

Применение солнцезащитного навеса для стабилизации оползневых процессов на 1686–1688 км ПЧ-27 Восточно-Сибирской железной дороги

Д.А. Ковенькин¹✉, Н.А. Валиев²

¹Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

²Новочарская дистанция пути Восточно-Сибирской железной дороги, пос. Новая Чара, Российская Федерация

✉kovenkin_da@irgups.ru

Резюме

В ходе исследования были проанализированы основные дефекты и деформации земляного полотна в границах Новочарской дистанции пути. Отмечена высокая динамика роста деформаций. За 27 лет количество «больных» мест земляного полотна увеличилось в 8,87 раз, а их длина в 14,78 раз. Проведен расчет оползневой опасности на участке. Результаты расчетов численных показателей надежности характеризуют данные оползневые объекты как опасные с активным протеканием оползневых процессов. Учитывая, что величины значений всех показателей надежности ниже допустимых, на данных объектах необходимо проведение противодеформационных мероприятий. Выявлены причины деформаций. Из-за нарушения почвенно-растительного слоя и мохового покрытия при уширении земляного полотна в 2014 г. под второй путь увеличился поглощающий утепляющий эффект, а также выросла инфильтрация летних осадков. Все это привело к опусканию кровли мерзлоты под низовыми откосами насыпей и снизило устойчивость земляного полотна до критического уровня. В статье дана оценка эффективности применения проектных решений, предложенных проектным институтом. Основными причинами низкой эффективности этих решений является недостоверность инженерно-геологических и геодезических изысканий, а также нарушение технологии строительства. Разработаны и реализованы мероприятия для стабилизации оползневых процессов на участках Новочарской дистанции пути. Применение солнцезащитных сооружений для предотвращения деградации многолетнемерзлых грунтов основания земляного полотна железных дорог доказало свою высокую эффективность. Кроме того, вынесено решение о запрете применения и устройства скальной наброски из глыбовых грунтов на оползневых косогорах.

Ключевые слова

деформации земляного полотна, оползневые процессы, показатели надежности, противодеформационные мероприятия, Новочарская дистанция пути, солнцезащитные сооружения, многолетнемерзлые грунты

Для цитирования

Ковенькин Д.А. Применение солнцезащитного навеса для стабилизации оползневых процессов на 1686 – 1688 км ПЧ-27 ВСЖД / Д.А. Ковенькин, Н.А. Валиев // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2022. № 4 (76). С. 109–122. DOI 10.26731/1813-9108.2022.4(76).109-122.

Информация о статье

поступила в редакцию: 16.12.2022 г.; поступила после рецензирования: 26.12.2022 г.; принята к публикации: 27.12.2022 г.

Application of a sun- and precipitation protective shed to stabilize landslide processes on 1686–1688 km WP-27 of the East Siberian Railway

D.A. Koven'kin¹✉, N.A. Valiev²

¹Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

²Novocharskaya distance of the East Siberian Railway, Novaya Chara, the Russian Federation

✉kovenkin_da@irgups.ru

Abstract

In the course of this work, the analysis of the main defects and deformations of the roadbed within the boundaries of the Novocharskaya distance of the track was carried out. The high dynamics of deformation growth is noted. For 27 years, the number of “sick” places of the roadbed has increased by 8,87 times, by 14,78 times. The calculation of the landslide hazard on the site was carried out. The results of calculations of numerical reliability indicators characterize these landslide objects as dangerous with the active flow of the landslide process. Considering that the values of all reliability indicators are below the acceptable, it is necessary to carry out anti-deformation measures at these facilities. The causes of deformations are revealed. Due to the violation of the soil-vegetation layer and moss cover, with the widening of the roadbed in 2014 for the second track, there was an increase in the absorbing warming effect, as well as in the infiltration of summer precipitation. All this led to the lowering of the permafrost roof under the lower slopes of the embankments and reduced the stability of the roadbed to a critical level. An efficiency

assessment of the application of design solutions proposed by the design institute is given. The main reasons for the low efficiency of these solutions are the unreliability of geo-engineering and geodetic surveys, as well as the violation of construction technology. Measures have been developed and implemented to stabilize landslide processes in the sections of the Novo-Charskaya distance of the track. The use of sun-planting protection structures to prevent the degradation of permafrost soils of the base of the railway roadbed has proven to be highly efficient. In addition, a decision was made to ban the use and installation of rock sketches from blocky soils on landslide slopes.

Keywords

deformations of the roadbed, landslide processes, reliability indicators, anti-deformation measures, Novocharskaya distance of the track, sun protection structures, permafrost soils

For citation

Kovenkin D.A., Valiev N.A. Primenenie solntseosadkozashchitnogo navesa dlya stabilizatsii opolznevykh protsessov na 1686–1688 km PCh-27 Vostochno-Sibirskoi zheleznoi dorogi [Application of a sun- and precipitation protective shed to stabilize landslide processes on 1686 – 1688 km WP-27 of the East-Siberian Railway]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2022, no. 4 (76), pp. 109–122. DOI: 10.26731/1813-9108.2022.4(76).109-122.

Article Info

Received: December 16, 2022; Revised: December 26, 2022; Accepted: December 27, 2022.

Введение

Центральный участок Байкало-Амурской магистрали (БАМ) с 1645 по 1862 км обслуживается Новочарской дистанцией пути. Железнодорожная линия с запада на восток пересекает Чарскую котловину, хребты Кодар (с тоннелем длиной 1,98 км) и Удокан. Эксплуатационная длина участка пути составляет около 218 км, в том числе протяженность земляного полотна чуть более 210 км. На всем протяжении данного участка развиты многолетнемерзлые грунты (ММГ) [1–7].

Еще во время строительства БАМа начались процессы деградации сильнольдистых

многолетнемерзлых грунтов в основании земляного полотна. После сдачи участка в постоянную эксплуатацию в 1988–1989 гг. в дистанции возникла необходимость ведения журналов формы ПУ-9 (Паспорт неустойчивого или деформирующегося земляного полотна). В начале 1996 г. количество мест с деформациями земляного полотна (ДЗП) составило 21 место, протяженностью более 5 км, в том числе мест с осадкой 15 шт., общей длиной 3,5 км. По осеннему осмотру 2022 г. количество мест с деформациями достигло 154, их суммарная протяженность приблизительно равна 66 км (31,49 % от эксплуатационной длины участка). Из них с

