

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ РИСКОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНУЮ ИНФРАСТРУКТУРУ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МЕРОПРИЯТИЙ ПО АДАПТАЦИИ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА

*Ахтямов Р.Г.<sup>1</sup>, Елизарьев А.Н.<sup>2</sup>, Елизарьева Е.Н.<sup>2</sup>, Михайлов С.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург;*

<sup>2</sup>*Уфимский университет науки и технологий, Уфа*

**Ключевые слова:** изменение климата, транспортная инфраструктура, мониторинг окружающей среды, климатический риск, железнодорожный транспорт, оценка воздействия климата, прогноз климатических изменений.

**Аннотация.** Целью работы являлся анализ влияния климатических рисков на железнодорожную инфраструктуру и разработка системы мероприятий по адаптации транспортной инфраструктуры к изменению климата. Объектом исследования является транспортная инфраструктура России, проанализированная при помощи метода выявления особенностей функционирования транспортной инфраструктуры с учетом региональной специфики. Приведены результаты анализа факторов климатического риска, эффектов воздействия факторов климатического риска, а также влияния на железнодорожную инфраструктуру с целью комплексного управления природными опасностями и разработки мер по адаптации к изменению климата. Показано, что совершенствование мероприятий и стратегии адаптации железнодорожного транспорта к изменяющемуся климату может включать в себя следующие системы: система предупреждения аварий и инцидентов; система мониторинга параметров окружающей среды и объектов инфраструктуры; меры защиты объектов железнодорожного транспорта; внесение изменений в стандарты производственной деятельности; перемещение объектов инфраструктуры при невозможности их эксплуатации на данной территории.

## ANALYSIS OF THE IMPACT OF CLIMATE RISKS ON RAILWAY INFRASTRUCTURE AND DEVELOPMENT OF A SYSTEM OF MEASURES TO ADAPT TRANSPORT INFRASTRUCTURE TO CLIMATE CHANGE

*Akhtyamov R.G.<sup>1</sup>, Elizariev A.N.<sup>2</sup>, Elizarieva E.N.<sup>2</sup>, Mikhailov S.A.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Saint-Petersburg State University of Railway Transport of Emperor Alexander I, Saint-Petersburg;*

<sup>2</sup>*Ufa University of Science and Technology, Ufa*

**Keywords:** climate change, transport infrastructure, environmental monitoring, climate risk, railway transportation, climate impact assessment, climate change forecasting.

**Abstract.** Analysis of the impact of climate risks on railway infrastructure and development of a system of measures to adapt transport infrastructure to climate change. The object of the study is the transport infrastructure of Russia, analyzed using the method of identifying the peculiarities of the functioning of the transport infrastructure, taking into account regional specifics. Results. An analysis of climate risk factors, the effects of climate risk factors, as well as the impact on railway infrastructure was carried out with the aim of integrated management of natural hazards and the development of adaptation measures to climate change. It is shown that improving measures and strategies for adapting railway transport to a changing climate may include the following systems: a system for preventing accidents and incidents; monitoring system for environmental parameters and infrastructure facilities; measures to protect railway transport facilities; introducing changes to production standards; relocation of infrastructure facilities when it is impossible to operate them in a given territory.

### Введение

Значительный срок эксплуатации большей части объектов транспортной инфраструктуры и ее критическое значение для функционирования социально-экономической системы территории, региона или страны определяет необходимость ее адаптации к условиям меняющегося климата. При отсутствии или несвоевременности

разработки и внедрения мер адаптации к изменению климата, возможно существенное влияние глобальных или региональных климатических процессов на операционные, финансовые, экологические и социальные показатели основных фондов транспортной инфраструктуры.

Адаптация транспортной инфраструктуры России к изменению климата описана в Плане адаптации к изменениям климата в области транспорта [1] в соответствии с Национальным планом мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата [2]. Субъектами адаптации, относящимися к железнодорожной отрасли, определены строительство железных дорог, междугородные и международные пассажирские перевозки, грузовые перевозки.

Объекты и компоненты транспортной инфраструктуры чрезвычайно разнообразны, они включают объекты энергетики (электрические сети, электростанции), сеть железных дорог и подъездных путей, информационно-коммуникативную сеть (кабели передачи данных), искусственные сооружения (мосты, тоннели). Существует множество взаимосвязей между объектами и компоненты транспортной инфраструктуры и отказ одного объекта может привести к каскаду отказов и нарушению связности транспортной системы. Опасные природные явления могут повлиять на работоспособность или разрушить несколько объектов или компонентов транспортной инфраструктуры одновременно [3-10].

