом устанавливались наиболее вероятные причины возможных изменений мерзлотных условий и развития деформаций и давались рекомендации по устранению или предотвращению последних.

Анализ результатов теплофизических расчетов и сопоставление их с данными натурных исследований позволили сделать определенные выводы о причинах деформаций земляного полотна на участках многолетнемерзлых грунтов.

1. Деформации земляного полотна в основном вызываются многолетним оттаиванием и осадкой грунтов в его основании. Их величина и длительность развития зависят от мощности льдистых толщ и глубины многолетнего оттаивания последних.

2. Прогрессирующее многолетнее оттаивание льдистых грунтов может возникнуть при любых высоте и конструкции земляного полотна, но более вероятно под высокими (6 м и более) и широкими насыпями. Дegradaция многолетней мерзлоты возникает в таких условиях теплообмена, при которых среднегодовая температура на подошве сезонноталого слоя след-

ствие сочетания различных причин становится положительной.

3. Основными факторами, вызывающими деградацию многолетней мерзлоты в основании земляного полотна, являются:

- а) увеличение количества поглощенной солнечной радиации по сравнению с естественной поверхностью (например, марь имеет альбедо 25%, гравийное покрытие — 13%, зачерненная поверхность — 6%; на широте БАМ среднегодовая температура поверхности изменяется на 1–2 °С при изменении альбедо на 5–10%);
- б) инфильтрация теплых летних осадков (повышение среднегодовой температуры грунтов при этом может достигать нескольких градусов; на косогорах это резко усиливается в результате фильтрации поверхностных вод под насыпь);
- в) увеличение мощности снежного покрова в нижней части насыпи и на прилегающей территории (слой снега оказывает обогревающее влияние от 3–4 °С при его толщине 0,3 м до 12–13 °С при толщине 1 м).

4. В теле высокой насыпи образуются многолетние талики мощностью 2–6 м вследствие того, что глубина потенциального сезонного промерзания в данных климатических условиях меньше мощности насыпных грунтов. Под такими насыпями возникает зона непромерзающих грунтов, по которой фильтрующиеся воды в сочетании с прекратившимся зимним охлаждением вызывают многолетнее оттаивание грунтов основания.

К сожалению, только первые 2 года работы по инженерно-геокриологическому обследованию и мониторингу земляного полотна БАМ выполнялись по описанной выше программе, рассчитанной на 5 лет и предусматривавшей глубокие и последовательные исследования как для обоснования и разработки противодеформационных мероприятий для известных «больных» мест, так и для выявления потенциально опасных участков и разработки превентивных мероприятий. В начале 1991 г. из-за финансовых трудностей БАМ ж.д. работы по инженерно-геокриологическому обследованию земляного полотна для общей характеристики и оценки состояния линии, выявления потенциально опасных участков были переориентированы на детальные изыскания для выпуска проектной документации по «лечению» наиболее сильно деформирующихся участков. В 1992 г. работы по инженерно-геокриологическому обследованию и мониторингу земляного полотна БАМ практически прекратились. Не получили развития и опытно-экспериментальные работы по стабилизации земляного полотна на деградирующих многолетнемерзлых грунтах. В проектах в основном предусматривалось применение каменной наброски, в меньшей степени — парожидкостных охлаждающих установок в комплексе с пенопластом или торфом, а также продуваемых затенителей из железобетонных плит, укладываемых на обрезки старогонных деревянных шпал или из коробчатых железобетонных конструкций.

В конце 1992 г. было принято решение о создании на основе Тындинской мерзлотной станции ЦНИИС мерзлотной службы БАМ ж.д., о необходимости которой ставился вопрос еще в 1988 г. [7]. Предлагалось также создать специализированное ремонтно-строительное

подразделение БАМ ж.д. в составе мерзлотной службы или отдельное, но работающее под ее методическим руководством для проведения мероприятий по обеспечению стабильности дороги. Этого сделано не было.

Опыт организации и результаты инженерно-геокриологического обследования и мониторинга земляного полотна БАМ в 1989–1991 гг. были рассмотрены в работе [3] и широко использовались в Китае на Цинхай-Тибетской железной дороге [4, 5]. С точки зрения автора, они должны быть в полной мере использованы и при разработке системы комплексного контроля, прогнозирования и управления состоянием природно-технической системы Северного широтного хода, как сегодня иногда называют БАМ.