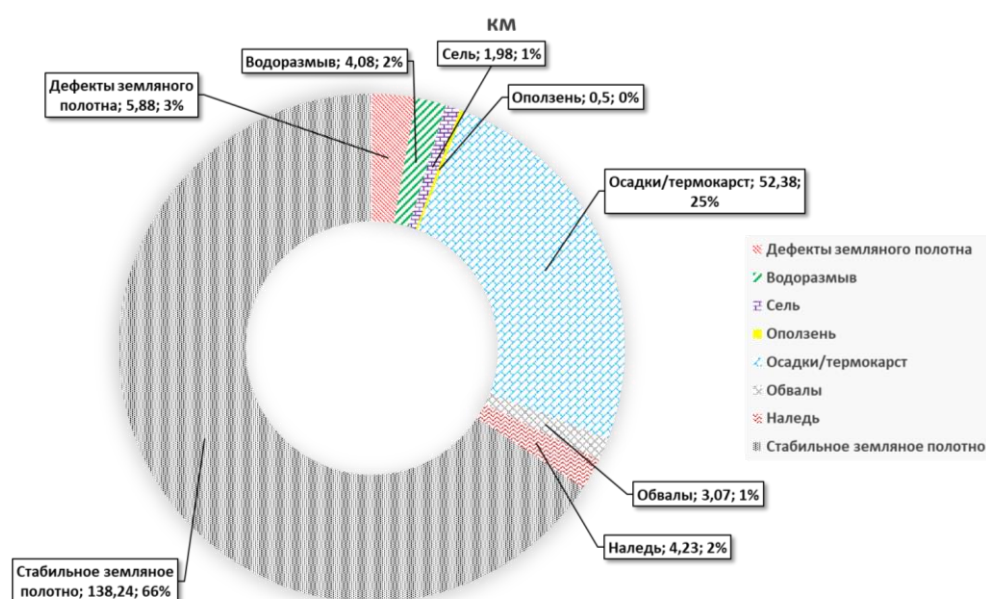


Рис. 1. Дефекты и деформации земляного полотна ПЧ-27 по состоянию на 14 октября 2022 г

Fig. 1. Defects and deformations of the roadbed of the WP-27 on October 14, 2022

осадками и термокарстовыми явлениями 133 места, протяженностью более 52 км (79,08 % от длины ДЗП). Таким образом, за 27 лет количество «больных» мест земляного полотна увеличилось в 8,87 раз, а их длина в 14,78 раз. Повсеместно на местах ДЗП развиты дефекты в виде зауженной ширины обочины и завышенной крутизны откосов (153 места суммарной длиной 5,9 км или 2,79 % от эксплуатационной длины участка). Классификация деформаций и дефектов приведена на рис. 1.

Виды деформаций земляного полотна и причины их появления в Новочарской дистанции пути

Земляное полотно и искусственные сооружения на перегоне Сакукан – Салликиит 1699–1679 км с востока на запад построены под два пути. Строительство велось с сентября 1983 г. по март 1984 г. Укладка первого пути выполнена в апреле 1984 г.

В марте 2014 г. началось строительство второго пути на этом перегоне. Эксплуатационная длина участка 17,98 км. Можно сказать, что в результате этого строительства начали активно

развиваться деградации ММГ в основании высоких насыпей на оползневых косогорах. В дальнейшем эти деформации способствовали интенсивному росту осадок как строящегося второго пути, так и действующего первого пути. До начала строительства второго пути в январе 2014 г. на перегоне Салликиит – Сакукан имелись 18 мест ДЗП, протяженностью 6 км. В октябре 2022 г. количество таких мест увеличилось до 20, а их протяженность составила 7,3 км. Основными видами деформаций, развивающихся на этом участке, стали осадки – 14 мест суммарной длиной 5,4 км, термокарст – 5 мест протяженностью 1,4 км и наледь – 1 место длиной 0,5 км. Во время строительства были сняты с учета 3 места ДЗП (0,57 км), в то же время заведены ПУ-9 на 5 местах длиной 1,18 км. В 9 местах протяженность ДЗП продлена на 0,6 км. Также на данном участке заужена ширина обочины справа по ходу километров. Для устранения этого дефекта проектом выполнено уширение основной площадки земляного полотна на 3,0 м общей длиной 9 км, в том числе на участках ДЗП длиной 2,6 км. Проектные работы по вырезке-досыпке, уширению основной площадки



а



б

Рис. 2. Водоотвод на 1686 км ПК3-4 слева по ходу километров:

а – деревянный лоток с камнем (23 мая 2014 г.); б – канава-траншея (4 ноября 2014 г.)

Fig. 2 Drainage at the 1686-th km Picket 3-4 on the left along the course of kilometers:

а – drainage structure wooden tray with stone (May 23, 2014); б – ditch-trench (November 4, 2014)



а



б

Рис. 3. Водоотвод на 1686 км ПК4-5 слева (а), вид против хода километров (грунт вырезки на рельефе от 7 октября 2022 г.; берма справа (б), вид сверху (трещины отрыва на берме от 11 октября 2022 г.)

Fig. 3. Drainage at the 1686-th km PK4-5 on the left (а), a view against the course of kilometers (ground cut on the relief dated October 7, 2022; berm on the right (б), top view (separation cracks on the berm dated October 11, 2022)

земляного полотна под второй путь и сооружению берм на 1685–1688 км выполнены за июнь – август 2014 г. На оползневом косогоре на 1685 км ПК10 – 1686 км ПК5 в стесненных условиях, с льдистыми ММГ, после вырезки в октябре – ноябре 2014 г. слева от водоотводных сооружений (рис. 2, *а*) устроена канава-траншея (автопроезд) шириной до 4,0 м (рис. 2, *б*). После появления трещин отрыва слева в канаве-траншее на 1686 км ПК1 с термокарстовыми провалами и справа на берме 1686 км ПК4-5, водоотводы не ремонтировались.

В октябре 2022 г. силами подрядной организации выполнена нарезка в траншее-автопроезде под водоотводную канаву на 1686 км ПК1-5 со складированием грунта вырезки на откос рельефа (рис. 3, *а*) слева. Этого ни в коем случае нельзя было делать. Дело в том, что при строительстве насыпи высотой 11,08 м в 1983 г. на этом месте лог пересечен без искусственных сооружений (ИССО). Из-за складирования грунта на откос рельефа в том месте, где отсутствует ИССО, произошло переувлажнение грунта, что привело к образованию трещин отрыва бермы справа (рис. 3, *б*).

На участке 1685 ПК10 – 1688 км ПК4 зем-

ляное полотно с высокими насыпями расположено на следующих отметках:

- 1686 км ПК1 высотой до 16,44 м, на косогоре 1:3,99;
- 1686 км ПК5 высотой до 11,08 м, на косогоре 1:2,23;
- 1686 км ПК8 высотой до 18,36 м, на косогоре 1:8;
- 1687 км ПК5 высотой до 19,41 м, на косогоре 1:5;
- 1688 км ПК1 высотой до 8,74 м, на косогоре 1:3,6.

Из-за нарушения почвенно-растительного слоя (ПРС) и мохового покрытия с низовой (правой) стороны при уширении земляного полотна в 2014 г. под второй путь увеличился поглощающий утепляющий эффект, а также выросла инфильтрация летних осадков. Все это привело к опусканию кровли мерзлоты под низовыми откосами насыпей и снизило устойчивость земляного полотна до критического уровня, что повлекло оползание всей насыпи на 1687 км ПК10 – 1688 км ПК1 (рис. 4, 5), 1686 км ПК9-10 (рис. 6), 1687 км ПК4-5 и отрыв с оползанием берм на 1686 км ПК4-5 (рис. 7), 1688 км ПК2-3 (рис. 8).