Изменение климата уже оказывает воздействие на транспортную инфраструктуру, либо определяя прямой или косвенный ущерб, либо влияя на надежность компонентов транспортной инфраструктуры. Эта тенденция, вероятно, усилится в ближайшем будущем [11]. Основные угрозы объектам инфраструктуры включают повреждение или разрушение, вызванное экстремальными погодными явлениями, частота и опасность которых возрастает при климатических изменениях.

Ряд объектов и компонентов транспортной инфраструктуры может не испытывать непосредственного воздействия факторов климатического риска, но может потерять работоспособность при воздействии вторичных проявлениях факторов климатического риска.

Потребности в инвестициях в инфраструктуру в ближайшие десятилетия могут увеличиться, так как помимо планового проектирования, строительства, эксплуатации и восстановления появятся затраты на адаптацию, а в ряде случаев изменятся условия в зонах проектирования, строительства и эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры [12].

Обеспечение устойчивости инфраструктуры к изменению климата является важной задачей раннего периода адаптации. Изменения в сторону инвестиций в более устойчивую к изменению климата инфраструктуру имеют следующие особенности:

- инвестиции предусматривают более высокие первоначальные капитальные затраты для обеспечения устойчивости и получении прибыли на протяжении всего срока службы инфраструктуры;

- предполагается более высокий риск ошибки в принятии решений, вследствие неопределенности, связанной с последствиями изменения климата долгосрочной перспективе;

- экосистемы предоставляют ряд услуг по адаптации (естественная среда обитания на побережьях или в поймах рек защищает от оползней, эрозии, разрушения береговой линии), таким образом, защита экосистем может быть менее затратной, чем инвестиции в развитие или адаптацию искусственной инфраструктуры.

Кроме того, разработка мер адаптации инфраструктуры к последствиям изменения климата позволяет совершенствовать навыки и технологии, а также использовать дополнительный потенциал адаптации посредством новых инженерных практик или информационных технологий.

С территориальной точки зрения аспект адаптации транспортной инфраструктуры также является значимым, так как значительная часть взаимосвязанной инфраструктуры сосредоточена в городах, то адаптация города и транспортной инфраструктуры способна решить многочисленные межсекторальные проблемы функционирования и развития.

### **Объект и методы исследования**

Объектом исследования является транспортная инфраструктура России. Климатические воздействия на транспортную инфраструктуру варьируется в зависимости от местоположения, подверженности факторам климатического риска, существующего потенциала адаптации и уровня регионального экономического развития. Это связано с тем, что долгосрочный и среднесрочный прогноз климатических изменений (повышение средней температуры, изменение режима выпадения осадков и др.), а также увеличение частоты экстремальных погодных явлений зависит от местоположения той или иной территории.

В этой связи меры адаптации транспортной инфраструктуры должны опираться на учет различных тенденций и включать различные модели воздействия факторов климатического риска на объекты транспортной инфраструктуры.

Россия характеризуется большим территориальным разнообразием, в этой связи повышение устойчивости транспортной инфраструктуры должно опираться на местные или региональные условия.

Так, урбанизированные территории обладают повышенной чувствительностью к экстремальным погодным явлениям, это обусловлено высокой концентрацией населения, материальных активов и видов социально-экономической деятельности, одной из основ которых является бесперебойное функционирование объектов транспортной инфраструктуры.

Также ряд климатических изменений усиливается на урбанизированной территории, характеризующейся особенностями микроклимата (температура, ветер, осадки), с реализацией эффекта городского острова тепла.

Проблемы эксплуатации инфраструктуры в изменяющихся климатических условиях включают в себя возможность функционирования в условиях более высоких рабочих температур летом (с увеличением частоты и интенсивности волн тепла), необходимости защиты застроенной территории от наводнений, обеспечение энергоснабжения во время пиков потребления (охлаждение в «более жаркое» лето, отопление в «более холодную» зиму). Городские жители также могут быть особенно восприимчивы по отношению к уязвимостям транспортной инфраструктуры.

