



ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО СТАБИЛИЗАЦИИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА ЦЕНТРАЛЬНОМ УЧАСТКЕ БАЙКАЛО-АМУРСКОЙ МАГИСТРАЛИ С ПОМОЩЬЮ СОЛНЦЕОСАДКОЗАЩИТНЫХ НАВЕСОВ

EXPERIMENTS ON STABILIZATION OF THE ROADBED IN THE CENTRAL PART OF THE BAIKAL-AMUR MAINLINE USING AWNING ROOFS

ВАЛИЕВ Н.А.

Мастер по земляному полотну Новочарской дистанции пути Восточно-Сибирской ж.д., аспирант горного факультета Забайкальского государственного университета, пгт. Новая Чара (Забайкальский край)

КОНДРАТЬЕВ В.Г.

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

VALIEV N.A.

Subgrade foreman of the Novocharsk Permanent Way Division of the East-Siberian Railway, postgraduate student of the Mining Faculty of Trans-Baikal State University, New Chara (Trans-Baikal Krai)

KONDRATIEV V.G.

Research manager of the «TransEGEM» RPE, professor of the Hydrogeology and Engineering Geology Department of the Mining Faculty of Trans-Baikal State University, ScD (doctor of science in Geology and Mineralogy), Chita, v_kondratiev@mail.ru

Ключевые слова:

Байкало-Амурская магистраль (БАМ); центральный участок БАМ; Восточно-Сибирская железная дорога (ВСЖД); многолетнемерзлые грунты; деформации железнодорожного пути; стабилизация земляного полотна; солнцесадкозащитный навес.

Key words:

Baikal-Amur Mainline (BAM); BAM central part; East-Siberian Railway (ESRW); permafrost soils; railway track deformations; subgrade stabilization; awning roof (sun-precipitation-protective shed).

Аннотация

Характеризуется современное состояние земляного полотна на участке Наледный — Хани Восточно-Сибирской железной дороги (ВСЖД). Описываются проведенные в 2009–2015 гг. эксперименты по дополнительному охлаждению массива многолетнемерзлых грунтов в основании железнодорожного пути с помощью размещения на откосах насыпи солнцесадкозащитных навесов, показавших свою техническую и экономическую эффективность.

Введение

Центральный участок Байкало-Амурской магистрали (БАМ) Наледный — Хани обслуживается Новочарской дистанцией пути Восточно-Сибирской железной дороги (ВСЖД). Он пересекает с запада на восток Чарскую котловину и хребты Кодар (тоннелем длиной 1,98 км) и Удокан. В его основании повсеместно развиты многолетнемерзлые горные породы, нередко содержащие сегрегационный, инъекционный, погребенный и полигонально-жильный лед. Талики приурочены к руслам рек и днищам глубоких озер, а также к местам разгрузки подземных вод глубокой циркуляции.

Эксплуатационная длина рассматриваемого участка земляного полотна составляет 210,352 км. По данным на 01.06.2015 г. на нем имеется 152 места с деформациями общей протяженностью 55,650 км, или 26,46% от эксплуатационной длины. В том числе 44,760 км (21,27%) деформаций обусловлены просадками земляного полотна вследствие деградации льдистых многолетнемерзлых грунтов в основании.

С 2005 по 2015 г. количество «больных» мест увеличилось в 1,52 раза, их суммарная протяженность — в 2,05 раза. Деформативность земляного полотна увеличилась в основном вследствие деградации многолетнемерзлых грунтов (ММГ) в его основании. Так, если 1.01.2005 г. было 80 таких участков общей протяженностью 16,14 км, то 01.06.2015 г. насчитывалось уже 131 деформированное место общей протяженностью 44,76 км (80,43% от общей протяженности «больных» мест земляного полотна). За 10 лет количество таких «больных» участков увеличилось в 1,64 раза, а их протяженность — в 2,77 раз. Наиболь-

Abstract

The current state of the roadbed in the section between Naledny and Khani of the East-Siberian Railway (ESRW) is characterized. The article describes experiments carried out in 2009–2015 that consisted in additional cooling of the permafrost soil massif in the base of the railway track using placement of awning roofs (sun-precipitation-protective sheds) on the railroad embankment slopes. The awning roofs proved to be technically and economically efficient.



ший рост деформаций земляного полотна отмечается на перегоне Мурурин — Олонгдо, где количество «больных» мест увеличилось в 2,31 раза, а их протяженность — в 3,08 раза.

Установленная скорость движения поездов в пределах Новочарской дистанции пути ВСЖД составляет 60–100 км/ч. Однако на участках деформаций земляного полотна¹ с осадками пути скорость движения часто ограничивается до 40 км/ч и иногда до 25 км/ч, что требует применения дополнительных компенсационных мер по обеспечению безопасности движения поездов с установленными скоростями, затраты на которые с каждым годом возрастают.