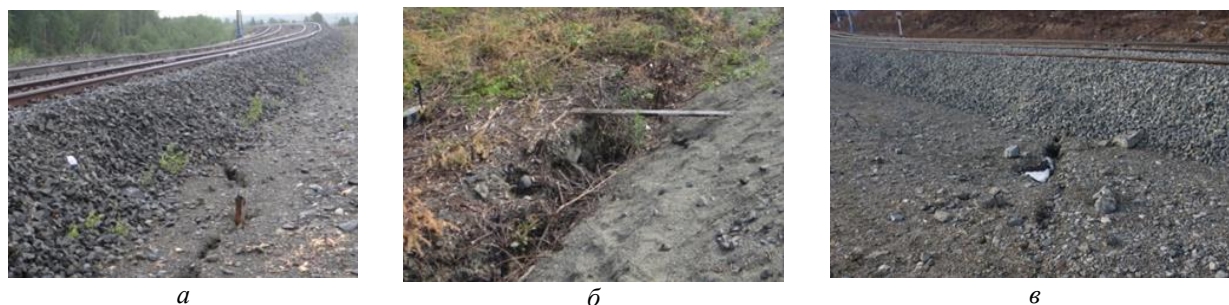


Рис. 4. Трещины отрыва оползня 1687 км ПК10 – 1688 км ПК1:
а – 1687 км ПК9 справа (сентябрь 2019 г.); *б* – 1688 км ПК1 слева (май 2019 г.);
в – 1688 км ПК1 справа (май 2016 г.)

Fig. 4. Landslide separation cracks 1687 km PK10 – 1688 km PK1:
a – 1687 km PK9 on the right (September, 2019); *b* – 1688 km PK1 on the left (May, 2019);
c – 1688 km PK1 on the right (May, 2016)



Рис. 5. Оползание первого и второго пути 1687 км ПК10 – 1688 км ПК1, июль 2020 г
Fig. 5. Landslide first and second tracks 1687 km PK10 – 1688 km PK1, July 2020

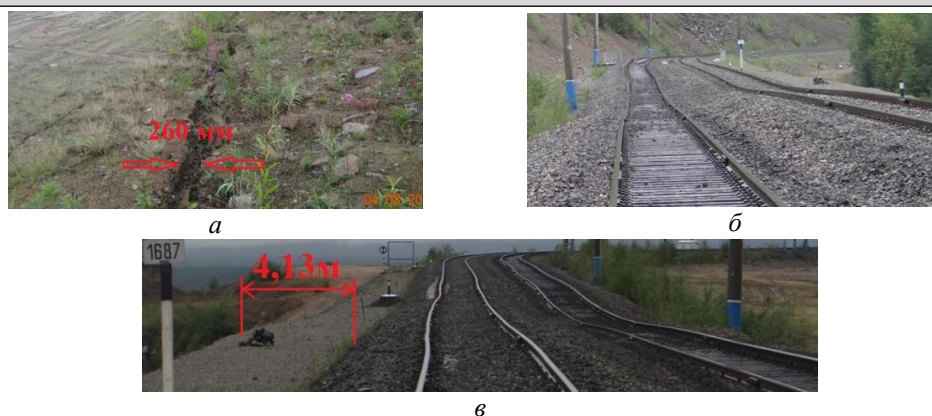


Рис. 6. Оползание первого и второго пути, 1686 км ПК9-10:

a – трещины отрыва оползня (август 2020 г.); *б* – оползание первого и второго пути (август 2020 г.);

в – 1686 км ПК9-10, обочина шириной 4,13 м, вид против хода километров

Fig. 6. Landslide of the first and second tracks, 1686 km PK9-10:

a – cracks of landslide separation (August, 2020); *b* – landslide of the first and second tracks (August, 2020);

c – 1686 km PK9-10, shoulder width of 4,13 m, view back km



Рис. 7. Берма, 1686 км ПК4 (август, 2020 г.)

Fig. 7. Berm, 1686 km PK4 (August, 2020)



Рис. 8. Берма, 1688 км ПК2 (май, 2022 г.)

Fig. 8. Berm, 1688 km PK2 (May, 2022)

С момента появления трещин справа на обочине с июня 2016 г. на участке ДЗП 1687 км ПК10 – 1688 км ПК1 скорость движения поездов ограничивалась по первому пути 37 раз, в том числе 19 раз до 60 км/ч, 17 раз до 40 км/ч и 1 раз до 25 км/ч. С 2017 г. на 1686 км ПК9-10 по первому пути скорость ограничивалась 20 раз, в том числе 7 раз до 60 км/ч и 13 раз до 40 км/ч.

В настоящее время на участке 1686 км ПК9 – 1688 км ПК3 длиной 1,50 км, согласно распоряжению ОАО «РЖД» № 1154/р от 27 апреля 2022 г., действует постоянное ограничение скорости до 40 км/ч.

Анализ оползневой опасности на участке Салликит – Сакукан

Участки пути, расположенные на оползневых склонах, относятся к наиболее сложным по инженерно-геологическим условиям участкам, на которых существует опасность возникновения внезапных деформаций, напрямую

угрожающих безопасности движения поездов. Последствиями таких деформаций являются значительные затраты на восстановление и ремонт железнодорожного пути [8].

Для оценки оползневой опасности на участке Салликит – Сакукан с 1687 км ПК10 по 1688 км ПК1 и 1686 км ПК9-10 были определены численные критерии его надежности [9–11].

Исходные данные к расчету показателей надежности: суммарная протяженность участка равна 0,3 км; на данном участке два места деформаций; за период времени наблюдений принят временной интервал $\Delta T = 27$ лет; число отказов за этот период принято $n = 57$.

Определены критерии надежности:

1. Интенсивность потока существенных отказов, один / год:

$$\lambda = n / (N \cdot \Delta T),$$

где n – число отказов (шт.), зафиксированных в однородной группе объектов за интервал времени ΔT (годы); N – число объектов в однородной

группе участков железнодорожного пути (шт.).

2. Вероятность безотказной работы при возникновении существенного (частичного) отказа в следующем году эксплуатации, %:

$$P(\Delta t) = \exp(-\lambda \Delta t).$$

При этом вероятность возникновения отказа вычисляется по формуле:

$$Q(\Delta t) = 1 - P(\Delta t),$$

тогда

$$\lambda = 57 / (2 \cdot 27) = 1,06 \text{ отказа в год};$$

$$P(\Delta t) = \exp(-1,06 \cdot 1) \cdot 100 \% = 34,65 \%;$$

$$Q(\Delta t) = 65,35 \%.$$

Для оценки надежности объекта необходимо установление допустимой величины вероятности безотказной работы [P]. Для объектов земляного полотна в сложных инженерно-геологических условиях, на которых возможно возникновение деформаций основания земляного полотна, значение величины [P] может быть задано исходя из условия возникновения не более одного отказа за временной интервал $t_{\text{экс}}$, тогда при $t_{\text{экс}} = 100$ лет [P] = 0,99.