Транспортная инфраструктура в прибрежных районах может быть не построена, повреждена или разрушена вследствие повышения уровня моря (от 0,18 м до 0,58 м к 2100 году [13]), береговой эрозии (которая будет ускоряться повышением уровня моря и увеличением частоты штормов). Кроме того, повышение уровня моря может привести к затоплению прибрежных районов и усилит последствия штормовых нагонов, что ставит под угрозу расположенную в прибрежной зоне транспортную инфраструктуру.

Функционирование транспортной инфраструктуры в горных районах может быть нарушено вследствие повышения частоты и интенсивности природных стихийных бедствий (оползни, камнепады, лавины, наводнения). Большинство природных стихийных явлений связано с повышением температуры окружающей среды, что приводит к потере ледниковой массы и последующим морфологическим преобразованиям, таким как уменьшение снежного покрова, таяние вечной мерзлоты и изменение характера осадков. Прогнозируется, что изменение климата приведет к более позднему сезонному выпадению снега, меньшему снежному покрову, более раннему сходу мокрых снежных лавин и сокращению снежного сезона.

### **Результаты**

Изменения климата затрагивают не только транспортную инфраструктуру, но и распределение перевозок и транспортные потоки, что может изменить потребности в инфраструктуре. Поскольку на разные виды транспорта по-разному влияет изменение климата, то возможно изменение вида мобильности исходя из уязвимости транспортного сектора, а также готовности и степени реализации мер по адаптации. Среди рисков для железнодорожной отрасли в условиях меняющегося климата, можно выделить: снижение

безопасности подвижного состава и инфраструктуры; увеличение затрат на ремонт и техническое обслуживание; нарушение своевременной доставки грузов и пассажиров.

Данные риски обуславливаются увеличением количества осадков, поверхностного стока и водности водных объектов. Приведенные климатические изменения могут повлиять на проектирование, строительство, эксплуатацию объектов транспортной инфраструктуры. Особое значение имеет ожидаемое увеличение на 20% количества осадков в виде сильных ливней в 2100 году [8].

В районах, где водотоки пересекают железнодорожные пути под мостом или тоннелем, изменение климата повышает риск того, что увеличение расхода воды может повредить существующие или проектируемые транспортные объекты. Так, одной из мер адаптации объектов транспортной инфраструктуры к изменению климата является увеличение на 30% пропускной способности мостового перехода по потоку воды между Копенгагеном и Рингстедом, по сравнению с действующими нормативами [13].

Инвестиции в строительство зданий и сооружений, являющихся частью транспортной инфраструктуры, требуют учета фактора меняющегося климата и связанных с ним экстремальных погодных явлений. Также значимым является применение мер адаптации обусловленных длительным сроком службы зданий и сооружений, экономической и социальной ценностью с учетом последствий изменения климата.

Кроме того, меры адаптации проектируемых и строящихся зданий и сооружений могут значительно отличаться от существующей практики проектирования и строительства.

В качестве угроз проектируемым и строящимся зданиям и сооружениям можно выделить:

- экстремальные осадки, ведущие к проникновению воды в здания и сооружения, повреждение фундаментов и подвалов, разрушение зданий и сооружений, переполнение канализации, воздействие оползней и селей, наводнений и т.д.;

- экстремальный нагрев, ведущий к усталости и старению материалов, ухудшение здоровья находящихся в перегретом здании или сооружении людей, высокое потребление энергии для охлаждения и т. д.;

- увеличение снеговой нагрузки на конструкции вследствие сильных снегопадов;

- подтопление территории вследствие повышения уровня моря или речных наводнений, которое повышает вероятность просадки грунтов и деформации строительных конструкций.

Результаты анализа влияния климатических рисков на железнодорожную инфраструктуру приведены в таблице 1.

Исходя из результатов анализа факторов климатического риска, эффектов воздействия факторов климатического риска, а также влияния на железнодорожную инфраструктуру комплексное управление природными опасностями и меры по адаптации к изменению климата могут быть основаны на:

- анализе информации и прогнозе неблагоприятных погодных условий;

- мониторинге и документировании состояния объектов инфраструктуры;

- оценке ресурса объектов инфраструктуры;

- региональном климатическом прогнозе и ожидаемых климатических изменениях;

- картировании природных опасностей и корректировке опасностей с учетом прогноза изменения климата.

Комплексное управление природными опасностями и разработка мер по адаптации к изменению климата могут быть основаны на:

- картировании уязвимостей транспортной инфраструктуры;

- оценке рисков и управлении рисками;

- реализации мероприятий по адаптации на всех этапах жизненного цикла объектов инфраструктуры;

- разработке альтернативных сценариев адаптации, с учетом затрат и оценки последствий дезадаптации.

