
ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

УДК 551.583.2

Анализ последствий изменения климата для управления климатическими рисками на железнодорожном транспорте

Р. Г. Ахтямов

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Ахтямов Р. Г. Анализ последствий изменения климата для управления климатическими рисками на железнодорожном транспорте // Бюллетень результатов научных исследований. — 2023. — Вып. 2. — С. 7–17. DOI: 10.20295/2223-9987-2023-2-7-17

Аннотация

Цель: Мета-анализ последствий изменения климата для управления климатическими рисками на железнодорожном транспорте. **Методы:** Анализ последствий изменения климата, на основе массива статистических данных за период с 1990 по 2019 год выявлены тепловые риски для объектов железнодорожной инфраструктуры. **Результаты:** Степень нагрева объектов железнодорожной инфраструктуры может значительно различаться в зависимости от конкретного местоположения и типа объекта. Выявлены причины отказов, связанных с тепловыми рисками на железнодорожной сети: большинство происшествий, связанных с высокими температурами, происходят в период с начала до середины лета; существует значительная уязвимость оборудования к высоким температурам; широкий спектр оборудования выходит из строя вследствие нагрева при температурах окружающей среды, находящихся в пределах рабочего диапазона, а также в пределах климатических норм данного региона. **Практическая значимость:** Сформулированы пути повышения устойчивости транспортной инфраструктуры и адаптации к изменению климата. Показано, что изменение климата повышает вероятность природных чрезвычайных ситуаций и опасных природных процессов, которые могут инициировать чрезвычайные ситуации на транспорте. Рост годовых экстремумов температуры воздуха прогнозируется на большей части территории России. При этом ожидается увеличение количества дней с аномально высокими значениями температуры воздуха и уменьшение количества дней с экстремально низкими ночными температурами воздуха. Проведенная оценка показала, что в некоторых случаях факторами климатического риска могут являться не сами опасные природные явления, а создаваемые ими опасные техногенные события.

Ключевые слова: Изменение климата, парниковые газы, отказ оборудования, опасные природные явления, климатический риск, адаптация.

Введение

В настоящее время динамика климатических изменений наблюдается по всему миру, при этом особенностью данного процесса является то, что оно фиксируется как на общемировом, так и на локальном уровне. Драйвером ускорения глобального изменения климата является использование ископаемого топлива в качестве энергоресурса. Это приводит к антропогенно обусловленному росту содержания парниковых газов в атмосфере. При этом следует отметить, что топливно-энергетический комплекс выступает одним из основных секторов экономики России. Реализация концепции устойчивого развития с поэтапным сокращением выбросов парниковых газов может основываться как на принятии дифференцированного подхода к использованию энергоресурсов, так и на внесении корректив в экономическую политику страны.

В ряде исследований [1–3] отмечается, что изменения климата имеют существенные различия в зависимости от региона проявления и существенную значимость на местном уровне, особенно в Арктике. Учет подобных пространственных особенностей позволит более точно прогнозировать последствия глобального изменения климата и реализовывать научно обоснованный подход к разработке мер по смягчению воздействия изменения климата на конкретную территорию или отрасль.

Материалы и методы

Такие опасности, как ураганы, наводнения, аномальная жара, засухи и лесные пожары, в последние годы увеличились по количеству, интенсивности и изменчивости [4]. В связи с тем, что и частота, и интенсивность чрезвычайных ситуаций природного характера растут по всему миру, все больше стран сталкиваются со значительными социально-экономическими последствиями опасных природных явлений и, как следствие, с ростом чрезвычайных ситуаций техногенного характера, в том числе и на транспорте.

Оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата при ООН [5] прогнозирует существенный рост опасности возникновения пожаров в ряде регионов Евразии (в первую очередь на юге) к 2050 году. Вместе с тем пик опасности возникновения пожаров все больше смещается к середине лета — на фоне увеличения продолжительности пожароопасного периода. Это обуславливается как ростом температуры, так и изменением режима увлажнения почвы.

Кроме того, к климатическим рискам, связанным с ростом частоты и интенсивности чрезвычайных ситуаций природного характера, относятся как аномально высокие и низкие температуры воздуха и почвы, так и экстремальные суточные и годовые амплитуды температуры, что приводит к увеличению вероятности и продолжительности засух. На рис. 1 приведено изменение количества засух в мире с 1900 по 2019 год.