Результаты расчетов численных показателей надежности характеризуют данные оползневые объекты как опасные с активным протеканием оползневых процессов. Учитывая, что величины значений всех показателей надежности ниже допустимых, на данных объектах необходимо проведение противодеформационных мероприятий.

Разработка мероприятий для стабилизации оползневых процессов на участках Новочарской дистанции пути

Из-за отсутствия в проекте противодеформационных мероприятий для стабилизации ДЗП на 1687 км ПК10 – 1688 км ПК1 слева и справа, в марте 2020 г. силами ПЧ-27 приступили к устройству солнцесадкозащитного комплекса (ИССО «СозН») площадью 1 882,0 м², в том числе строительству «Термокомплекса» (ИССО «ТМК») [1–7] площадью 300,0 м². На рис. 9 представлен проект солнцесадкозащитного комплекса.

Для устранения зауженной обочины слева (до 40 см) от первого пути на 1688 км ПК1 устроили навес в виде «Охлаждающая обочина-откос-берма» (ИССО «О О-О-Б»). На 1687 км ПК10 – 1688 км ПК1 восстановили обочину до ширины 0,75 м, в том числе на участке 1688 км ПК1 до 1,0 м, (рис. 10, а). В качестве материала для восстановления использовали старогородные шпалы лиственных пород. С апреля по октябрь 2020 г. устроена обочина площадью 40,90 м², навес над пазухой шириной 2,75 м площадью 132,0 м² (рис. 10, б). Общая площадь сооружения составила 172,9 м² (14,14 % от ИССО «СозН»).

Наиболее интенсивные раскрытия трещин произошли с 13 по 20 июля 2020 г. на 1688 км ПК1 справа на обочине, на берме и у подошвы бермы. Скорость раскрытия трещин составляла до 10 мм в неделю. В результате ско-

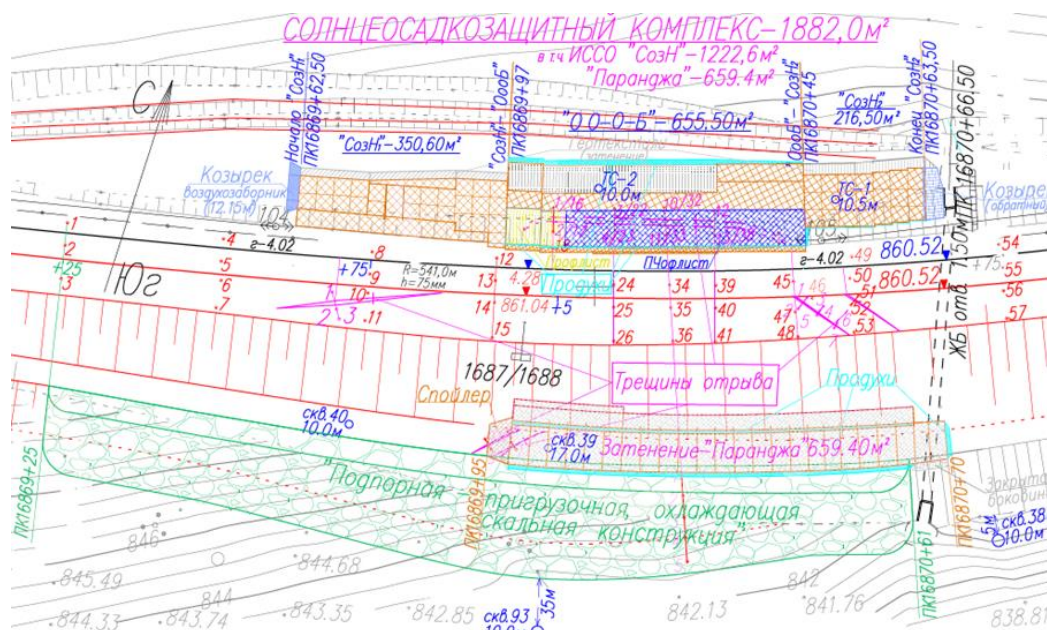


Рис. 9. План солнцесадкозащитного комплекса на 1687 км ПК10 – 1688 км ПК1

Fig. 9. The plan of the sun protection complex for 1687 km PK10 – 1688 km PK1



a



б

Рис. 10. 1687 км ПК10 – 1688 км ПК1:

a – обочина (апрель, 2020 г.); *б* – навес над пазухой и обочина (октябрь, 2020 г.)

Fig. 10. 1687 km PK10 – 1688 km PK1:

a – curb (April, 2020); *b* – canopy over the bosom and curb (October, 2020)

рость движения ограничена до 25 км/ч, выставлен пост наблюдения.

Для исправления ситуации по проекту института «Иркутскжелездорпроект» (ИЖДП) от 30 апреля 2020 г. после ограничения скорости движения поездов выполнены:

1. С 21 июля по 5 августа 2020 г. подпорная-пригрузочная охлаждающая скальная конструкция на 1687 км ПК10 – 1688 км ПК1 справа в объеме 4 042,60 м³.

2. В сентябре 2020 г. водоотводная канава на участке 1687 км ПК7 – 1688 км ПК1.

К сожалению, данные решения были запоздалыми и не оказали должного эффекта.

На самом активно развивающемся участке ДЗП с трещинами отрыва 1687 км ПК10 – 1688 км ПК1 для ускорения процесса замораживания массива скальной конструкции и использования охлаждающей способности прямоугольной железобетонной трубы отверстием 1,50 м в теле насыпи с марта по октябрь 2021 г. устроено сооружение ИССО «СозН» – «Паранджа» (рис. 11).



a



б

Рис. 11. «Паранджа» 1687 км ПК10 – 1688 км ПК1, октябрь, 2021 г.:

a – вид сверху с востока; *б* – со спойлером, вид с запада

Fig. 11. «Paranja» 1687 km PK10 – 1688 km PK1, October, 2021:

a – top view from the east; *b* – with spoiler, view from the west

Ширина сооружения справа над скальной наброской составила до 1,5–2,0 м, над бермой – 4,5 м и над откосом насыпи – 2,5 м. В качестве строительного материала использовались бревна, проволока, геотекстиль для термоизоляции и геомембрана для гидроизоляции. Для защиты кровли от парусности и ветровой нагрузки применен спойлер. Общая площадь сооружения составила 659,40 м².

В табл. 1 приведены данные нивелирования по маркам на самом интенсивно развивающемся участке ДЗП. Данные представлены за период с июня 2019 г. по апрель 2022 г.

До устройства навеса максимальные осадки на область земляного полотна составляли 144–53 мм/год. Уже во время устройства навеса их количество уменьшилось до 62–15 мм за период с августа 2021 г. по апрель 2022 г., т. е. в 2,32–3,53 раза.