Табл. 1. Результаты анализа влияния климатических рисков на железнодорожную инфраструктуру

Фактор климатического риска	Эффект воздействия фактора климатического риска	Объект влияния или вид отказа
1 Температура: изменение характера распределения, повышение средней и максимальной температуры		
1.1 Высокие температуры и волны тепла	Перегрев	Инфраструктура
		Подвижной состав
1.2 Резкие изменения температуры	Напряжения в материалах. Перегрев	Коробление пути
1.3 Солнечный нагрев		Коробление пути, ландшафтные пожары, отказ устройств автоматики
2 Осадки: изменение структуры, количества и частоты выпадения осадков		
2.1 Интенсивность осадков	Дождевая эрозия почвы, насыпей. Наводнения	Повреждение насыпей, участков ведения земляных работ
2.2 Длительные периоды дождей	Замедление дренажа, эрозия почвы. Оползни. Высыхание грунта	Объекты инфраструктуры
2.3 Наводнения		Дренажные системы, тоннели, мосты, участки ведения земляных работ
2.4 Засухи		
3 Криолитосфера: изменение характеристик и площади вечной мерзлоты		
3.1 Таяние вечной мерзлоты	Деградация многолетнемерзлых грунтов	Потеря устойчивости оснований зданий и сооружений
		Деформация пути
4 Ветер: изменение повторяемости, интенсивности, частоты		
4.1 Ураганы	Сильный ветер	Повреждение сооружений, контактной сети
	Падение деревьев	Нарушение движения поездов
4.2 Прибрежные штормы	Повышение уровня моря	Затопление прибрежной зоны, повреждение дамб, участков ведения земляных работ
5. Удары молний и грозы	Перенапряжение	Повреждение контактной сети и отказ устройств автоматики

Совершенствование мероприятий и стратегии адаптации железнодорожного транспорта к изменяющемуся климату может включать в себя следующие системы: система предупреждения аварий и инцидентов; система мониторинга параметров окружающей среды и объектов инфраструктуры; меры защиты объектов железнодорожного транспорта; внесение изменений в стандарты производственной деятельности; перемещение объектов инфраструктуры при невозможности их эксплуатации на данной территории.

Структура предлагаемой системы совершенствования мероприятий и стратегии адаптации железнодорожного транспорта к изменяющемуся климату приведена на рисунке 1.

Основой для разработки и корректировки стратегии адаптации железнодорожного транспорта к изменяющемуся климату может являться определение приоритетов функционирования и развития отрасли, основанное на классификации рисков для отрасли. Пространственное распределение рисков для управления ими возможно при картировании рисков и уязвимостей по отношению к инфраструктуре, окружающей среде, технологическим процессам и сотрудникам.

Картирование может быть основано на разработке геоинформационной системы, включающей базу данных опасных природных явлений, действующих систем предупреждения отказов, наличия моделей природных процессов, а также базы данных объектов инфраструктуры.



Рис. 1. Структура системы совершенствования мероприятий и стратегии адаптации железнодорожного транспорта к изменяющемуся климату

### Обсуждение результатов

Адаптация объектов транспортной инфраструктуры к меняющемуся климату включает два аспекта. Во-первых, при строительстве новой инфраструктуры устойчивость к изменениям климата может быть обеспечена путем проектирования, размещения и эксплуатации объектов с учетом параметров текущего и прогнозируемого климата. Это имеет особую значимость для крупных объектов инфраструктуры. Во-вторых, существующую инфраструктуру можно сделать более устойчивой к изменению климата за счет модернизации и/или обеспечение того, чтобы меры технического обслуживания включали работы по повышению устойчивости к воздействиям меняющегося климата в течение всего срока службы объекта.

Пороговые значения проектирования, заложенные в проекты инфраструктурных объектов, могут быть превышены в условиях меняющегося климата. Изменение климата может привести к отказам, вероятность которых считались исключительно малой, и в связи с

этим приемлемым. Инфраструктуре, возможно, придется функционировать в пределах параметров окружающей среды близких к критическим, что можно будет рассматривать как новую нормальность. Проектирование объектов инфраструктуры ведется в условиях устойчивости к погодным условиям прошлого, зафиксированных в строительных нормах и правилах и требованиях к эксплуатации.