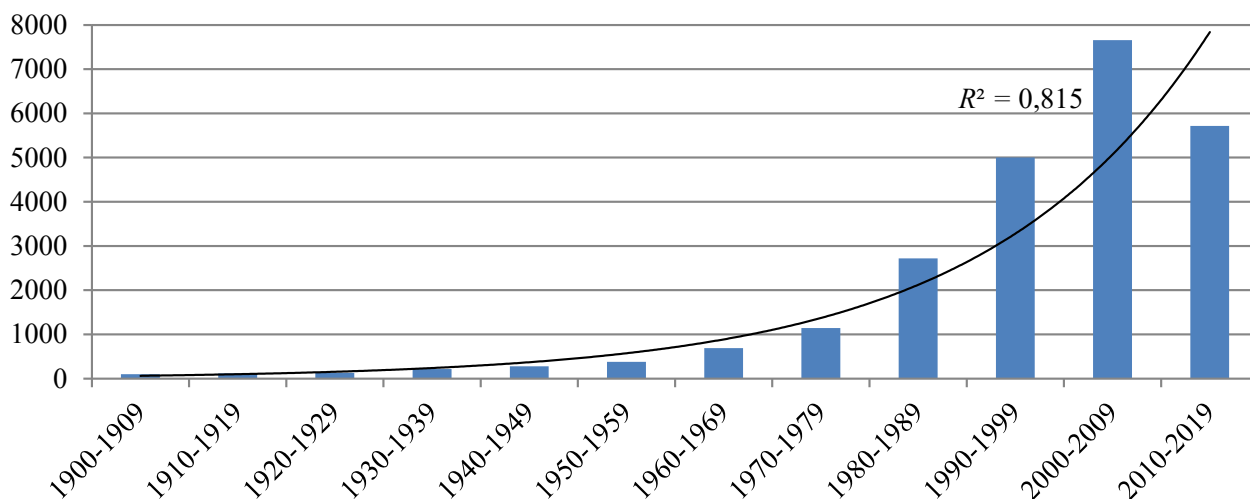
Количество

Рис. 1. Изменение количества засух в мире с 1900 по 2019 год

Как видно из рис. 1, рост количества засух в мире с 1900 по 2019 год описывается экспоненциальной функцией с коэффициентом корреляции 0,96. При этом с 2020 по 2022 год произошло 1479 засух, что составляет 26 % от количества засух, произошедших в предыдущем десятилетии (2010–2019 гг.).

Вместе с тем рост средней мировой температуры обуславливает увеличение частот возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера. Например, повышение температуры в летний период и более высокая повторяемость экстремально высоких температур являются причинами нарушения функционирования ряда объектов транспортной инфраструктуры. Следует отметить, что при отсутствии стратегии и планов адаптации к изменению климата перегрев зданий, сооружений и технологического оборудования приведет к повышению вероятности отказов на транспорте. Прогнозируемый рост экстремальных летних температур увеличивает риск системных аварий, связанных с увеличением энергопотребления, снижением генерации энергии и существенным ростом потерь при передаче энергии. На рис. 2 приведено изменение количества волн жара и холода (период аномально жаркой (холодной) и/или необычно влажной погоды) в мире с 1950 по 2019 год.

Как видно из рис. 2, рост количества волн жара в мире с 1950 по 2019 год описывается экспоненциальной функцией с коэффициентом корреляции 0,97, рост количества волн холода в мире с 1950 по 2019 год описывается экспоненциальной функцией с коэффициентом корреляции 0,91. При этом с 2020 по 2022 год произошло 11 волн жара, что составляет 18 % от количества волн жара, произошедших в предыдущем десятилетии (2010–2019 гг.), с 2020 по 2022 год произошло 3 волны холода, что составляет 2 % от количества волн холода, произошедших в предыдущем десятилетии (2010–2019 гг.).