Для стабилизации деформирующихся участков на ММГ необходимо прежде всего прекратить дальнейшее развитие их деградации в основании земляного полотна и на прилегающей территории. Поэтому с 2009 г. на Новочарской дистанции пути ВСЖД проводятся опытно-экспериментальные работы по охлаждению земляного полотна на льдистых многолетнемерзлых грунтах, в частности с помощью навесов, защищающих поверхность грунта от солнечного излучения и атмосферных осадков (далее — солнцезащитных навесов²) [2, 3], использование которых по предложению профессора В.Г. Кондратьева³ на Цинхай-Тибетской железной дороге показало их высокую эффективность [4].

Эксперименты по стабилизации земляного полотна с помощью солнцезащитных навесов

На Новочарской дистанции пути ВСЖД экспериментальные исследования эффективности солнцезащитных навесов для стабилизации земляного полотна на льдистых многолетнемерзлых грунтах проводятся на трех участках:

- 1841 км;
- 1835 км;
- 1685 км.

Эксперименты на участке № 1 (1841 км)

В ноябре – декабре 2009 г. на 1841 км ВСЖД был установлен навес № 1 из старогодных⁴ шпал над кюветом⁵ и обочиной с нагорной стороны пути для поднятия кровли многолетней мерзлоты с целью уменьшения фильтрации воды под земляное полотно. Размеры навеса составили 51,25×2,75 м, площадь — 140,94 м² (рис. 1).

На момент установки навеса мощность сезонно-талого слоя (СТС) была больше 3,5 м, а примерно через год (по данным на 5.10.2010 г.) она составила 1,68 м, т.е. уменьшилась в 2,1 раза. В последующем мощность СТС под навесом продолжала уменьшаться и в 12.09.2014 г. достигла 1,51 м, т.е. уменьшилась в 2,32 раза. Стабиль-



Рис. 1. Солнцезащитный навес № 1 над обочиной и кюветом на участке 1841 км ВСЖД (октябрь 2010 г.)

¹ Вагон-путеизмеритель фиксирует вертикальные перемещения рельса с точностью 1 мм. На основании этих измерений вводятся соответствующие ограничения скорости.

² Так называемый солнцезащитный навес предназначен для дополнительного охлаждения массива грунтов под ним за счет того, что зимой под ним нет снега, а летом под него не проникают осадки и солнечные лучи (т.е. он способствует охлаждению грунта как летом, так и (особенно) зимой). Конструкция навеса должна выдерживать ветровые и снеговые нагрузки. Материал может быть любым: например, на Тибете панели-сэндвичи на металлических стойках устанавливались над откосами железной дороги, на автомобильных дорогах крыши навесов над откосами были пластмассовыми, над основной площадкой однопутной железной дороги сооружался металлический утепленный навес с дополнительным учетом габарита приближения строений и туннельного эффекта, возникающего при движении поезда со скоростью 100–120 км/ч; на БАМ навесы сооружались из старогодных шпал.

³ В.Г. Кондратьев консультировал китайцев по поводу применения солнцезащитных навесов с 1995 по 2010 г., о чем подробнее можно узнать в статье «Цинхай-Тибетская железная дорога: грандиозная попытка решить проблему обеспечения стабильности земляного полотна на вечной мерзлоте», опубликованной в № 1 журнала «Геотехника» в 2011 г. (с. 4–11). Результаты использования данного метода на Цинхай-Тибетской железной дороге были опубликованы также во множестве других статей разных авторов, в которых отмечались положительные эффекты использования навесов.

⁴ Старогодные шпалы — использованные шпалы, уже не годящиеся для строительства или ремонта железнодорожного пути.

⁵ Кювет — канава в выемке между ее откосом и железнодорожным полотном для отвода поверхностных вод с полотна и откосов выемки и осушения полотна на небольшую глубину.