По замерам раскрываемости трещин по маркам на 1688 км ПК0+22,3 слева в пазухе и справа на обочине максимальный рост раскрываемости трещин отрыва до устройства ИССО

«СозН» составлял 39 мм (с июня по сентябрь 2020 г.), а за время устройства навеса рост снизился до 5 мм (с июня по сентябрь 2022 г.), т. е. в 7,8 раза.

Распределение температуры грунтов по глубине под ИССО «СозН», под «Паранджа» и вне навеса на 5.10.2021 г. и на 26.09.2022 г. по замерам температур в термоскважинах приведено в табл. 2.

Данные табл. 2 показывают, что охлаждающий эффект ИССО «СозН» с каждым годом возрастает, это отмечается в пределах всего слоя годовых колебаний температур грунтов. Под ИССО «СозН» наблюдается постепенное проникновение холода в глубину массива по сравнению с массивом грунта вне навеса в течение одного года:

1. Под ИССО «СозН» по ТС-2 создали мерзлый пласт на глубине 3,60–4,95 м, толщиной 1,35 м, кровлю ММГ подняли с 9,57 м до 8,05 м (на 1,52 м).

2. На берме со скальной наброской под «Паранджа» по ТС-39 на 1688 км ПК0+10 кровлю ММГ подняли с 5,46 м до 4,55 м (на 0,91 м), тогда как по ТС-40 вне его на 1687 км ПК9+75 на той же берме со скальной наброской кровля ММГ опустилась с 4,80 м до 6,05 м.

3. В лесу, вне техногенной зоны, где почвенно-растительный слой и моховое покрытие не тронуты, за этот же период произошло опускание кровли мерзлоты с 0,85 м до 0,92 м (на 0,07 м).

Таблица 1. Результаты нивелирования по маркам на 1687 км ПК10 – 1688 км ПК1

Table 1. The results of leveling by tags at the 1687-th km PK10–1688 km PK1

км ПК +	Марка № Tag	Местоположение марок Tag location	Дата нивелирования, отметки марок Leveling date, stamp marks				Величина осадки, за год и за 8 мес. (мм) Precipitation value, for a year and for 8 months (mm)	
			10.06. 2019 June 10, 2019	2.06. 2020 г June 2, 2020	Данные инженерно- геологической базы г. Северобайкальск Engineering data by the geological base Severo- baikalsk		10.06.2019 – 2.06.2020 June 10, 2019 – June 2, 2020	12.08.2021 – 21.04.2022 г. August 12, 2021 – April 21, 2022
					12.08.2021 г	21.04.2022 г		
1687 км ПК9+95	13	м/п	860,843	860,741	860,571	860,509	102	62
	14	Право Right	860,007	859,885	859,721	859,665	122	56
	15	Право Right	859,980	859,867	859,724	859,679	113	45
1688 км ПК0+03,9	18	Лево Left	860,093	860,040	859,976	859,961	53	15
	19	м/п	860,761	860,673	860,548	860,514	88	34
	20	Право Right	859,811	859,678	859,501	859,449	133	52
	21	Право Right	859,854	859,735	859,598	859,554	119	44
1688 км ПК0+13,7	24	м/п	860,694	860,614	860,533	860,489	80	44
	25	Право Right	859,673	859,533	859,358	859,315	140	43
	26	Право Right	859,625	859,505	859,379	859,324	120	55
1688 км ПК0+22,3	34	м/п	860,727	860,650	860,577	860,538	77	39
	35	Право Right	859,585	859,441	859,250	859,188	144	62
	36	Право Right	859,625	859,510	859,378	859,329	115	49
1688 км ПК0+29,7	39	м/п	860,644	860,572	860,508	860,466	72	42
	40	Право Right	859,655	859,517	859,320	859,259	138	61
	41	Право Right	859,569	859,454	859,318	859,269	115	49

Эффективность мероприятий для стабилизации оползневых участков, разработанных проектными институтами

Сравним достигнутые результаты на участке ДЗП 1687 км ПК10 – 1688 км ПК1 с применением ИССО «СозН» и «Паранджа» с аналогичным ДЗП на участке 1686 км ПК8 – 1687 км ПК1 с проектными противодеформационными мероприятиями, широко применяемой скальной наброской.

За октябрь – декабрь 2020 г. справа по проекту ИЖДП выполнено устройство бермы из глыбовых скальных грунтов фракции 0,2–0,5 м (рис. 12, а) в объеме 8,0 тыс. м³ (29,85 % от ск./набр.). С июня по октябрь 2021 г. справа выполнено устройство «Контрбанкет и берма из глыбовых скальных грунтов фракции 0,2–0,5 м» в полном объеме 26,8 тыс. м³ (рис. 12, б).

Таблица 2. Данные замеров температуры грунтов в термоскважинах под искусственным сооружением «СозН», «Паранджа» и вне навеса

Table 2. Measurements data of soil temperature in thermal wells under the artificial structure «SosN», «Burqa» and outside the canopy

Места, время замеров T(°C) и месторасположение термоскважин (ТС) Places, time of measurements T (°C) and location of thermal wells (TW)		Дата и время (мск) замеров температур (°C)							
		5 октября 2021 г.				26 сентября 2022 г.			
		2:50	5:05	3:00	7:25	5:10	3:50	5:15	4:50
		ТС-40	ТС-2	ТС-39	ТС-93	ТС-40	ТС-2	ТС-39	ТС-93
	На берме со скальной наброской с 25.07.2020 г. On the rock berm since July 25, 2020	В пазухе с 29.09.2021 г. сбоку «СозН» In the bosom since September 29, 2021 aside of SozN	На берме со скальной наброской с 30.07.2020 г. и под «Паранджа» с 1.06.2021 г. On the rock berm since July 30, 2020 and under Paranja since June 1, 2021	В лесу почвенно-растительный слой + мох не тронут In the forest, the soil-vegetative layer + moss untouched	На берме со скальной наброской с 25.07.2020 г. On the rock berm since July 25, 2020	На пазухе с 8.10.2021 г. под «СозН» On the bosom since October 8, 2021 under «SozN»	На берме со скальной наброской с 30.07.2020 г. и под «Паранджа» с 1.06.2021 г. On the rock berm since July 30, 2020 and under Paranja since June 1, 2021	В лесу почвенно-растительный слой + мох не тронут In the forest, the soil-vegetative layer + moss untouched	
Отметки горизонта, м horizon marks, m	-0,5	3,21	2,07	2,70	0,18	5,25	3,08	4,35	0,73
	-1,0	4,76	3,56	4,14	-0,08	6,53	3,37	4,88	-0,13
	-1,5	5,75	4,30	5,02	-0,30	6,66	3,08	4,79	-0,42
	-2,0	6,03	4,46	5,21	-0,40	6,28	2,34	4,41	-0,57
	-2,5	5,42	3,84	4,65	-0,70	5,40	1,46	3,59	-0,82
	-3,0	4,41	3,08	3,77	-0,89	4,21	0,54	2,62	-0,97
	-3,5	2,96	2,01	2,85	-0,95	2,70	0,01	1,71	-1,12
	-4,0	1,16	1,04	1,63	-1,15	0,93	-0,04	0,66	-1,18
	-4,5	0,03	0,79	0,37	-1,16	0,00	-0,04	0,00	-1,31
	-5,0	-0,02	0,54	0,05	-1,28	0,12	0,00	-0,06	-1,35
	-6,0	-0,15	0,35	-0,06	-1,35	0,00	0,07	-0,21	-1,35
	-7,0	-0,13	0,31	-0,38	-1,32	-0,19	0,11	-0,21	-1,37
	-8,0	-0,21	0,03	-0,38	-1,28	-0,19	0,00	-0,40	-1,35
-9,0	-0,21	0,09	-0,44	-1,23	-0,19	-0,08	-0,38	-1,30	
-10	-0,31	-0,06	-0,06	-1,26	-0,19	-0,08	-0,40	-1,14	
Сезонно-талый слой, м In the forest, the soilvegetative layer + moss untouched	4,80	9,57	5,46	0,85	6,05	3,6–4,95 с 8,05 м	4,55	0,92	
ПК +	ПК 16869+75	ПК 16870+10			ПК 16869+75	ПК 16870+10			