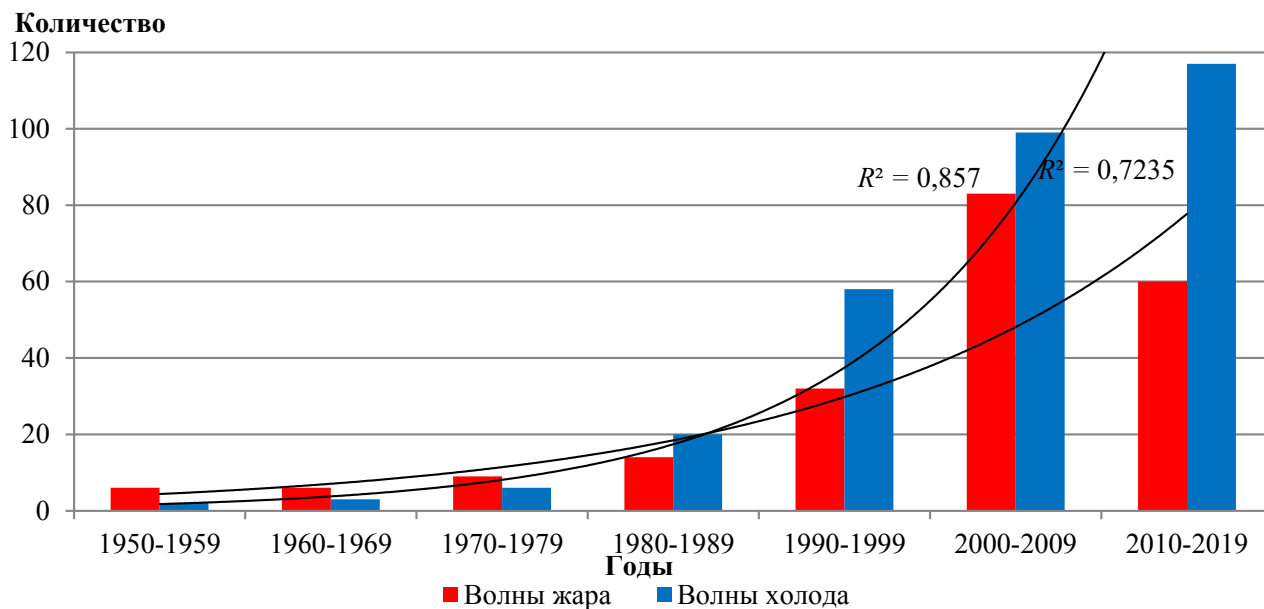


Рис. 2. Изменение количества волн жара и холода в мире с 1950 по 2019 год

Высокие температуры и волны жара могут вызвать многочисленные проблемы для железнодорожной инфраструктуры, такие как коробление пути, провисание воздушных линий и выход из строя электрического оборудования СЦБ. Без учета данных тенденций и разработки мер по адаптации эти проблемы усугубятся в будущем, более теплом климате.

Высокие температуры и волны жара могут вызвать многочисленные проблемы для железнодорожной инфраструктуры. Большинство железнодорожных объектов показывают повышенную частоту отказов даже при умеренно низких температурах, таких как 20 °С, при этом частота аварий значительно возрастает при превышении температуры 26 °С [6]. Эти температуры находятся в пределах климатологических норм температуры, а также в пределах требуемых эксплуатационных характеристик железнодорожной инфраструктуры.

Данные величины температуры влияют на разные типы оборудования по-разному. Например, температура выше 30 °С часто связана с деформацией пути [7]. Высокие температуры и аномальная жара, по прогнозам, станут все более распространенными [5], понимание природы этих связанных с жарой происшествий имеет существенное значение для обеспечения безопасности железнодорожного транспорта.

Под прямыми солнечными лучами в жаркие дни рельсы могут быть на 208 °С теплее, чем температура окружающей среды [8]. Когда сталь нагревается, она расширяется, увеличивая сжимающее напряжение и потенциально вызывая коробление и сход подвижного состава с рельс. Кроме того, если температура очень высока или если путь находится в плохом состоянии, могут возникать искривления пути из-за дополнительной энергии, выделяемой проходящим составом.