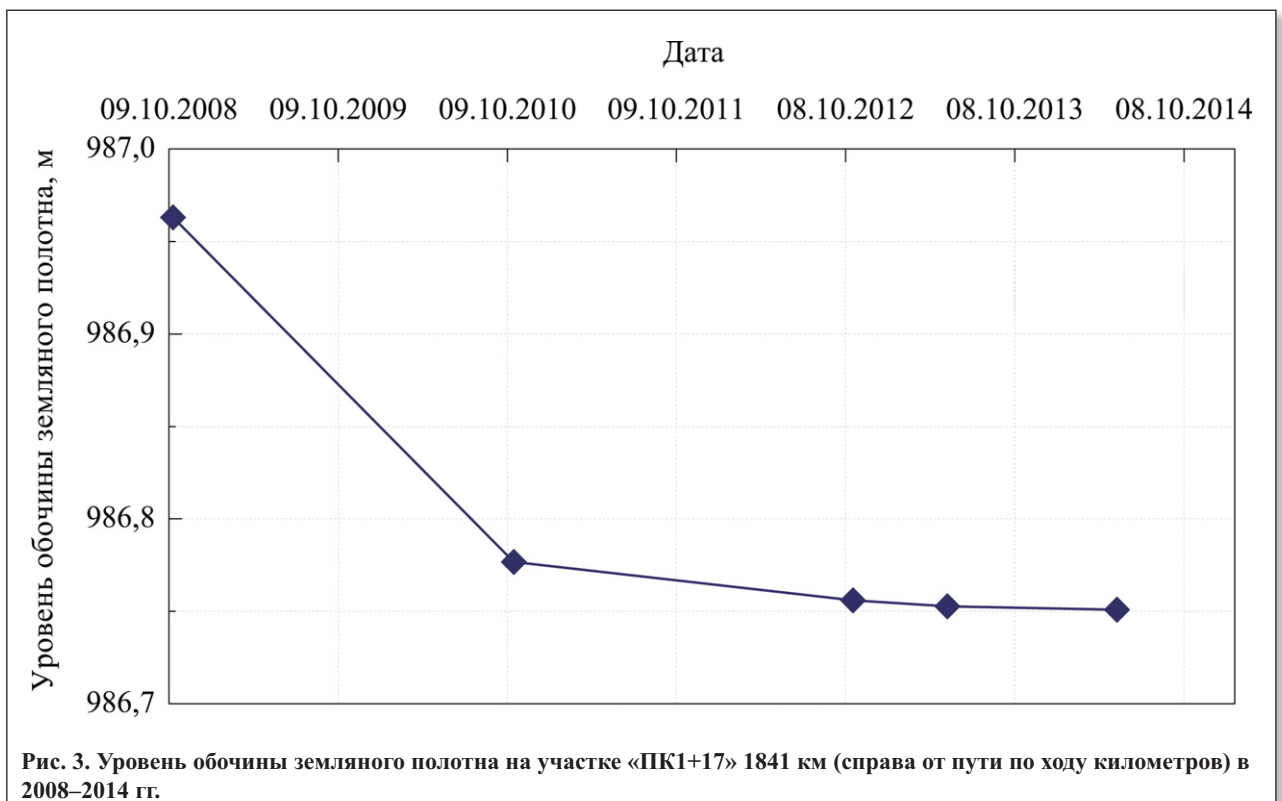
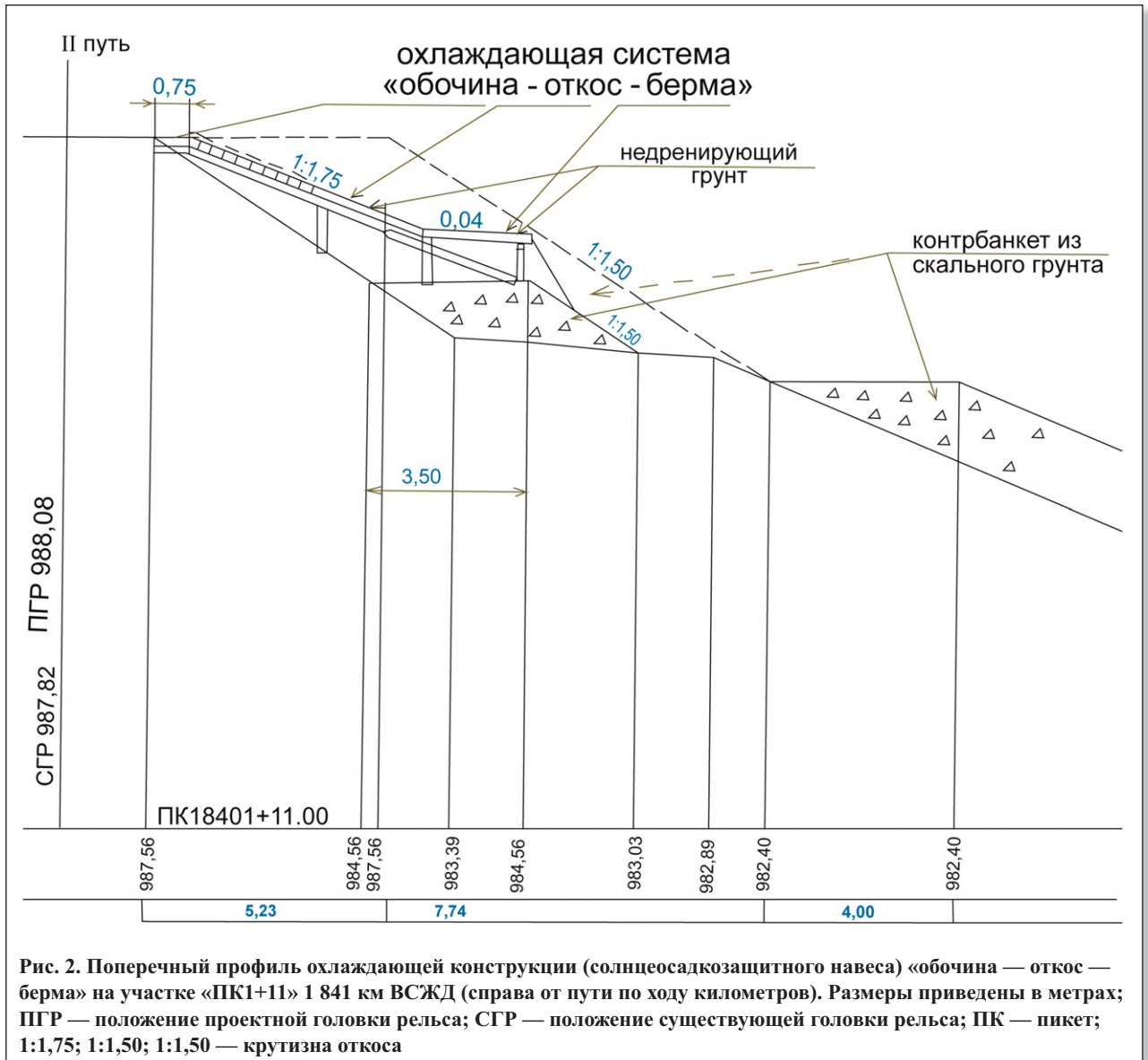