Современное состояние земляного полотна БАМ

В настоящее время БАМ эксплуатируется на пределе своей пропускной способности. С учетом реализуемых инвестиционных проектов остро стоит вопрос о ее повышении. Предполагается, что к 2020 г. необходимо увеличить пропускную способность магистрали в 4,8–7,5 раза.

Главную проблему здесь представляет состояние пути. Так, на Дальневосточной железной дороге (ДВЖД) 637 км (18%) из 3539 км земляного полотна подвержены деформациям вследствие оттаивания многолетней мерзлоты в основании. Деформации железнодорожного пути носят многолетний и незатухающий характер на участках, построенных как в 1974–1988 гг., так и в 1932–1940 гг. Скорость движения поездов составляет в основном 60 км/ч и только в отдельных местах 70 км/ч, а на «больных» участках она снижена до 25–40 км/ч. Надзор за состоянием земляного полотна в основном базируется на визуальных осмотрах его работниками дистанций пути и на наблюдениях за температурой грунтов, осуществляемых сотрудниками Тындинской мерзлотной станции, причем последние проводятся только на 41 из 1759 участков с деформациями земляного полотна.

Аналогична ситуация и в западной части БАМ, входящей в состав Восточно-Сибирской железной дороги (ВСЖД). Наиболее характерный пример здесь представляет участок Наледный — Хани, обслуживаемый Ново-Чарской дистанцией пути и пересекающий с запада на восток Чарскую котловину и хребты Кодар (по тоннелю длиной 2 км) и Удокан. Здесь повсеместно

развиты многолетнемерзлые горные породы, нередко содержащие сегрегационный, инъекционный, погребенный и полигонально-жильный лед. Талики приурочены только к руслам рек и днищам глубоких озер, а также к местам разгрузки подземных вод глубокой циркуляции. Протяженность железнодорожного пути составляет 217,89 км, земляного полотна — 211,50 км. По данным на 03.08.2010 г., на указанном участке имелось 171 место с деформациями земляного полотна общей протяженностью 54,61 км (25,8% от всей длины участка). За период с 2005 по 2010 г. количество «больных» мест земляного полотна и их общая протяженность изменялись следующим образом:

- 01.01.2005 г. — 100 (27,16 км, 12,8%);
- 01.01.2006 г. — 105 (27,65 км, 13,1%);
- 01.01.2007 г. — 177 (58,70 км, 27,8%);
- 01.01.2008 г. — 183 (61,76 км, 29,21%);
- 20.05.2009 г. — 169 (54,12 км, 25,6%);
- 03.08.2010 г. — 171 (54,61 км, 25,8%).

Таким образом, за последние 5 лет количество «больных» мест увеличилось в 1,7 раза, их суммарная протяженность — в 2 раза, несмотря на систематический, в т.ч. капитальный ремонт и реконструкцию пути [6].

Многолетние деформации земляного полотна на участке Наледный — Хани вследствие оттаивания льдистых многолетнемерзлых грунтов в основании отмечаются в 144 (84,2%) местах общей протяженностью 43,025 км (78,8%). Примеры таких деформаций земляного полотна показаны на рисунках 2–5.

Так, на участке многолетних деформаций земляного полотна 1683–1684 км перегона Саллики — Сакукан, где с 20.06.1995 г. действовало ограничение скорости движения поездов до 40 км/ч, 28–31.07.2010 г. был произведен капитальный ремонт пути силами ПМС-66 по проекту института «Иркутскжелдорпроект» и с 26.08.2010 г. была разрешена скорость движения поездов до 60 км/ч. При этом, однако, здесь продолжается деградация многолетнемерзлых грунтов в основании земляного полотна и присыпной подушки, увеличение протяженности, ширины и глубины трещин (рис. 4), а местами и термокарстовых провалов (рис. 5). Поскольку при капитальном ремонте данного участка стабилизационные мероприятия для земляного полотна и его основания не проводились, а по данным бурения 2000 г. здесь залегают многолетнемерзлые дисперсные грунты неустановленной мощности с льдистостью 20–46%, возможно их дальнейшее оттаивание с внезапными просадками земляного полотна и деформациями пути.

Таким образом, для реализации стратегических задач по освоению прогнозируемого грузопотока по БАМ величиной 59,3–92,8 млн т надо прежде всего обеспечить устойчивость и надежность пути на участках развития многолетнемерзлых грунтов, что возможно лишь при своевременном выявлении закономерностей развития мерзлотных условий на трассе, систематическом контроле их динамики и криогенного воздействия на элементы дороги, осуществлении защитных, преимущественно превентивных, мероприятий. Наиболее эффективно это можно осуществить в рамках системы инженерно-геокриологического мониторинга (СИГМ) БАМ, которую необходимо создать с



Рис. 2. Деформации пути на 1834 км ВСЖД (08.10.2010 г.)