Рис. 12. 1686 км ПК8 – 1687 км ПК1 вид против хода километров:
a – берма (март, 2021 г.); *б* – контрбанкет с бермой (октябрь, 2021 г.)

Fig. 12. 1686 km PK8 – 1687 km PK1 view vs move kilometers:
a – berm (March, 2021); *b* – counterbanket with berm (October, 2021)

В сентябре и октябре 2021 г. слева выполнено устройство проектной водоотводной канавы на участке 1686 км ПК7 – 1687 км ПК1 с укреплением дна и откосов скальным грунтом толщиной 0,3 м с применением геомембраны.

Однако, по материалам нивелирования, на данных участках ДЗП максимальные осадки на область земляного полотна продолжаются и достигают до 79–111 мм за 8 мес. (с августа 2021 г. по апрель 2022 г.).

Максимальный рост раскрываемости трещин отрыва по маркам на 1686 км ПК10 слева в пазухе и справа на обочине до устройства справа скальной наброски составлял 25–31 мм с мая по сентябрь 2021 г. После устройства скальной наброски снизился до 9–12 мм с июня по сентябрь 2022 г., т. е. всего в 2,58–2,78 раза. В то же время в аналогичном случае применение ИССО «СозН» эффективнее в 2,81–3,02 раза.

В табл. 3 приведены распределение температуры грунтов под скальной наброской

контрбанкета (см. рис. 12, *б*) 1686 км ПК10 на 11 октября 2021 г. и на 11 сентября 2022 г. по замерам температур в термоскважине (ТС-3).

По данным табл. 3 скальная наброска в первый год работы никаких результатов не дала. Если на глубине 3,0–5,0 м наблюдается понижение температуры грунта, то на глубине 6,0–10,0 м произошло незначительное отепление, что привело к опусканию кровли мерзлоты с 6,53 до 7,58 м.

В период с мая по сентябрь 2021 г. на деформационном участке 1687 км ПК1-6 справа выполнены контрбанкет и берма из глыбовых скальных грунтов фракции 0,2–0,5 м на участке 1686 км ПК3–5, с термоскважинами ТС-9 и ТС-10 в полном объеме. Температурные замеры производились 15 октября 2021 г., 17 мая 2022 г. и 11 сентября 2022 г.

При замере температур 11 сентября 2022 г. выявлен срез металлической трубы на глубине 6,20–6,30 м в грунте контрбанкета насыпи, на косогоре 1:5,0.

Таблица 3. Данные замеров температуры грунтов в ТС-3 под скальной наброской
Table 3. Data of measurements of soil temperature in the Thermosquage-3 under the rock outline

№ скважины Well №	Дата замеров температур Temperature measurement date	Справа у подошвы откоса насыпи на берме с 15 октября 2021 г. в скальной наброске контрбанкета толщиной 2,30 м Right from the foot of the embankment slope on the berm since October 15, 2021 in the rock embankment of the counter banquet, 2,30 m thick										Сезонно-талый слой, м Seasonal thaw layer, m
		Отметки горизонта, м Horizon marks, m										
		-3,0	-5,0	-5,5	-6,0	-6,5	-7,0	-7,5	-8,0	-9,0	-10	
ТС-3	11 октября 2021 г. October 11, 2021	4,47	0,92	0,11	0,00	0,00	-0,14	-0,09	-0,21	-0,27	-0,31	-6,53
	11 сентября 2022 г. September 11, 2022	0,66	0,11	0,11	0,03	0,03	-0,02	0,03	-0,15	-0,19	-0,21	-7,58



а



б

Рис. 13. 1686 км ПК9-10 справа до и после срезки обочины:
a – 27 июля 2022 г.; *б* – 11 октября 2022 г.

Fig. 13. 1686 km PK9-10 on the right before and after cutting the roadside:
a – July 27, 2022, *b* – October 11, 2022

На участке ДЗП 1692 км ПК4+13, на оползневом косогоре 1:2,80, справа от оси первого пути 37,50 м, по термоскважине № 6 ведутся замеры температур с июня 2014 г. По проекту строительства второго пути в октябре 2018 г. на 1692 км ПК3-4 устроен контрбанкет из сортированной горной массы фракции 0,20–0,5 м (средний размер камней 0,40 м), толщиной по нормали 2,0 м и шириной 15,50 м. При замере температур 14 октября 2022 г. на этом участке выявлено сдавливание металлической трубы ТС-6 и самой термокосы. Изъять термокосу оказалось невозможно из-за опасения среза трубы.

На уровне «зеркала скольжения» мерзлота находится в пластично-мерзлом состоянии с недостаточной несущей способностью. По проекту ИЖДП контрбанкет и пазуха на оползневом косогоре перегружены скальной наброской с усугублением в первый год отепляющим эффектом. Для ускорения образования твердомерзлого грунта у подошвы скальной наброски в пазухе предлагаются дополнительные мероприятия с установкой сезонно действующих охлаждающих устройств (СОУ) в комплексе со скальной наброской [12-15].

Основными причинами низкой эффективности мероприятий, разработанных проектными институтами, являются:

1. Недостоверность инженерно-геологических изысканий. Из 19 скважин справа на обочине земляного полотна глубиной 18–22 м на 1682–1688 км пробурена всего одна – на 1685 км ПК7 в выемке.

2. Инженерно-геодезические изыскания проведены с искажением фактических отметок существующего земляного полотна.

3. Подрядной организацией для приведения к проектному очертанию обочины в местах ДЗП выполнена срезка бровки обочины бульдозером на 1686 км ПК8-10 с крутым уклоном, тем самым уплотненную обочину разрыхлили (рис. 13, *a*). Часть срезки грунта осталась на обочине, часть у бровки откоса (рис. 13, *б*), что дополнительно способствует переувлажнению самой насыпи.