Рис. 4. Солнцезащитные навесы № 1 (справа на рис.) и № 2 (слева на рис.) на участке 1841 км ВСЖД (вид против хода километров, 5.08.2014 г.)



Рис. 5. Солнцезащитный навес № 1 над обочиной и кюветом слева от первого пути по ходу километров (1841 км ВСЖД, июнь 2015 г.)

ность пути при этом увеличилась: если до установки навеса путь приходилось выправлять по четыре и более раз в год (на суммарную величину до 250 мм), то в 2010 г. — всего один раз (до 80 мм). Проведенные до установки навеса капитальный ремонт первого пути (в 2008 г.) и средний ремонт второго пути (в 2009 г.) положительного эффекта не дали. А затраты на сооружение навеса составили всего 11 512 руб. Скальная наброска, широко приме-

няемая на БАМ для стабилизации земляного полотна на многолетнемерзлых грунтах и не всегда дающая ожидаемый результат, стоила бы здесь в 23 раза дороже.

В октябре 2010 г. на 1841 км началось сооружение навеса № 2 в виде комплексной охлаждающей конструкции «обочина — откос — берма» из старогодных шпал с четной стороны второго пути. Это было вызвано тем, что вследствие многократных подъемов пути



Рис. 6. Солнцезащитный навес № 2 над обочиной, откосом насыпи и бермой справа от второго пути по ходу километров (1841 км ВСЖД, июнь 2015 г.)

Таблица 1

Температура грунтов в скважинах под навесом и вне его, °С																
Дата	№ скв.	Глубина, м														
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
19.03.2013 г.	2	-19,4	-14,9	-11,8	-9,0	-6,4	-4,5	-3,1	-2,1	-1,6	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2
	3	-16,5	-10,3	-7,1	-4,7	-2,6	-1,4	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,8	-0,8	-0,9	-0,9	-0,9
	разница	2,9	4,6	4,7	4,3	3,8	3,1	2,2	1,4	0,9	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3
09.03.2014 г.	2	-21,2	-17,1	-13,8	-10,4	-7,6	-5,3	-3,6	-2,5	-2,0	-1,6	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
	3	-11,8	-10,8	-6,9	-3,7	-1,5	-0,5	-0,5	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,8	-0,9	-0,9	-0,9
	разница	9,4	6,3	6,9	6,7	6,1	4,8	3,1	1,8	1,3	0,9	0,8	0,6	0,5	0,5	0,5

на балласт обочина второго пути на участке «ПК1+10 — ПК1+60» исчезла (по нормативу же она должна быть не менее 50 см).

Сначала пришлось восстановить обочину шириной 75 см с использованием старогодных шпал. Затем приступили к сооружению навеса, приподнятого над бермой и откосом насыпи на 1,2 м, над обочиной — на 0,5 м, над подошвой балластной призмы — на 0,25 м (рис. 2).

Площадь навеса № 2 составила 475 м². Его кровля была покрыта слоем недренирующего грунта толщиной 10 см. Затраты на сооружение составили 72 178 руб., что примерно в 20 раз меньше, чем стоил бы контрбанкет из скального грунта в объеме 1 597 м³, предложенный институтом «Иркутскжелездорпроект».

Эта охлаждающая конструкция навеса оказалась весьма эффективной: осадки обочины уменьшились со 186 мм за период 16.10.2008–26.10.2010 до 21 мм за период 26.10.2010–22.10.2012 (когда строительство навеса еще не было завершено, но счищался снег

с обочины, откоса и у подошвы насыпи), до 3 мм за период 22.10.2012–14.05.2013 (после завершения строительства навеса), до 2 мм за период 14.05.2013–15.05.2014 (рис. 3). На прилегающем участке без навеса путь продолжал интенсивно деформироваться (см. рис. 1, на удалении от навеса), несмотря на применение каменной наброски.

Навесы на участке 1841 км периодически перестраивались и расширялись (рис. 4): на февраль 2014 г. площадь покрытия навеса № 1 (слева от первого пути по ходу километров) составила 415 м², навеса № 2 (справа от второго пути по ходу километров) — 593 м² (рис. 6).