учетом концепции СИГМ строящегося железнодорожного пути Беркакит — Томмот — Якутск [9] и опыта ее практической реализации на Цинхай-Тибетской железной дороге [5]. Основные положения концепции СИГМ БАМ изложены далее.

Структура и общая схема функционирования системы инженерно-геокриологического мониторинга железнодорожного пути БАМ

СИГМ БАМ призвана обеспечить систематичность контроля, оценки, прогноза и управления развитием инженерно-геокриологических процессов на трассе железнодорожного пути для обеспечения стабильности земляного полотна и искусственных сооружений. По аналогии с работами [9, 10] ее функционирование может быть представлено в виде ряда упорядоченных процедур, организованных в повторяющиеся циклы по мере получения новых данных (наблюдений, оценки опасности инженерно-геокриологических процессов, прогноза их дальнейшего развития, управления развитием неблагоприятных процессов).

Структурная схема СИГМ БАМ включает блоки: наблюдений; сбора, обработки, анализа, оценки и хранения информации; прогноза и разработки противодеформационных мероприятий; проведения защиты.

Функциональная структура СИГМ БАМ состоит из нескольких подсистем различного назначения, выполняющих разные функции: иерархической, объектов мониторинга, функциональной, производственных работ, научно-методического обеспечения, технического обеспечения.

Иерархическая подсистема предполагает четкую организацию разветвленной сети контрольно-информационных пунктов, соответствующую административно-функциональной организации служб пути ВСЖД и ДВЖД, и отражает три уровня организации системы мониторинга, причем непосредственно в пределах дорог может быть выделено только два уровня, а третий может относиться к Центру обследования и диагностики инженерных сооружений ОАО «РЖД» (Центру ИССО).

Низшим иерархическим уровнем является *участковый (детальный) уровень системы мониторинга*, реализуемый в пределах участков (околотков) пути. Это важнейшее звено СИГМ, т.к. именно в нем непосредственно проводится мониторинг и получается первичная информация о развитии инженерно-геокриологических процессов на трассе магистрали и о воздействии их на земляное полотно и искусственные сооружения.

Средний иерархический уровень — *дистанционный (локальный) уровень системы мониторинга*, реализуемый в пределах дистанции пути. В этом звене, опираясь на сеть участковых звеньев СИГМ и объединяя их, осуществляют контроль инженерно-геокриологических процессов и противомерзлотную защиту земляного полотна и искусственных сооружений на территории дистанции пути.

Высший иерархический уровень — *магистральный (региональный) уровень* входит в компетенцию Центра ИССО, ВСЖД и ДВЖД. На нем осуществляется на-



Рис. 3. Деформации пути на 1832 км ВСЖД (08.10.2010 г.)

учно-методическое руководство, координация и контроль функционирования СИГМ БАМ в целом.

В свою очередь, система мониторинга БАМ может войти составной частью в более крупную систему мониторинга опасных инженерно-геокриологических процессов железных дорог Восточной Сибири, Забайкалья, Дальнего Востока и Якутии.

Объектами мониторинга должны быть природные и техногенные факторы, влияющие на развитие инженерно-геокриологических процессов, сами эти процессы, противодеформационные сооружения и мероприятия. К числу основных природных факторов, оказывающих непосредственное влияние на развитие данных процессов, относятся метеорологические, геоботанические, гидрологические, гидрогеологические и геокриологические факторы.

Следующим важным элементом структуры системы мониторинга является *подсистема производственных работ*, составляющая производственную базу мониторинга. Эта подсистема должна объединить в себе различные источники получения информации о геокриологической среде и собственно об инженерно-геокриологических процессах и их влиянии на железнодорожный путь, а также различные работы по противомерзлотной защите.



Рис. 4. Трещины на берме с нагорной стороны насыпи на 1674 км ВСЖД (08.10.2010 г.)



Рис. 5. Термокарстовый провал у подошвы насыпи на 1685 км ВСЖД (24.06.2010 г.)

Другой важнейший элемент — это *подсистема научно-методических разработок*, назначением которой является разработка всего комплекса методик, используемых при планировании, организации и функционировании системы мониторинга, проведении производственных работ, анализе и оценке результатов наблюдений, прогнозировании и выдаче управляющих решений. От этого в конечном счете зависят результаты работы всей системы мониторинга, техническая и экономическая эффективность противодеформационных мероприятий.