По проекту от 2022 г. отметки проектной головки рельса первого и второго пути на ДЗП 1686 км ПК8 – 1688 км ПК1 на оползневом косогоре с отрывами оползня необоснованно завышены от 0,25 до 0,38 м без выполнения про-



Рис. 14. Искусственное сооружение «СозН» 1687 км ПК10 – 1688 км ПК1, с запада от 11 сентября 2022 г
Fig. 14. Artificial structure «SosN» 1687 km PK10 – 1688 km PK1, on the west from September 11, 2022

тиводеформационных мероприятий. Досыпка валунно-галечниковым грунтом (см. рис. 13, б) никогда не являлась охлаждающим мероприятием, а в данном случае еще и приводит к перегрузке и так уже «больного» земляного полотна.

За 2020–2022 гг. применение ИССО «СозН» (рис. 14) и затенение «Паранджа» в комплексе на 1687 км ПК10 – 1688 км ПК1 показали очень высокую эффективность.

После обустройства солнцезащитного комплекса площадью 1 882,0 м² с середины октября 2022 г. приступили слева к устройству ИССО «ТМК» на участке 1687 км ПК10 – 1688 км ПК1 площадью 300 м². Строительство термокомплекса проводится над пазухой, трещинами и откосом. В данном случае решили применять гидроизоляцию в виде геомембраны, спаянной с геотекстилем, который препятствует испарению грунта, а также рулонный термоизоляционный материал толщиной 50 мм.

Заключение

Применение солнцезащитных сооружений на Новочарской дистанции пути (ПЧ-27) ВСЖД для предотвращения деградации ММГ основания земляного полотна железных дорог доказало свою высокую эффектив-

ность. Данные конструкции, не перегружая земляное полотно на оползневом косогоре, работают со дня их устройства, позволяют с высокой эффективностью снизить деградации ММГ в основании земляного полотна, которые вызывают многолетние повторяющиеся и растущие неисправности пути, а также многочисленные ограничения скорости движения поездов. При сохранении в мерзлом состоянии ММГ основания отпадает потребность в дополнительных противодеформационных мероприятиях, увеличивается пропускная способность линии и межремонтные сроки [16–18].

На основании изложенного на оползневых косогорах предлагаем запретить применение и устройство скальной наброски из глыбовых грунтов фракции 0,2–0,5 м в комплексе с СОУ.

Вместо такой конструкции на участке ДЗП 1685 км ПК10 (косогор 1:4) – 1686 км ПК5 (косогор 1:2,2) предлагаем применять слева и справа по ходу километров ИССО «СозН», «ТМК», согласно утвержденным Техническим требованиям по устройству и эксплуатации солнцезащитных навесов, предназначенных для предотвращения деградации многолетнемерзлых грунтов основания земляного полотна железных дорог (№ ЦДИ-1605 от 27 декабря 2018 г.).

Список литературы

1. Кондратьев В.Г. Активные способы укрепления основания земляного полотна на вечномерзлых грунтах. Чита : Забтранс, 2001. 100 с.
2. Кондратьев В.Г. Стабилизация земляного полотна на вечномерзлых грунтах. Чита : Полиграф-Ресурс, 2011. 176 с.
3. Кирпичников К.А., Дашинимаев З.Б., Сигачев Н.П. Устройство дренажных сооружений в районах вечной мерзлоты // Образование – Наука – Производство : материалы Всерос. науч.-практ. конф. Чита, 2018. Т. 1. С. 96–101.
4. Ковенькин Д.А., Валиев Н.А. Защита от деградации многолетнемерзлых грунтов на снеготаносимых участках // Путь и путевое хозяйство. 2021. № 11. С. 23–26.
5. СП 25.13330.2020 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах : утв. приказом Минстроя РФ № 915/пр от 30.12.2020. Введ. 2021–07–01. М. : Минстрой России, 2020. 140 с.
6. Колос А.Ф., Улицкий В.М., Городнова Е.В. Надежность земляного полотна на многолетнемерзлых грунтах // Железнодорожный транспорт. 2019. № 12. С. 58–62.
7. Валиев Н.А., Кондратьев В.Г. Термокомплекс, защита от деградации оснований земляного полотна на многолетнемерзлых грунтах // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2019. № 1. С. 538–541.
8. Об утверждении методики определения критериев оценки надежности участков железнодорожного пути, распо-

ложенных в сложных инженерно-геологических условиях (карст, оползни, обвалы) : распоряжение ОАО «РЖД» № 237р от 6.02.2017 г.

9. Асалханова Т.Н., Карпов И.Г. Автоматизация ранжирования критериев, влияющих на безотказность железнодорожного пути // Вестник транспорта Поволжья. 2021. №2 (86). С. 26–33.

10. Капишонов В.С., Асалханова Т.Н. Факторный анализ рисков в единой корпоративной автоматизированной системе управления инфраструктурой // Молодая наука Сибири. 2022. №1 (15). С. 35–42.

11. Колисниченко Е.А., Григорьева О.В. Организация текущего содержания пути на основе факторного анализа на примере ПЧ-4 Красноярской железной дороги // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2012. Т. 1. С. 518–526.

12. Принятие решений при выборе конструкций и параметров сезонных охлаждающих устройств / В.А. Подвербный, А.А. Перельгина, Л.Ю. Гагарин и др. // Образование – Наука – Производство : материалы Всерос. науч.-практ. конф. Чита, 2019. С. 147–160.

13. Перспективы транспортного, промышленного, гражданского строительства в Тайшетском районе Иркутской области и предотвращение деградации многолетнемерзлых грунтов / В.А. Подвербный, Д.А. Ковенькин, Е.В. Филатов и др. // Образование – Наука – Производство : материалы Всерос. науч.-практ. конф. Чита, 2019. С. 129–147.

14. Подвербный В.А., Перельгина А.А. Принятие решения по выбору типа укрепления водоотводных и нагорных канав на основе метода идеальной точки // Транспорт Урала. 2021. № 2 (69). С. 57–62.

15. Кирпичников К.А., Дашинимаев З.Б., Баклаженко А.Г. Способ стабилизации земляного полотна в районах распространения вечной мерзлоты с применением инновационных материалов // Образование – Наука – Производство : материалы Всерос. науч.-практ. конф. Чита, 2018. Т. 1. С. 92–96.

16. Чернецкая И.С. Принятие решений при выборе способов реконструкции железнодорожного пути // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2016. Т. 1. С. 543–547.

17. Чернецкая И.С., Плескач С.Т. Анализ ключевых аспектов организации ремонтно-путевых работ // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2017. Т. 1. С. 634–638.

18. Сулов О.А. Реорганизация системы технического обслуживания и ремонта пути // Путь и путевое хозяйство. 2021. № 1. С. 11–13.

References

1. Kondrat'ev V.G. Aktivnye sposoby ukrepleniya osnovaniya zemlyanogo polotna na vechnomerzlykh gruntakh [Active methods of strengthening the foundation of the roadbed on permafrost soils]. Chita: Zabtrans Publ., 2001. 100 p.