Тепловое расширение также может повлиять на воздушные линии. При расширении воздушных линий их натяжение уменьшается, что может привести к чрезмерному провисанию. Частота провисания воздушных линий также выше в городских районах из-за эффекта городского острова тепла, который может привести к тому, что городские районы на несколько градусов теплее, чем их окрестности. Города часто являются важными транспортными узлами, и отказ здесь может быть очень проблематичным, быстро распространяясь на остальную часть сети, вызывая значительные задержки в перевозке пассажиров и грузов. Следовательно, понимание природы связанных с жарой происшествий на таких критических участках пути имеет существенное значение.

Гораздо менее изучено влияние тепла на оборудование СЦБ. В отличие от воздушных линий именно современные виды оборудования СЦБ имеют тенденцию быть более восприимчивыми к сбоям, связанным с нагревом, из-за их повышенной зависимости от электрических и электронных компонентов. Оборудование, находящееся под прямыми солнечными лучами, наиболее уязвимо к перегреву, и, в частности, оборудование внутри контейнеров может испытывать более быстрые изменения температуры и более высокие экстремальные температуры, чем то, которое находится снаружи.

К другим связанным с жарой проблемам, влияющим на железнодорожную сеть, относятся ограниченные возможности для проведения технического обслуживания пути, подверженность персонала тепловым ударам и риск для пассажирских и грузовых перевозок, связанный с отказом оборудования подвижного состава в экстремальных погодных условиях.

Предполагается, что большее количество происшествий, связанных с жарой, произойдет в начале летнего сезона. Как только эти сбои будут устранены, а вышедшее из строя оборудование заменено, инфраструктура на этом участке станет более устойчивой до конца года при сохранении данной температуры. Следовательно, устойчивость железнодорожной сети будет увеличиваться в течение каждого летнего сезона, и теоретически, как только будет достигнута максимальная температура, в конкретном месте больше не должно происходить связанных с жарой отказов.

Данные о температуре окружающей среды с метеорологических станций наблюдения указывают на ежедневные погодные условия, но не на температуру оборудования. Например, в работе [9] отмечается, что температура оборудования была зафиксирована на уровне 38 °C, что на 10 °C выше, чем температура окружающей среды, наблюдаемая на ближайшей метеостанции. Хотя можно приблизительно оценить температуру оборудования по температуре окружающей среды, используя аппроксимацию, отмечается, что большая часть разницы в температурах зависит от затенения растительностью или инфраструктурой.

Поэтому степень нагрева объектов железнодорожной инфраструктуры может значительно различаться в зависимости от конкретного местоположения и типа объекта, а также отличаться от температуры, зарегистрированной на ближайшей метеостанции. Это особенно характерно для инфраструктуры и оборудования, которое может быть расположено в городских или сельских районах и подвержено влиянию такого внешнего фактора, как затенение.

Результаты

Анализ литературных источников [6, 8–10] позволяет сформулировать следующие причины отказов, связанных с последствиями климатических изменений для объектов транспортной инфраструктуры:

1. Большинство происшествий, связанных с жарой, происходит в период с начала до середины лета, а затем снижается, несмотря на то, что температура остается высокой. Это согласуется с гипотезой исправления всех полученных отказов оборудования в наиболее жаркий период и предполагает, что система транспортной инфраструктуры становится все более устойчивой в течение лета, поскольку неисправное оборудование ремонтируется или заменяется. Затенение от искусственных сооружений или деревьев, степень которого может меняться в зависимости от времени суток и времени года, является основной причиной пространственных колебаний температуры пути.

2. Существует значительная уязвимость оборудования СЦБ к теплу. Кроме того, повышается вероятность коробления пути, затрат на ликвидацию аварии, связанных с жарой, и увеличения числа и продолжительности задержек.

3. Широкий спектр оборудования выходит из строя вследствие нагрева, при температурах окружающей среды, находящихся в пределах рабочего диапазона, а также в пределах климатических норм данного региона. Причинами отказов может быть использование устаревшего оборудования, а также то, что процедуры технического обслуживания не всегда могут выполняться при значительных величинах температуры окружающего воздуха.

