

Научная статья

Original article

УДК 551.345:625.1(470.13)

doi: https://doi.org/10.55186/2413046X_2026_11_7_92

edn: DHACAK

**ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОЛОТНА В КРИОЛИТОЗОНЕ
РЕСПУБЛИКИ КОМИ: ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ АСПЕКТ
PROBLEMS AND WAYS OF ENSURING THE SUSTAINABILITY OF
THE RAILWAY TRACK IN THE CRYOLITHOZONE OF THE KOMI
REPUBLIC: GEOGRAPHICAL ASPECT**



*Исследование выполнено при финансовой поддержке АНО «Экспертный
Центр ПОРА»*

Сергеев Дмитрий Олегович, д.г.-м.н. заведующий лабораторией геокриологии им. Г.З. Перлыштейна, ФГБУН Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук, Москва, E-mail: d.sergeev@geoenv.ru.

Осадчая Галина Григорьевна, д.г.н., доцент, профессор кафедры химии, химических технологий, экологии и техносферной безопасности, ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», Ухта, E-mail: galgriosa@yandex.ru

Саприн Сергей Викторович, к.г.н., доцент, доцент кафедры поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», Ухта, E-mail: odsaprin@yandex.ru

Быкова Мария Витальевна, старший преподаватель кафедры химии, химических технологий, экологии и техносферной безопасности, ФГБОУ ВО

«Ухтинский государственный технический университет», Ухта, E-mail: mariya-bykova@mail.ru.

Sergeev Dmitry Olegovich, Doctor of Geology and Mineralogy, Head of the G.Z. Perlshtein Laboratory of Geocryology at the E.M. Sergeev Institute of Geoecology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, E-mail: d.sergeev@geoenv.ru.

Osadchaya Galina Grigorievna, Doctor of Geographical Sciences, docent, Professor of the Department of Chemistry, Chemical Technologies, Ecology and Technosphere Safety, Ukhta State Technical University, Ukhta, E-mail: galgriosa@yandex.ru

Saprin Sergey Viktorovich, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mineral Resources Exploration and Development, Ukhta State Technical University, Ukhta, E-mail: odsaprin@yandex.ru.

Bykova Maria Vitalievna, Senior Lecturer of the Department of Chemistry, Chemical Technologies, Ecology and Technosphere Safety, Ukhta State Technical University, Ukhta, E-mail: mariya-bykova@mail.ru.

Аннотация. Рассмотрены основные причины (ситуации) деформации железнодорожного полотна инженерно-геологического характера, возможные в криолитозоне Республики Коми. Набор экзогенных процессов различен для разных природных/геокриологических зон. Наиболее широкий спектр экзогенных процессов возможен к развитию в северной лесотундре в подзоне прерывистого распространения многолетнемерзлых пород.

Для обеспечения устойчивости железнодорожного полотна в криолитозоне необходимы организация мониторинговых наблюдений с целью прогноза перспектив возникновения инженерно-геологических рисков как на участках с многолетнемерзлыми породами, как и на талых участках, актуализации геокриологических карт всей иерархии масштабов. Следует учитывать, что есть два класса проблем техносферной безопасности, для которых нужен разный анализ разных массивов данных, и, соответственно, совершенствование методик мониторинга: одни актуальны для участков

преимущественного развития многолетнемерзлых пород, другие – талых грунтов основания насыпи.

Abstract. The main causes (situations) of engineering-geological deformation of the railway track in the permafrost zone of the Komi Republic are considered. The set of exogenous processes varies for different natural/geocryological zones. The widest range of exogenous processes is possible in the northern forest-tundra, in the subzone of discontinuous permafrost.

To ensure the stability of the railway track in the permafrost zone, it is necessary to organize monitoring observations in order to predict the prospects for the occurrence of engineering and geological risks in both areas with permafrost and areas with thawed soils, as well as to update geocryological maps at all levels of scale. It should be noted that there are two classes of problems related to technosphere safety, which require different analyses of different data sets and, consequently, the improvement of monitoring methods: some are relevant for areas with predominantly permafrost soils, while others are relevant for areas with thawed soils.

Ключевые слова: железнодорожное полотно, криолитозона, многолетнемерзлые породы, экзогенные процессы, деформации

Keywords: railway track, permafrost zone, perennial frozen rocks, exogenous processes, and deformations

Эксплуатация железных дорог в условиях криолитозоны предполагает учет дополнительных факторов обеспечения стабильного состояния железнодорожного полотна, что связано с пересечением им участков с многолетнемерзлыми породами (ММП).