И, наконец, последним элементом структуры системы мониторинга является *подсистема ее технического обеспечения (техническая база)*. Техническое обеспечение представляет собой наиболее дорогостоящую часть системы мониторинга, поэтому оно должно формироваться наиболее оптимальным образом, без излишних затрат и дублирования. Кроме того, при создании СИГМ следует иметь в виду уже сложившуюся на территории прохождения БАМ сеть режимных наблюдений за компонентами геокриологической среды, в частности за метеоэлементами, и имеющуюся техническую базу соответствующих организаций и предприятий.

В ходе создания СИГМ БАМ, лучше всего в самом начале, следует решить вопрос *организационного обеспечения функционирования системы мониторинга*. Возможно несколько вариантов его решения. Можно выбрать организацию из числа имеющихся и, усилив ее соответствующим образом, поручить ей создание и обеспечение функционирования системы мониторинга, например Центру ИССО в составе Тындинской мерзлотной станции и дорожных геобаз. А можно создать специализированные подразделения по противомерзлотной защите непосредственно в составе служб пути ВСЖД и ДВЖД, функциональная структура которых будет полностью соответствовать задачам системы мониторинга БАМ.

Для эффективного функционирования СИГМ БАМ, особенно в начальный период, целесообразно предусмотреть *научно-методическое и технологическое сопровождение системы мониторинга*. Это может осуществлять, например, ТрансИГЭМ — предприятие по инженерно-геологическому и экологическому мониторингу транспортных сооружений. Режимные наблюдения за динамикой мерзлотной обстановки могла бы проводить Тындинская мерзлотная станция.

Комплексная программа организации системы инженерно-геокриологического мониторинга БАМ

Для практического создания системы инженерно-геокриологического мониторинга БАМ необходимо разработать комплексную программу ее организации (КПО). Основное назначение этой программы — основанно наметить оптимальный состав и последовательность практических действий по организации и функционированию СИГМ БАМ.

В основу научно-методических разработок СИГМ БАМ должны быть заложены следующие основные принципы: системность, комплексность, программно-целевой подход.

Системность концепции СИГМ БАМ определяет одновременный и всесторонний подход к анализу природных и техногенных инженерно-геокриологических процессов и их влияния на железнодорожный путь с учетом технологических, экологических, социальных и экономических интересов. Системность природных и техногенных объектов требует рассмотрения каждой проблемы как части более общей, каждого единичного фактора — во взаимосвязи с другими, каждого явления — в системе других явлений, так или иначе модифицирующих его.

В комплексность концепции СИГМ БАМ входит одновременный учет развития опасных инженерно-гео-



криологических процессов и ущерба, наносимого ими как непосредственно железнодорожному пути, так и перевозочному процессу в целом.

Программно-целевой подход СИГМ БАМ предполагает четкое выделение основных целей, промежуточных и конечных результатов и в итоге — разработку комплекса мероприятий и управляющих решений, направленных на предотвращение, прекращение или ослабление воздействия инженерно-геокриологических процессов на железную дорогу.

Возможный вариант КПО СИГМ БАМ может состоять из введения, четырех разделов, заключения и приложений.

Во введении к программе необходимо было бы дать краткую общую характеристику геокриологической среды на трассе дороги, привести обоснование необходимости организации СИГМ БАМ, указать цель и назначение программы.

В первом разделе следовало бы дать характеристику тех компонентов геокриологической среды и развития инженерно-геокриологических процессов, которые требуют контроля, оценки, прогноза и управления.

Второй раздел целевой программы — методический. Его назначение — раскрыть методику исследований СИГМ БАМ, охарактеризовать систему наблюдений и комплекс применяемых методов. При этом следует разработать ряд важных научно-методических обоснований КПО СИГМ БАМ, основными из которых являются:

- обоснование площади изучения, включающей как минимум территории участков земляного полотна и искусственных сооружений с опасным или потенциально опасным развитием инженерно-геокриологических процессов и явлений;
- обоснование и выбор системы мониторинга на основе анализа и выделения тех компонентов геокриологической среды, которые определяют характер и интенсивность развития инженерно-геокриологических процессов и явлений на той или иной территории, с одновременным учетом природных компонентов и техногенных источников воздействия;
- обоснование расположения наблюдательной сети мониторинга на основе районирования трассы магистрали по опасности развития инженерно-геокриологических процессов и явлений, включающее характеристику природных и техногенных процессов и явлений и оценку их реального и потенциального вредного воздействия (в оптимальном варианте все типологические таксоны районирования подлежат оценке и изучению в системе мониторинга);
- обоснование периода наблюдений в системе мониторинга, определяемого в основном режимом инженерно-геокриологических процессов и степени их опасности на конкретных участках дороги;
- обоснование режима наблюдений за каждым динамичным компонентом природной среды и соответствующим развитием инженерно-геокриологических процессов.