Обсуждение результатов

По сравнению с оборудованием СЦБ, путевые средства, как правило, выходят из строя при более высоких температурах. Устойчивость системы железнодорожной инфраструктуры повышается в течение летнего сезона. Соответственно, существует потенциальная возможность увеличения этих температурных порогов в зависимости от региона в течение летнего сезона по мере того, как региональная инфраструктура становится устойчивой к более высоким температурам. Такое динамическое управление рисками перегрева уменьшит связанные с жарой перебои в работе.

Существующий подход к обеспечению отказоустойчивости оборудования требует пересмотра в средне- и долгосрочной перспективе, так как без целенаправленной адаптации или смягчения последствий изменения климата случаи отказов оборудования и коробления пути увеличатся в будущем, более теплом климате.

Одним из способов управления климатическими рисками на железнодорожном транспорте является включение мер по адаптации к изменению климата в процесс управления. При этом данные меры должны включать научно обоснованные сведения об изменениях климата и реализовываться параллельно с существующими процедурами управления. Подготовка объектов транспортной инфраструктуры к изменению климата должна быть основана на современных знаниях о процессе изменения климата, передовой международной практике и академических исследованиях. Данная подготовка может состоять из двух разделов:

- разработка стратегии адаптации к изменению климата;
- разработка плана реализации стратегии адаптации к изменению климата [11].

При разработке данных разделов целесообразно учитывать, что возможна стагнация в процессе реализации стратегии адаптации в случае существенной разницы между целями стратегии и мерами по адаптации с имеющимися возможностями отрасли.

Таким образом, цель стратегии адаптации к изменению климата состоит в том, чтобы путем расстановки акцентов на конкретных мероприятиях для конкретных объектов транспортной инфраструктуры установить количественные параметры, в том числе временные, в которых они должны быть реализованы, с учетом приоритетных климатических рисков.

Управление тепловыми рисками в критических узлах является обязательным, особенно в городских районах, где эффект острова тепла может привести к значительно более высоким температурам, чем в окружающей местности.

Прогнозируется, что в будущем железнодорожная сеть столкнется с беспрецедентными проблемами из-за более частых высоких температур, и без целенаправленной адаптации или смягчения последствий изменения климата затраты и задержки, связанные с тепловыми рисками, будут увеличиваться. Таким образом, повышение климатической устойчивости транспортной сети в настоящее время имеет существенное значение.

Пути повышения устойчивости транспортной инфраструктуры и адаптации к изменению климата состоят в разработке научно обоснованного подхода к адаптации. Вместе с тем разработка комплекса мер по адаптации к изменению климата железнодорожной отрасли сталкивается со следующими сложностями:

- осведомленность об изменении климата и климатических рисках недостаточна, отсутствует сеть мониторинга воздействия климата на транспортную инфраструктуру;

- последствия отдельных природных стихийных явлений вызывают озабоченность, но не ведут к комплексной оценке климатических рисков для инфраструктуры железнодорожного транспорта в долгосрочной перспективе;
- значительная часть инфраструктуры проектируется и строится по нормативным документам, в которых отсутствует оценка последствий изменения климата;
- финансирование направляется на техническое обслуживание существующих объектов, при этом не учитываются затраты на меры по адаптации инфраструктуры к последствиям изменения климата.

Поскольку расчетный срок службы транспортной инфраструктуры часто составляет несколько десятилетий, при установке новых объектов следует учитывать динамику климатических изменений, чтобы избежать снижения надежности инфраструктуры или дорогостоящей модернизации. Существующая инфраструктура будет требовать отдельного комплекса мер по адаптации к климатическим рискам. В этой связи целесообразна разработка стратегии адаптации и плана реализации стратегии адаптации к изменению климата с последующей интеграцией в существующие организационные процедуры.

Заключение

Изменение климата повышает вероятность природных чрезвычайных ситуаций и опасных природных процессов, которые могут инициировать чрезвычайные ситуации на транспорте. Рост годовых экстремумов температуры воздуха прогнозируется на большей части территории России. При этом ожидается увеличение количества дней с аномально высокими значениями температуры воздуха и уменьшение количества дней с экстремально низкими ночными температурами воздуха.