Как на участках с ММП, так и на талых участках, возможно развитие различных экзогенных (инженерно-геологических) процессов, в том числе криогенных [1, 2]. В практике эксплуатации линейных сооружений это

приводит к деформациям сооружений и их оснований, что считается недопустимым.

Цель исследования – определение круга проблем инженерно-геологического характера и путей их решения, возникающих при эксплуатации железнодорожного полотна в криолитозоне Республики Коми, характеризующейся различными зональными типами распространения ММП.

Современная криолитозона РК приурочена к северной части республики, а именно к Воркутинскому, Интинскому, Усинскому и Усть-Цилемскому районам и в целом характеризуется наличием всех четырех зональных типов ММП (по классификации, принятой в России [3]), которые четко соотносятся с природной зональностью территории [4]: зоне тундр соответствует подзона сплошного распространения ММП (не более 10 % по площади сквозных таликов), подзоне северной лесотундры – подзона прерывистого распространения ММП (сквозные талики по площади занимают 10-50 %), подзоне южной лесотундры – подзона массивно-островного распространения ММП (мерзлые породы развиты на 10-50 % площади подзоны), подзоне крайнесеверной тайги (в северной её части – подзона островного распространения ММП (мерзлые породы развиты менее, чем на 10 % площади подзоны).

Железные дороги (ж/д) РК организационно принадлежат к Северной железной дороге; их сеть невелика, но значима для экономики республики. Они пересекают три южные подзоны (II, III, IV) (рис. 1). Температуры ММП меняются в небольшом диапазоне: $-0 \dots -2,5^{\circ}\text{C}$ [4] с понижением температур с юга на север. Глубины сезонноталого и сезонномёрзлого слоёв (СТС-СМС) различаются в зависимости от механического состава грунта и по классификации Н.В. Тумель [5] относятся в суглинках преимущественно к среднему типу, в торфах и оторфованных грунтах – к мелкому, в песках – среднему и глубокому – 1,5-2,0 м. В зависимости от зональной

приуроченности конкретного участка ж/д, меняется набор и интенсивность развития большей части криогенных процессов.



Рисунок 1 – Железные дороги Республики Коми на схеме геокриологической зональности Европейского Севера

Можно выделить основные виды (группы) неблагоприятных явлений, создающих проблемы при эксплуатации железных дорог в Республике Коми.

На рис. 2 показаны «волнистые» участки ж/д полотна, которые возникают в результате просадок и пучения (миграционного и инъекционного) разной амплитуды (до 0,3 м) и длины волны (50-150 м) на обводненных участках с преимущественным развитием ММП. На участках без ММП они характерны при пересечении талых болот.



Рисунок 2 – «Волнистое» железнодорожное полотно с разными амплитудами
просадок в районе ст. Песец [6]

Там, где преобладают ММП, на участках сквозных и несквозных (глубоких) таликов могут формироваться бугры пучения, протяженность которых по основанию может достигать 20-50 м, а высота – до 0,5-1,5 м. Наледные проявления достаточно редки (наледи мощностью 2-5м), но также отмечались у основания насыпей и на основной площадке выемок.

На участках ММП, преимущественно сложенными торфами, вытаивание подземных льдов приводит к термокарстовым просадкам насыпи глубиной до 1 м. Они зафиксированы на участках разной протяженности: от первых десятков метров до 300, реже – более. В случаях, когда на участках без ММП полотно перекрывает полноценный переток грунтовых вод, более низкие по рельефу участки травяно-осоковых болот и выпуклобугристых торфяников становятся суше и на них происходит новообразование ММП, образуются торфяные бугры разной высоты. Непосредственно вдоль ж/д полотна новообразований нет (повышенная мощность снега), но в отдалении влияние на окружающий ландшафт наблюдается.

Практически повсеместно возможен размыв откосов насыпей (в форме эрозионных борозд) атмосферными осадками и поверхностными водами. Глубина борозд в зависимости от состава грунта и конструктивных особенностей пути может изменяться от 0,1-0,2 до 0,8 м. При этом в прибортовой части основной площадки выемок формируются пролювиальные конусы, замывающие дренажи и водоотводные канавы. Подобное замывание возникает и при пересечении железнодорожным полотном временных и постоянных мелких водотоков в случае, когда отсутствует достаточный контроль за состоянием водопропускных труб. В этом случае происходит заболачивание более высоких участков рельефа и возможен размыв насыпи.