Измерение температуры грунтов в скважинах № 1, 2 и 4 под навесами и № 3 вне их (расположение скважин показано на рис. 7) показало значительное охлаждающее влияние навесов. Так, за период 28.12.2012–29.12.2013 под навесом № 1 температура грунтов понизилась с минус 0,2 до минус 5,3 °С на глубине 2 м и с минус 0,1 до минус 2,6 °С на глубине 3 м, тогда как

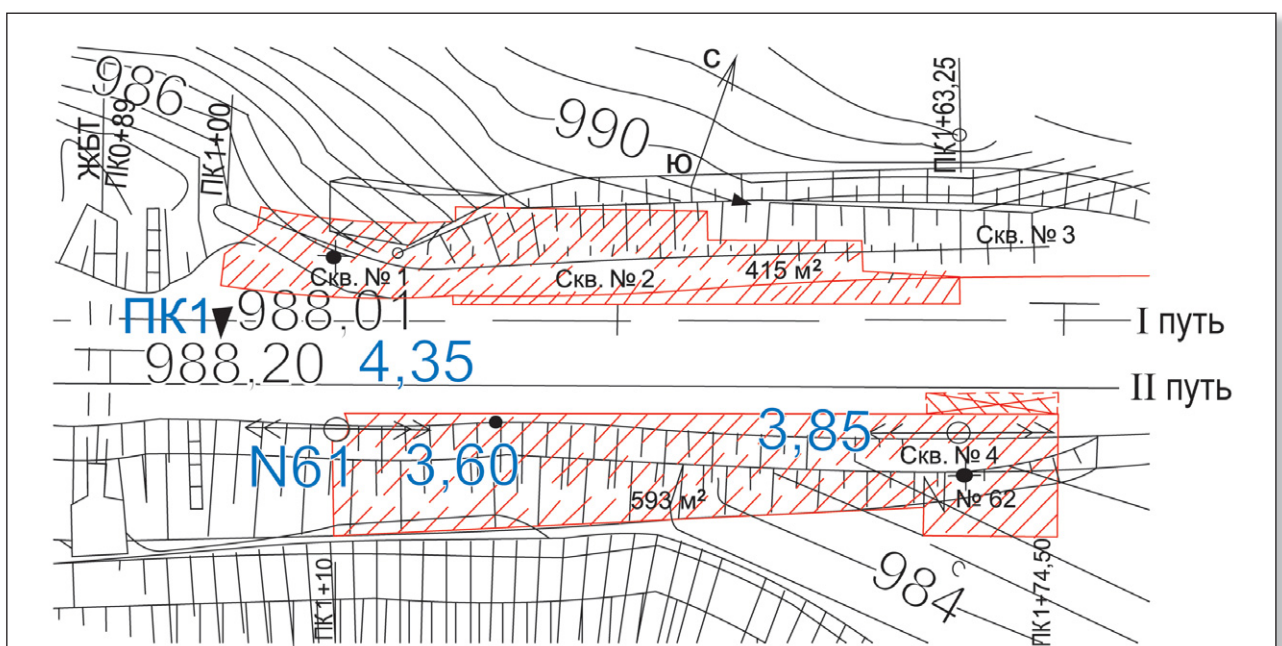


Рис. 7. Расположение навесов № 1 (красная штриховка сверху) и № 2 (красная штриховка снизу) на экспериментальном участке 1841 км. Черная штриховка — откосы, выемка, горизонтали; в центре — железнодорожное полотно с путями I и II; черный треугольник вниз вершиной — пикет № 1 (ПК1); ПК — отметки по ходу километров относительно ПК1; Скв. — скважины; ЖБТ — железобетонная труба; № 61, № 62 — опоры воздушной линии электроснабжения 61 и 62 соответственно (окружностями показаны места их расположения); 986, 990, 984, 988,01 и 988,20 – высотные отметки (отметки горизонталей, м); 4,35, 3,60, 3,85 — расстояния между осями I и II пути на соответствующих отметках по ходу километров (м)

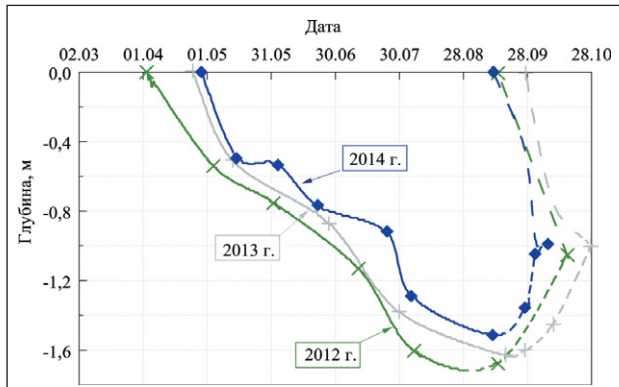


Рис. 8. Динамика оттаивания и промерзания сезонно-талых грунтов под навесом № 1 в 2012–2014 гг. по результатам термоизмерений в скважине № 1. Участки кривых слева от точек перегибов в районе 8–9-го месяцев соответствуют оттаиванию грунта (сплошные линии), выше этих точек — промерзанию (пунктирные линии)

вне его она осталась неизменной (минус 1,0 °С на глубине 2 м и 0,0 °С на глубине 3 м).