Проведенная оценка показала, что в некоторых случаях факторами климатического риска могут являться не сами опасные природные явления, а создаваемые ими опасные техногенные события (отказ элементов транспортной инфраструктуры). Прогнозируемый рост ущерба связан не только с климатическими факторами, но и со снижением надежности и увеличением уязвимости объектов транспортной инфраструктуры. Очевидно, это связано с высокой степенью износа инфраструктуры, отклонением от строительных норм и правил при строительстве объектов, размещением объектов на территориях, находящихся в зоне повышенного климатического риска. Цель разработки и реализации стратегии адаптации к изменению климата состоит в том, чтобы путем расстановки акцентов на конкретных мероприятиях для конкретных объектов транспортной инфраструктуры установить количественные параметры, в том числе временные, в которых они должны быть реализованы, с учетом приоритетных климатических рисков.

Планы адаптации к изменению климата должны учитывать изменения в частоте или масштабах экстремальных погодных явлений, долгосрочные климатические изменения и будущие социально-экономические изменения в управлении и технологиях.

Список литературы

1. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. — Санкт-Петербург. 2017. — 106 с.
2. Titova T. Methodical approaches for durability assessment of engineering structures in cold regions / T. Titova, R. Akhtyamov, E. Nasyrova et al. // *Lecture Notes in Civil Engineering*. — 2020. — Iss. 49. — Pp. 473–478. — DOI: 10.1007/978-981-15-0450-1_49.
3. Nasyrova E. Geoenvironmental assessment of urban water bodies / E. Nasyrova, A. Elizaryev, S. Aksenov et al. // *E3S Web of Conferences*. — 2019. — Iss. 110. — Article № 02045. — DOI: 10.1051/e3sconf/201911002045.
4. БДЧС. Центра исследований эпидемиологии катастроф. — URL: <http://www.emdat.be> (дата обращения: 24.02.2023).
5. IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32. — DOI: 10.1017/9781009157896.001.
6. Ferranti E. Heat-related failures on Southeast England’s railway network: insights and implications for heat risk management / E. Ferranti, L. Chapman, C. Lowe et al. // *Weather Clim.* — 2016. — Soc. 8. — Pp. 177–191.
7. Network Rail, 2014b: Weather and climate change resilience. How our routes are mitigating the impact of weather and climate change to maintain an efficient service. Network Rail. — URL: <http://www.networkrail.co.uk/publications/weather-and-climate-change-resilience/> (дата обращения: 24.02.2023).
8. Chapman L. Modelling of rail surface temperatures: A preliminary study / L. Chapman, Y. Huang, X. Cai et al. // *Theor. Appl. Climatol.* — 2008. — Iss. 92. — Pp. 121–131. — DOI: 10.1007/s00704-007-0313-5.
9. Dobney K. Quantifying the effects of high summer temperatures due to climate change on buckling and rail related delays in south-east United Kingdom / K. Dobney, C. Baker, A. Quinn et al. // *Meteor. Appl.* — 2009. — Iss. 16. — Pp. 245–251. — DOI: 10.1002/met.114.
10. Dobney K. The future cost to the United Kingdom’s railway network of heat-related delays and buckles caused by the predicted increase in high summer temperatures owing to climate change / K. Dobney, L. Chapman, A. Quinn // *Proc. Inst. Mech. Eng. Part F*, 2019. — Vol. 224. — Pp. 25–34. — DOI: 10.1243/09544097JRRT292.
11. Ахтямов Р. Г. Разработка подходов к адаптации транспортной инфраструктуры к климатическим изменениям / Р. Г. Ахтямов // *Инновационные транспортные системы и технологии*. — 2023. — Т. 9. — № 1. — С. 34–43. — DOI: 10.17816/transsyst20239134-43.