Оползни могут возникать в бортах выемок и в нижней части высоких насыпей в результате смещения сильно обводнённых грунтов, обычно по

подошве СТС слоя. Глубина захвата грунтовой толщи может достигать 5-6 м, а объём перемещённого грунта – составлять 1,5-6,0 тыс. м³.

Строительство и эксплуатация железных дорог в криолитозоне региона началось в 1938 г.; в разное время строились различные участки. На настоящее время наиболее заметные аварии/инциденты, связанные с экзогенными процессами, зафиксированы на участках без ММП в подзоне островного её распространения. Это, прежде всего, неконтролируемые просадки, расползание насыпи, размыв насыпи, оползание обочин и откосов. Особенно заметны эти процессы на участках болот, где основания насыпи представлены слабыми грунтами. Так, деформации полотна на участке обширного болота при подъезде к ст. Усинск (как вдоль рельсов, так и поперечные) достигли таких значений, что отмечен инцидент (см. рис.1), когда сильными порывами бокового ветра сдуло 3 последних незагруженных вагонов товарного состава. Частично эти деформации могут быть связаны и с изначально низким качеством самого полотна (возводилось в период 1974...1979 гг. с нарушением требований, сразу пошли неравномерные просадки).

Обращают на себя внимания и случаи размыва полотна, особенно при пересечении им небольших водотоков. Так, 26 июня 2024 г. на перегоне Инта-Угольный сошли с рельсов 9 вагонов пассажирского поезда № 511 Воркута-Новороссийск, погибли 3 человека (см. рис.1). На этом участке леса был перегорожен сток от небольшого водотока. Отсутствие в последние 35 лет должного контроля за водопропускной трубой привело к заболачиванию на этом участке, размыву насыпи и аварии.

Наиболее широкий спектр экзогенных процессов возможен к развитию в подзоне прерывистого распространения ММП. Ситуации, связанные с деформациями дорожного полотна, самые различные и требуют особенно тщательного изучения. Исходя из этого мониторинговые исследования геокриологических процессов, приводящих к нарушению устойчивости

сооружений и неблагоприятным экологическим последствиям, проводятся на 10-километровом участке ж/д на перегоне Песец-Хановей (район нижнего течения р. Воркута) с середины 2010-х годов (см. рис. 1, рис. 3) силами геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова и ФГБУН Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН (г. Москва). Проводится ландшафтно-мерзлотная типизация местности на уровне урочищ и их сравнительная характеристика, определение основных групп криогенных процессов и явлений с их районированием (на картографической основе). Особое внимание уделяется геокриологическим проявлениям с повышенной степенью рисков, как площадных, так и линейных.



Рисунок 3 – Участок проведения геокриологических исследований [6]

Ж/д пересекает в основном слабонаклонную придолинную поверхность с фрагментами среднеблочной тундры и участками маломощного плоскобугристого торфяника (см. рис. 2). На этом участке ММП распространены повсеместно, но не всегда имеют сливающийся характер. Так, кровля несливающейся мерзлоты под насыпью была зафиксирована в интервале глубин 5-12 м.

В основном рассматривалось развитие термокарста, как ведущего процесса, определяющего устойчивость земляного полотна. Как результат, построена карта-схема деформационных участков (по А.С. Войтенко [7]), приуроченных к ландшафтной типизации местности [6].

Многолетние ряды наблюдений показали, что происходит повышение температуры ММП и избирательное формирование мелких несквозных таликов, но при этом сплошность ММП сохраняется. Постепенно «старые» термокарстовые формы перестают развиваться, а активные просадки происходят уже на новых участках, обычно заторфованных блоках, с мелкими, реже средними (по Н.В. Тумель) глубинами СТС.

Главным выводом проведённого исследования является понимание того, что для обеспечения устойчивости железнодорожного полотна в криолитозоне недостаточно плановых осмотров ж/д полотна. Необходимость организации мониторинговых наблюдений с целью прогноза перспектив возникновения инженерно-геологических рисков как на участках с ММП, как и на талых участках, очевидна. Также необходима актуализации геокриологических карт всей иерархии масштабов. Такие карты являются основой для обоснования систем инженерной защиты от железнодорожных катастроф. Также следует учитывать, что есть два класса проблем техносферной безопасности, для которых нужен разный анализ разных массивов данных, и, соответственно, совершенствование методик мониторинга: одни актуальны для участков преимущественного развития ММП, другие – талых грунтов основания насыпи.