Данные о температуре грунтов под навесом № 1 и вне его на 19.03.2013 г. и на 9.03.2014 г. приведены в табл. 1. Из них следует, что охлаждающий эффект солнцезащитного навеса с каждым годом возрастает и постепенно распространяется на весь слой годовых колебаний температуры грунтов. Так, если в марте 2013 г. наиболее сильное (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. На подошве слоя годовых колебаний температуры грунтов (на глубине 12–14 м) вне навеса температура оставалась постоянной и составляла минус 0,9 °С, а под навесом она понизилась на этом уровне до минус 1,4 °С.

С помощью измерения температуры в скважинах № 1–4 с 2012 по 2014 г. была прослежена динамика оттаивания и промерзания грунтов сезонно-талого слоя под навесами и вне их.

На рис. 8 показана динамика промерзания и оттаивания сезонно-талых грунтов под навесом № 1 по результатам измерений в скважине № 1. Отчетливо видно, что мощность СТС под навесом уменьшилась с 1,73 м (2012 г.) до 1,65 м (2013 г.) и 1,51 м (2014 г.).

Анализ данных по скважинам № 1–3 (рис. 8–10), расположенным слева от железнодорожного пути относительно хода километров, показывает, что охлаждающий эффект солнцезащитного навеса № 1 с каждым годом возрастает. Это проявляется как в ежегодном уменьшении мощности СТС под навесом, так и в сокращении сроков его существования на 2,0–2,5 месяца в течение 2012–2014 гг. При этом вне навеса СТС существовал на 2,5–3,0 месяца в год дольше, чем под навесом.

Эта же тенденция четко наблюдается и по результатам измерений температуры в скважине № 2 (рис. 9): мощность СТС под навесом № 1 уменьшилась с 3,75 м (2012 г.) до 2,75 м (2013 г.) и 2,60 м (2014 г.).

По результатам измерения температуры в скважине № 3 (рис. 10) вне навеса динамика оттаивания и промерзания сезонно-талых грунтов в эти же годы оставалась практически неизменной. Мощность СТС составляла: около 4 м — 10.11.2012 г.; 3,86 м — 27.09.2013 г.; 3,96 м — 2.10.2014 г.

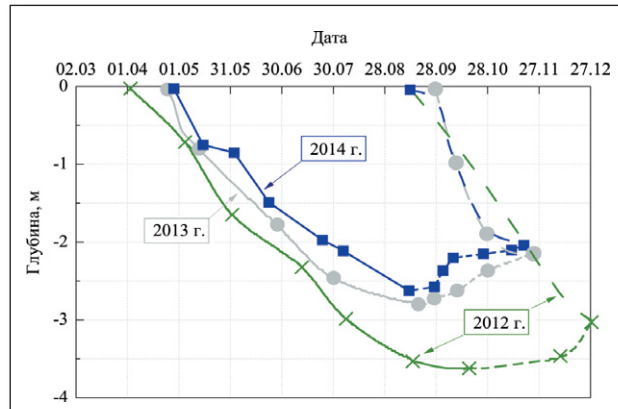


Рис. 9. Динамика оттаивания и промерзания сезонно-талых грунтов в 2012 г. (до сооружения навеса № 1 в конце 2012 г.) и под навесом в 2013–2014 гг. (по данным термоизмерений в скважине № 2). Участки кривых слева от точек перегибов в районе 8–9-го месяцев соответствуют оттаиванию грунта (сплошные линии), выше этих точек — промерзанию (пунктирные линии)

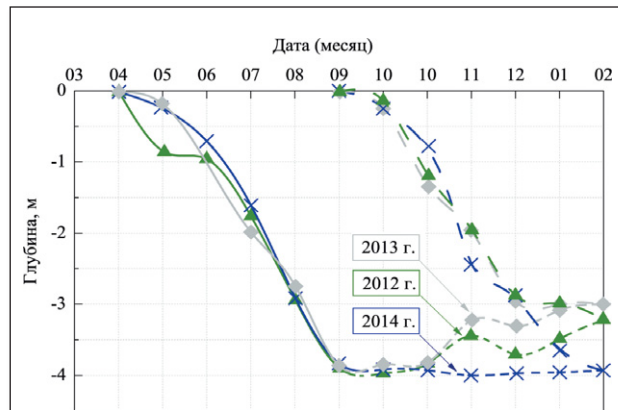


Рис. 10. Динамика оттаивания и промерзания сезонно-талых грунтов вне навеса № 1 в 2012–2014 гг. по результатам термоизмерений в скважине № 3. Участки кривых слева от точек перегибов в районе 9–10-го месяцев соответствуют оттаиванию грунта (сплошные линии), выше этих точек — промерзанию (пунктирные линии)