2. Kondrat'ev V.G. Stabilizatsiya zemlyanogo polotna na vechnomerzlykh gruntakh [Stabilization of the roadbed on permafrost soils]. Chita: Poligraf-Resurs Publ., 2011. 176 p.

3. Kirpichnikov K.A., Dashinimaev Z.B., Sigachev N.P. Ustroistvo drenazhnykh sooruzhenii v raionakh vechnoi merzloty [Installation of drainage structures in permafrost areas]. *Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Obrazovanie – Nauka – Proizvodstvo» (v 2 t)* [Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference «Education – Science – Production» (in 2 vol.)]. Chita, 2018, vol. 1, pp. 96 – 101.

4. Koven'kin D.A., Valiev N.A. Zashchita ot degradatsii mnogoletnemerzlykh gruntov na snegozanosimyykh uchastkakh [Protection from degradation of permafrost soils on snow-bearing areas]. *Put' i putevoe khozyaistvo* [Track and track facilities], 2021, no. 11, pp. 23 – 26.

5. Osnovaniya i fundamenti na vechnomerzlykh gruntakh, SP 25.13330.2020 (Grounds and foundations on permafrost soils, Set of rules 25.13330.2020). Moscow: Minstroj Publ., 2020. 140 p.

6. Kolos A.F., Ulitskii V.M., Gorodnova E.V. Nadezhnost' zemlyanogo polotna na mnogoletnemerzlykh gruntakh [Reliability of the roadbed on permafrost soils]. *Zheleznodorozhnyi transport* [Railway transport], 2019, no. 12, pp. 58–62.

7. Valiev N.A., Kondrat'ev V.G. Termokompleks, zashchita ot degradatsii osnovanii zemlyanogo polotna na mnogoletnemerzlykh gruntakh [Thermocomplex, protection from degradation of the foundations of the roadbed on permafrost soils]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona* [Transport infrastructure of the Siberian region], 2019, no. 1, pp. 538 – 541.

8. Rasporyazhenie ОАО «РЖД» N 237r от 6.02.2017 г. «Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya kriteriev otsenki nadezhnosti uchastkov zheleznodorozhnogo puti, raspolozhennykh v slozhnykh inzhenerno-geologicheskikh usloviyakh (karst, opolzni, obvaly)» [Order of JSC «Russian Railways» N 237r dated February 6, 2017 « On approval of the methodology for determining the criteria for assessing the reliability of railway sections located in difficult engineering and geological conditions (karst, landslides, landslips)»].

9. Asalkhanova T.N., Karpov I.G. Avtomatizatsiya ranzhirovaniya kriteriev, vliyayushchikh na bezotkaznost' zheleznodorozhnogo puti [Automation of ranking criteria affecting the reliability of a railway track]. *Vestnik transporta Povolz'ya* [Bulletin of Transport of the Volga region], 2021, no. 2 (86), pp. 26–33.

10. Kapishonova V.S., Asalkhanova T.N. Faktorniy analiz riskov v edinoi korporativnoi avtomatizirovannoi sistema upravleniya infrastrukturoi [Factor analysis of risks in the Unified Corporate Automated Control System]. *Molodaya nauka Sibiri* [Young Science of Siberia], 2022, no. 1 (15), pp. 35–42.

11. Kolisnichenko E.A., Grigor'eva O.V. Organizatsiya tekushchego sodержaniya puti na osnove faktornogo analiza na primere PCh-4 Krasnoyarskoi zheleznoi dorogi [The organization of the current content of the track based on factor analysis on the example of PW-4 of Krasnoyarsk Railway]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona* [Transport infrastructure of the Siberian region], 2012, vol. 1, pp. 518–526.

12. Podverbnyy V.A., Perelygina A.A., Gagarin L.Yu., Ural'skii D.A. Prinyatie reshenii pri vybore konstruksii i parametrov sezonnykh okhlazhdayushchikh ustroystv [Decision-making when choosing designs and parameters of seasonal cooling devices]. *Materialy III Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Obrazovanie – Nauka – Proizvodstvo»* [Materials of the III All-

Russian Scientific and Practical Conference «Education – Science – Production»]. Chita, 2019, pp. 147–160.

13. Podverbnyi V.A., Koven'kin D.A., Filatov E.V., Valiev N.A. Perspektivy transportnogo, promyshlennogo, grazhdanskogo stroitel'stva v Taishetskom raione Irkutskoi oblasti i predotvrashchenie degradatsii mnogoletnemerzlykh gruntov [Prospects of transport, industrial, civil construction in the Taishet district of the Irkutsk region and prevention of degradation of permafrost soils]. *Materialy III Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Obrazovanie – Nauka – Proizvodstvo»* [Materials of the III All-Russian Scientific and Practical Conference «Education – Science – Production»]. Chita, 2019, pp. 129–147.

14. Podverbnyi V.A., Perelygina A.A. Prinyatie resheniya po vyboru tipa ukrepleniya vodootvodnykh i nagornykh kanav na osnove metoda ideal'noi tochki [Decision-making on the choice of the type of strengthening of drainage and upland ditches based on the ideal point method]. *Transport Urala* [Transport of the Urals], 2021, no. 2 (69), pp. 57–62.

15. Kirpichnikov K.A., Dashinimaev Z.B., Baklazhenko A.G. Sposob stabilizatsii zemlyanogo polotna v raionakh rasprostraneniya vechnoi merzloty s primeneniem innovatsionnykh materialov [A method for stabilizing the roadbed in permafrost distribution areas using innovative materials]. *Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Obrazovanie – Nauka – Proizvodstvo» (v 2 t)* [Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference «Education – Science – Production» (in 2 vol.)]. Chita, 2018, vol. 1, pp. 92–96.

16. Chernetskaya I.S. Prinyatie reshenii pri vybere sposobov rekonstruktsii zheleznodorozhnogo puti [Decision-making when choosing ways to reconstruct a railway track]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona* [Transport infrastructure of the Siberian region], 2016, vol. 1, pp. 543–547.

17. Chernetskaya I.S., Pleskach S.T. Analiz klyuchevykh aspektov organizatsii remontno-putevykh работ [Analysis of key aspects of the organization of repair and track works]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona* [Transport infrastructure of the Siberian region], 2017, vol. 1, pp. 634–638.

18. Suslov O.A. Reorganizatsiya sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta puti [Reorganization of the system of maintenance and repair of the track]. *Put' i putevoe khozyaistvo* [Track and track facilities], 2021, no. 1, pp. 11–13.

Информация об авторах

Ковенькин Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой пути и путевого хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: kovenkin_da@irgups.ru.

Валиев Новруз Али-Оглы, мастер земляного полотна, Новочарская дистанция пути Восточно-Сибирской железной дороги, пос. Новая Чара; e-mail: novruz_valiev@mail.ru.

Information about the authors

Dmitrii A. Koven'kin, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Head of the Department of Track and track facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: kovenkin_da@irgups.ru.

Novruz A. Valiev, master of the earthwork, Novocharskaya distance of the way of the East-Siberian Railway, Novaya Chara; e-mail: novruz_valiev@mail.ru.