В третьем разделе следует охарактеризовать те вопросы, которые на начальной стадии планирования и организации системы мониторинга еще могут быть не совсем ясны (в частности, не до конца решены научно-

методические, технологические и технические проблемы мониторинга). Здесь же необходимо наметить возможные пути решения таких проблем.

В четвертом разделе программы надо изложить план организационных работ по созданию СИГМ БАМ и ее функционированию. В него должна быть включена последовательная характеристика основных этапов организации мониторинга, а также характеристика функционирующей системы в целом с описанием порядка (правил) оценки и прогноза ситуации, принятия рекомендаций и управляющих решений, особенностей их реализации.

В заключении КПО необходимо указать общие выводы и привести общие рекомендации по организации СИГМ БАМ. Кроме того, целесообразно указать механизмы информационной связи последней с системами мониторинга более высокого ранга или со смежными системами и пути реализации этой связи.

Конечным результатом разработки комплексной программы станет выбор наиболее эффективного способа реализации системы инженерно-геокриологического мониторинга БАМ.

Реализацию КПО СИГМ БАМ целесообразно осуществлять в три этапа.

Начальный, или подготовительный, этап включает в себя мероприятия, подготавливающие и создающие условия для разработки и обоснования методики наблюдений в СИГМ БАМ. Основными работами на этом этапе являются: изучение фондовых и опубликованных материалов, характеризующих геокриологическую среду и ее компоненты на данной территории; сбор и систематизация имеющейся информации о развитии инженерно-геокриологических процессов на данной территории; сбор информации об участках дороги, нуждающихся в защите; составление карт инженерно-геокриологической изученности территории.

Второй этап — это этап создания информационной базы данных о природной среде и развитии инженерно-геокриологических процессов на трассе дороги. Его задачами являются: обоснование и разбивка наблюдательной сети СИГМ БАМ; выбор и оборудование эталонных (ключевых) участков, наблюдательных площадок, профилей и т.д.; создание банка данных, автоматизированных информационных систем (АИС), локальных и коммуникационных сетей; создание условий для непрерывного информационного обеспечения. Основными видами работ на данном этапе являются: наземные прямые наблюдения за элементами природной среды и развитием инженерно-геокриологических процессов; наземные дистанционные (геофизические) наблюдения; специальное дешифрирование космо- и аэрофотоснимков и применение различных дистанционных методов наблюдений; проведение режимных наблюдений; составление карт типологического инженерно-геокриологического районирования территории, карт типизации техногенных воздействий, карты-схемы организации СИГМ БАМ и др.; техническая реализация АИС; продолжение сбора сторонней информации.

Третий этап — этап функционирования СИГМ БАМ. Его задачами являются собственно цели самой системы мониторинга: фиксация изменений компонен-

тов природной среды и техносферы (железной дороги и инфраструктуры прилегающей территории), оценка ситуации, ее анализ, моделирование, прогноз и разработка и осуществление мероприятий по управлению инженерно-геокриологическими процессами. Основными видами работ на этом этапе являются: непрерывная обработка и анализ поступающей информации; представление результатов в виде различных «дежурных карт инженерно-геокриологических процессов», регулярных аналитических отчетов, аналитических записок, заключений о состоянии геокриологической среды и т.п.; моделирование различных ситуаций; ситуационное прогнозирование (через какое время возникнет та или иная ситуация); разработка рекомендаций по управлению инженерно-геокриологическими процессами и элементами природной среды; противомерзлотная защита объектов дороги; профилактические работы на наблюдательной сети (ремонт оборудования, наладка, замена питающих элементов,правка и т.д.).

Поэтапная реализация КПО СИГМ БАМ позволит создать систему мониторинга, которая в дальнейшем, по мере накопления данных, может и должна совершенствоваться и уточняться.