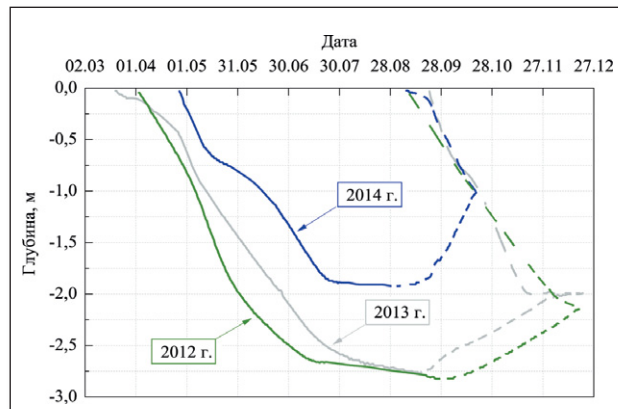


Рис. 11. Динамика оттаивания и промерзания сезонно-талых грунтов в 2012–2014 гг. по данным термоизмерений в скважине № 4, накрытой навесом № 2 в середине октября 2013 г. Участки кривых слева от точек перегибов в районе 9-го месяца соответствуют оттаиванию грунта (сплошные линии), выше этих точек — промерзанию (пунктирные линии)



Рис. 12. Солнцеосадкозащитный навес из шпал над обочиной и откосом насыпи (1835 км ВСЖД, октябрь 2010 г.)

Значительный охлаждающий эффект имеет и солнцеосадкозащитный навес № 2, что было отмечено выше. Этот эффект также следует из анализа данных термоизмерений в скважинах № 4 (рис. 11) и № 3 (рис. 10). Так, за первый год после сооружения навеса над скважиной № 4 в середине октября 2013 г. мощность СТС под навесом уменьшилась с 2,77 до 1,92 м. При этом полное промерзание сезонно-талого слоя 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 позже.

Таким образом, солнцеосадкозащитные навесы на 1841 км ВСЖД, впервые сооруженные в России, позволили стабилизировать путь и значительно сократить затраты на его содержание.

Эксперименты на участке № 2 (1835 км)

В марте — сентябре 2010 г. на участке «ПК6+90 — ПК7+36,5» 1835 км ВСЖД был построен навес из старогодных шпал, покрытый слоем недренирующего грунта толщиной до 10 см. Размеры навеса из трех секций составили $2,50 \times 2,75 + 41,50 \times 5,50 + 2,50 \times 2,75$ м; площадь — 242 м^2 (рис. 12).

На этом участке с термокарстовыми провалами в кювете слева по ходу километров за период с 2005 г. по 23.03.2010 г. скорость движения поездов ограничивалась до 40 км/ч шесть раз, выполнялись ремонтные работы силами укрупненной бригады и с использова-

нием выправочно-рихтовочных машин тяжелого типа с суммарной подъемкой первого пути на величину до 515 мм, второго пути — до 210 мм, на что потребовалось 200 и 90 м^3 щебня соответственно. Кроме того, на участке «ПК6+60 — ПК7+30» с июня 2005 г. по ноябрь 2009 г. дважды в месяц перед каждым проходом вагона-путеизмерителя (ПС) выполнялись работы по выправке и рихтовке обоих путей на величину до 20 мм.

Затраты на сооружение навеса на данном участке составили 35 469 р. Устройство же кювет-траншеи и нагорной канавы с укреплением дна и откосов скальным грунтом в объеме 499 м^3 стоило бы примерно в 28 раз дороже.

При этом после устройства навеса пришлось выправить II путь рихтовкой (до 20 мм) только один раз. С тех пор участок стабилен.

Эксперименты на участке № 3 (1685 км)

На участке «ПК1+80 — ПК2+40» 1685 км ВСЖД длительное время отмечались деформации земляного полотна. Кроме того, с 2009 г. слева от пути по ходу километров стали возникать термокарстовые провалы в пазухе и в водоотводе у подошвы откоса насыпи. Только в 2009–2011 гг. скорость движения поездов ограничивалась там семь раз до 60 км/ч и один раз до 25 км/ч (напротив термокарстовых провалов на участке «ПК1+87 — ПК2+22,5»).