Список источников

1. Исаков, В.А. Влияние криогенных процессов на устойчивость автомобильных и железных дорог: дис... канд. геогр. н. / В.А. Исаков. – М., 2016. – 155 с.
2. Sergeev, D. Permafrost-Related Geohazards in Cold Russian Regions / D. Sergeev // Natural Hazard Science. 2018.

3. Достовалов, В.Н. Общее мерзлотоведение: Учебник / В.Н. Достовалов, В.А. Кудрявцев. – М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1967. 403 с.
4. Осадчая, Г.Г. Локальные ландшафты как индикаторы геокриологической зональности (на примере Европейского Северо-Востока) / Г.Г. Осадчая, Н.В. Тумель // Криосфера Земли. – Том XVI. – № 3. – 2012. – С. 62-71.
5. Тумель, Н.В. Температурный режим и криогенное строение мёрзлых пород восточной части Большеземельской тундры : автореф. дисс... канд. геогр. наук / Н.В. Тумель. – М, 1975. –16 с.
6. Горбунова, А.А. Временные и пространственные закономерности проявлений криогенных процессов при эксплуатации железных дорог в южной части Большеземельской тундры в условиях изменяющегося климата / А.А. Горбунова, Г.З. Зарипова Г.З., В.С. Исаев, др. // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2023. – № 3. – С. 15–25. DOI: 10.31857/S0869780923020054, EDN: TWJZJD.
7. Войтенко, А.С. Применение геокриологического районирования природно-технических систем для обоснования мероприятий инженерной защиты (на примере арктического участка Северной железной дороги) / А.С. Войтенко : дис. ... канд. геол.-мин. н. – М., 2017. – 159 с.

References

1. Isakov, V.A. Vliyanie kriogenny`x processov na ustojchivost` avtomobil`ny`x i zhelezny`x dorog: dis... kand. geogr. n. / V.A. Isakov. – М., 2016. – 155 s.
2. Sergeev, D. Permafrost-Related Geohazards in Cold Russian Regions / D. Sergeev // Natural Hazard Science. 2018. <http://naturalhazardscience.oxfordre.com/view/10.1093/acrefore/9780199389407.01.0001/acrefore-9780199389407-e-291>.
3. Dostovalov, V.N. Obshhee merzlotovedenie: Uchebnik / V.N. Dostovalov, V.A. Kudryavcev. – М.: Izd-vo Mosk. Un-ta, 1967. 403 s.

4. Osadchaya, G.G. Lokal'ny'e landshafty` kak indikatory` geokriologicheskoy zonal'nosti (na primere Evropejskogo Severo-Vostoka) / G.G. Osadchaya, N.V. Tumel` // Kriosfera Zemli. – Tom XVI. – № 3. – 2012. – S. 62-71.
5. Tumel`, N.V. Temperaturny`j rezhim i kriogennoe stroenie myorzly`x porod vostochnoj chasti Bol'shezemel'skoj tundry` : avtoref. diss... kand. geogr. nauk / N.V. Tumel`. – M, 1975. –16 s.
6. Gorbunova, A.A. Vremenny`e i prostranstvenny`e zakonomernosti proyavlenij kriogenny`x processov pri e`kspluatatsii zhelezny`x dorog v yuzhnoj chasti Bol'shezemel'skoj tundry` v usloviyax izmenyayushhegosya klimata / A.A. Gorbunova, G.Z. Zaripova G.Z., V.S. Isaev, dr. // Geoe`kologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya. – 2023. – № 3. – S. 15–25. DOI: 10.31857/S0869780923020054, EDN: TWJZJD.
7. Vojtenko, A.S. Primenenie geokriologicheskogo rajonirovaniya prirodno-texnicheskix sistem dlya obosnovaniya meropriyatij inzhenernoj zashhity` (na primere arkticheskogo uchastka Severnoj zheleznoj dorogi) / A.S. Vojtenko : dis. ... kand. geol.-min. n. – M., 2017. – 159 s.

© *Сергеев Д.О., Осадчая Г.Г., Саприн С.В., Быкова М.В., 2026. Московский экономический журнал, 2026, № 7.*