Заключение

Таким образом, для обеспечения эффективной эксплуатации Байкало-Амурской железнодорожной магистрали, проходящей по южной окраине области вечной мерзлоты и глубокого сезонного промерзания грунтов, что предопределяет постоянное изменение мерзлотных условий, необходимы: выявление закономерностей развития мерзлотных условий на трассе, систематический контроль их динамики и криогенного воздействия на элементы дороги, своевременное осуществление защитных мероприятий. С наиболь-

шей эффективностью это может быть сделано в рамках системы инженерно-геокриологического мониторинга БАМ.

На основе концепции системы мониторинга БАМ, основные положения которой изложены в данной статье, и опыта организации инженерно-геокриологического обследования и мониторинга земляного полотна магистрали в 1989–1991 гг. (также освещенного в настоящей публикации) необходимо разработать проект создания системы контроля и превентивного устранения возможных негативных воздействий инженерно-геокриологических процессов и явлений на железную дорогу. В проекте СИГМ БАМ следует проработать организационные, финансовые, методические и технические аспекты инженерно-геокриологического сопровождения эксплуатации железнодорожной магистрали, в т.ч. ее текущего содержания, ремонта, капитального ремонта и реконструкции.

Чем раньше будет создана и начнет функционировать система инженерно-геокриологического мониторинга Байкало-Амурской магистрали, тем более надежной и безопасной она будет и тем меньше будут непроизводительные расходы при ее эксплуатации. Без этого магистраль будет обречена на перманентный ремонт, постоянные ограничения скорости движения поездов и колоссальные в связи с этим финансовые и материальные потери государства и населения.

Примером современного подхода к решению проблемы обеспечения стабильности железнодорожного пути в криолитозоне является строительство Цинхай-Тибетской железной дороги (начатое в Китае в 2001 г. и завершенное в 2006 г.) и ее последующая эксплуатация, где широко использовались российские разработки [5, 9]. Китайский опыт также необходимо учесть при создании системы инженерно-геокриологического мониторинга БАМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бушин А.В. О задачах по обеспечению надежности земляного полотна железных дорог в современных условиях // Железнодорожный транспорт. Путь и путевое хозяйство. М.: ЭИ/ЦНИИТЭИ МПС, 1992. Вып. 5-6. С. 1–14.
2. Кондратьев В.Г. Геокриологические исследования на переходах газопроводов через долины рек. Новосибирск: Наука (Сиб. отделение), 1988. 192 с.
3. Кондратьев В.Г. Опыт организации инженерно-геокриологического обследования и мониторинга земляного полотна БАМ // Железнодорожный транспорт. Путь и путевое хозяйство. М.: ЭИ/ЦНИИТЭИ МПС, 1992. Вып. 5-6. С. 28–44.
4. Кондратьев В.Г. Опыт строительства и проблемы стабильности земляного полотна Цинхай-Тибетской железной дороги на участках вечной мерзлоты // Транспорт Российской Федерации. 2009. № 6 (25). С. 52–55.
5. Кондратьев В.Г. Цинхай-Тибетская железная дорога — грандиозная попытка решить проблему обеспечения стабильности земляного полотна на вечной мерзлоте // Геотехника. 2011. № 1. С. 4–11.
6. Кондратьев В.Г., Валиев Н.А. Воздействие криогенных процессов и явлений на земляное полотно БАМ на участке Наледный — Хани и возможные пути его защиты // Труды Седьмой научно-технической конференции с международным участием «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации земляного полотна железных дорог»: Чтения, посвященные 106-летию профессора Г.М. Шахунянца. М.: Изд-во МИИТ, 2010. С. 114–117.
7. Кондратьев В.Г., Королев А.А. Противомерзлотная защита. Какой она должна быть // Транспортное строительство. 1988. № 11.
8. Кондратьев В.Г., Королев А.А. Состояние и задачи геокриологического обеспечения строительства // Транспортное строительство. 1988. № 6.
9. Кондратьев В.Г., Позин В.А. Концепция системы инженерно-геокриологического мониторинга строящегося железнодорожного пути Беркамит — Томмот — Якутск. Чита: Забтранс, 2000. 84 с.
10. Королев В.А. Мониторинг геологической среды. М.: Изд-во МГУ, 1995. 272 с.
11. Яковлев В.Е. Текущее содержание и капитальный ремонт земляного полотна в условиях БАМ // Железнодорожный транспорт. Путь и путевое хозяйство. М.: ЭИ/ЦНИИТЭИ МПС, 1992. Вып. 5-6. С. 14–28.
12. Kondratyev V.G. Geocryological monitoring of pipelines // Proceedings of the 4th International Permafrost Conference. Washington, D.C.: National Academy Press, 1983. P. 651–655.