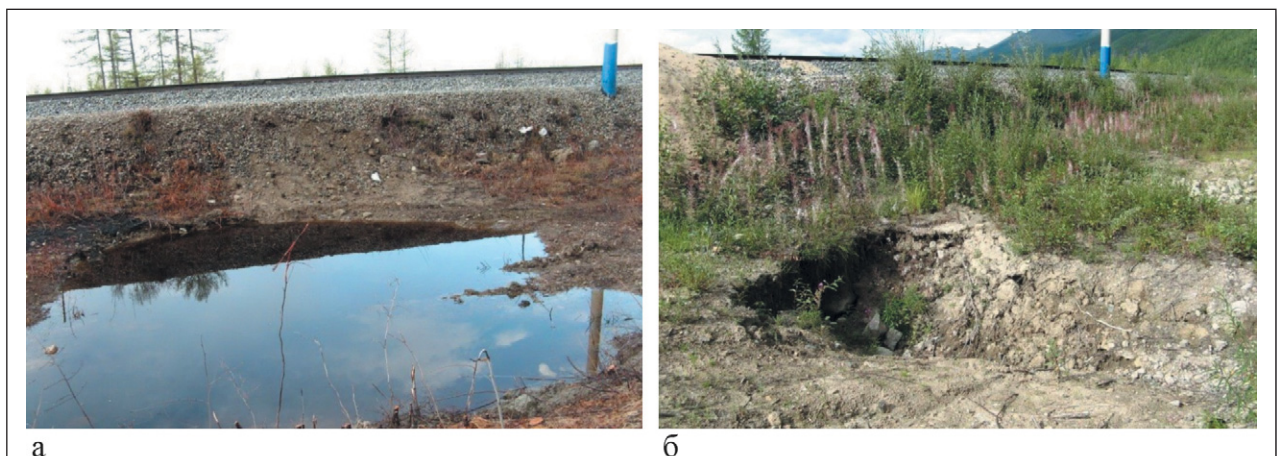


Рис. 13. Термокарстовые провалы у подошвы насыпи на 1685 км ВСЖД: а — заполненный водой провал у отметки «ПК1+87» (26.05.2011 г.); б — провал (затенен) у отметки «ПК1+99» (17.08.2011 г.)



а



б

Рис. 14. Сооружение низких навесов в пазухе у подошвы насыпи на 1685 км: а — на отметке «ПК1+87», б — на отметке «ПК1+99»

В октябре 2012 г. Новочарская дистанция пути ВСЖД приступила к сооружению солнцезащитного навеса на участке «ПК1+75 — ПК2+49» 1685 км ВСЖД, где в основании были отмечены подземные льды⁶ и летом 2011 г. возникли опасные термокарстовые провалы в непосредственной близости от железнодорожного пути на отметках «ПК1+87» и «ПК1+99» (рис. 13).

Сначала в октябре — ноябре 2012 г. непосредственно над четырьмя термокарстовыми провалами были построены из старогодных шпал низкие (5–50 см) навесы с продухами, или мини-навесы (рис. 14). Общая площадь навесов составила 69,45 м². Если бы эти провалы засыпались недреннующим грунтом, что безуспешно пытались делать раньше, то потребовалось бы дополнительно не менее 500 м³ грунта. Для интенсивного охлаждения грунта мини-навесы оставались зимой с открытыми торцами и поверхностью, а летом их торцы и поверхность закрывались противофилтрационной пленкой и геотекстилем.

Затем в течение 2013–2014 гг. на участке «ПК1+75 — ПК2+49» 1685 км над обочиной, откосом и бермой слева от пути по ходу километров был устроен основной солнцезащитный навес из старогодных шпал площадью 686 м² с засыпкой кровли недреннующим грунтом толщиной до 10 см. В марте 2015 г. к нему был пристроен навес площадью 338 м² из геотекстиля белого цвета для затенения водоотводной канавы с четырьмя термокарстовыми провалами, не закрытыми мини-навесами, и прилегающей территории (рис. 15). Суммарная площадь навеса составила 1 024 м².

В результате начиная с 2013 г. ограничения скорости на участке 1685 км не вводились.

Заключение

Исследования, проводимые на Новочарской дистанции пути ВСЖД, как и работы на Тибете [2, 4, 5], позволяют сделать вывод о том, что солнцезащитные навесы могут стать основными противодеформационными устройствами для земляного полотна на участках с льдистыми многолетнемерзлыми грунтами, распространенными на 25–30% трассы БАМ, деградация которых вызывает многолетние деформа-



Рис. 15. Солнцезащитный навес над обочиной, откосом насыпи и бермой (1685 км ВСЖД, март 2015 г.)

ции железнодорожных путей и связанные с этим ограничения скорости движения поездов [1]. Под навесом создаются условия для интенсивного зимнего охлаждения земляного полотна и его основания (из-за отсутствия снежного покрова) и уменьшения их летнего прогрева (поскольку исключаются инфильтрация летних осадков и прямая солнечная радиация). При сохранении многолетнемерзлого состояния грунтов основания отпадает необходимость в дополнительных противодеформационных мероприятиях, упрощается конструкция насыпи, увеличивается пропускная способность железнодорожной линии и удлиняются межремонтные периоды. ❄

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондратьев В.Г. Инженерно-геокриологический мониторинг линейных сооружений: опыт, состояние, задачи // Инженерные изыскания. 2013. № 10–11. С. 96–99.
2. Кондратьев В.Г. Стабилизация земляного полотна на вечномерзлых грунтах. Чита: Полиграф-Ресурс, 2011. 176 с.
3. Кондратьев В.Г., Королев А.А., Карлинский М.И., Позин В.А., Розанов А.С. Железнодорожный путь на сильнольдистых вечномерзлых грунтах: патент на изобретение № 1740555. База патентов на изобретения РФ, 1992.
4. Feng W.J., Ma W., Sun Z.Z., Li G.Y., Yu W.B., Zheng J.F. Radiation effect analysis of the awning measure on the embankment slope field test in cold regions // Proceedings of the 9-th International Symposium on Permafrost Engineering, 3–7 September, 2011, Mirmyy, Russia. P. 319–325.
5. Niu Fujin, Shen Yongping. Guide of Field Excursion after Asian Conference on Permafrost (Aug. 10–16, 2006). Lanzhou, China, 2006.

⁶ Подземные льды отмечались при изысканиях на трассе БАМ в 1970-е годы.