Дата поступления: 25.03.2023

Решение о публикации: 19.04.2023

Контактная информация:

АХТЯМОВ Расул Гумерович — канд. техн. наук, доц.; ahtamov_zchs@mail.ru

Analysis of Climate Change Consequences for Climate Risk Management in Railway Transportation

R. G. Akhtyamov

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Akhtyamov R. G. Analysis of Climate Change Consequences for Climate Risk Management in Railway Transportation. *Bulletin of scientific research results*, 2023, iss. 2, pp. 7–17. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2023-2-7-17

Summary

Purpose: Meta-analysis of the consequences of climate change for climate risk management in railway transportation. **Methods:** Analysis the consequences of climate change, based on an array of statistical data for the period from 1990 to 2019, thermal risks for railway infrastructure facilities have been identified. **Results:** It has been shown that the degree of heating of railway infrastructure objects can vary significantly depending on the specific location and type of object. The causes of failures associated with thermal risks on the railway network have been identified: most of the incidents associated with the heat occur during the period from the beginning to the middle of summer. There is a significant vulnerability of equipment to heat. A wide range of equipment fails due to heating at ambient temperatures within the operating range, as well as within the climatic norms of the given region. **Practical significance:** Ways to increase the stability of transport infrastructure and adaptation to climate change have been formulated. It is shown that climate change increases the likelihood of natural disasters and dangerous natural processes that can initiate emergency situations in transportation. The growth of annual extremums of air temperature is predicted in most of Russia. In this case, an increase in the number of days with abnormally high values of air temperature and a decrease in the number of days with extremely low night air temperatures is expected. The assessment shows that in some cases, the factors of climatic risk may not be dangerous natural phenomena themselves, but the dangerous technogenic events created by them.

Keywords: Climate change, greenhouse gases, equipment failure, dangerous natural phenomena, climatic risk, adaptation.

References

1. *Doklad o klimaticheskikh riskakh na territorii Rossiyskoy Federatsii* [Report on climate risks in the Russian Federation]. Saint Petersburg, 2017, 106 p. (In Russian)
2. Titova T., Akhtyamov R., Nasyrova E. et al. Methodical approaches for durability assessment of engineering structures in cold regions. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2020, Iss. 49, pp. 473–478. DOI: 10.1007/978-981-15-0450-1_49.
3. Nasyrova E., Elizaryev A., Aksenov S. et al. Geoenvironmental assessment of urban water bodies. *E3S Web of Conferences*. 2019, Iss. 110, article № 02045. DOI: 10.1051/e3sconf/201911002045.
4. *BDChS. Tsentra issledovaniy epidemiologii katastrof* [BDChS. Center for Research on the Epidemiology of Catastrophes]. Available at: <http://www.emdat.be> (accessed: February 24, 2023). (In Russian)

5. IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32. DOI: 10.1017/9781009157896.001.

6. Ferranti E., Chapman L., Lowe C. et al. Heat-related failures on Southeast England's railway network: insights and implications for heat risk management. *Weather Clim, 2016, Soc. 8*, pp. 177–191.

7. Network Rail, 2014b: Weather and climate change resilience. How our routes are mitigating the impact of weather and climate change to maintain an efficient service. Network Rail. Available at: <http://www.networkrail.co.uk/publications/weather-and-climate-change-resilience/> (accessed: February 24, 2023).

8. Chapman L., Huang Y., Cai X. et al. Modelling of rail surface temperatures: A preliminary study. *Theor. Appl. Climatol*, 2008, Iss. 92, pp. 121–131. DOI: 10.1007/s00704-007-0313-5.

9. Dobney K., Baker C., Quinn A. et al. Quantifying the effects of high summer temperatures due to climate change on buckling and rail related delays in south-east United Kingdom. *Meteor. Appl*, 2009, Iss. 16, pp. 245–251. DOI: 10.1002/met.114.

10. Dobney K., Chapman L., Quinn A. The future cost to the United Kingdom's railway network of heat-related delays and buckles caused by the predicted increase in high summer temperatures owing to climate change. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part F*, 2019, vol. 224, pp. 25–34. DOI: 10.1243/09544097JRRT292.

11. Akhtyamov R. G. Razrabotka podkhodov k adaptatsii transportnoy infrastruktury k klimaticheskim izmeneniyam [Development of approaches to adaptation of transport infrastructure to climate change]. *Innovatsionnye transportnye sistemy i tekhnologii* [Innovative transport systems and technologies]. 2023, vol. 9, Iss. 1, pp. 34–43. DOI: 10.17816/transsyst20239134-43. (In Russian)

Received: March 25, 2023

Accepted: April 19, 2023

Author's information:

Rasul G. AKHTYAMOV — PhD in Engineering, Associate Professor; ahtamov_zchs@mail.ru