Таким образом, для достижения устойчивости к изменению климата транспортной отрасли, в зависимости от региона размещения объектов инфраструктуры, необходима оценка воздействия местного климата на основе зафиксированных экстремальных погодных явлений, но с учетом прогноза будущих климатических условий.

Пространственное планирование играет существенную роль в развитии транспортной инфраструктуры. Следует отметить, что климатическая устойчивость транспортной инфраструктуры не ограничивается проектными решениями и их исполнением, а опирается на пространственное планирование, выбор места размещения и необходимые компенсационные меры. Оценка вариантов размещения на фоне климатических изменения и разработка комплекса мер по адаптации объектов транспортной инфраструктуры имеют решающее значение.

### **Заключение**

С территориальной точки зрения аспект адаптации транспортной инфраструктуры является значимым, так как значительная часть взаимосвязанной инфраструктуры сосредоточена в городах, то адаптация города и транспортной инфраструктуры способна решить многочисленные межсекторальные проблемы функционирования и развития.

Инвестиции в строительство зданий и сооружений, являющихся частью транспортной инфраструктуры, требуют учета фактора меняющегося климата и связанных с ним экстремальных погодных явлений. Также значимым является применение мер адаптации обусловленных длительным сроком службы зданий и сооружений, экономической и социальной ценностью с учетом последствий изменения климата. Кроме того, меры адаптации проектируемых и строящихся зданий и сооружений может значительно отличаться от предыдущей практики проектирования и строительства.

Совершенствование мероприятий и стратегии адаптации железнодорожного транспорта к изменяющемуся климату может включать в себя следующие системы: система предупреждения аварий и инцидентов; система мониторинга параметров окружающей среды и объектов инфраструктуры; меры защиты объектов железнодорожного транспорта; внесение изменений в стандарты производственной деятельности; перемещение объектов инфраструктуры при невозможности их эксплуатации на данной территории.

Основой для разработки и корректировки стратегии адаптации железнодорожного транспорта к изменяющемуся климату может являться определение приоритетов функционирования и развития отрасли, основанное на классификации рисков для отрасли. Пространственное распределение рисков для управления ими возможно при картировании рисков и уязвимостей по отношению к инфраструктуре, окружающей среде, технологическим процессам и сотрудникам.

Картирование может быть основано на разработке геоинформационной системы, включающей базу данных опасных природных явлений, действующих систем предупреждения отказов, наличия моделей природных процессов, а также базы данных объектов инфраструктуры.

Таким образом, для достижения устойчивости к изменению климата транспортной отрасли, в зависимости от региона размещения объектов инфраструктуры, необходима оценка воздействия местного климата на основе зафиксированных экстремальных погодных явлений, но с учетом прогноза будущих климатических условий.

### **Список литературы**

1. План адаптации к изменениям климата в области транспорта (утв. приказом Министерства транспорта от 02.03.2022 № 69).

2. National Action Plan of the first stage of adaptation to climate change for the period up to 2022 (approved by the Russian Federation Government Order of 25.12.2019 № 3183-p).
3. Ferranti E., Chapman L., Lowe C., McCulloch S., Jaroszweski D., Quinn AD. Heat-related failures on Southeast England's railway network: insights and implications for heat risk management // *Weather, Climate, and Society*. 2016, vol. 8, pp. 177-191. doi.org/10.1175/WCAS-D-15-0068.1.
4. Beniston, M., Stephenson, D.B., Christensen, O.B., Ferro, CH.A.T., Frei CH., Goyette S., Halsnaes K., Holt T., Jylhä K., Koffi B., Palutikof J., Schöll R., Semmler T., Woth K. Future extreme events in European climate: An exploration of regional climate model projections. // *Climatic Change*. 2007, vol. 81, pp. 71-95. DOI: 10.1007/s10584-006-9226-z.
5. Wigley T.M.L. The effect of changing climate on the frequency of absolute extreme events. // *Climatic Change*. 2009, vol. 97, pp. 67-76. DOI: 10.1007/s10584-009-9654-7.
6. Cai W., Borlace S., Lengaigne M., Van Rensch P., Collins M., Vecchi G., Timmermann A., Santoso A., Michael J. McPhaden, Wu L., Matthew H. England, Wang G., Guilyardi E., Jin F. Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming // *Nature Climate Change*. 2014, vol. 4, pp. 111-116. DOI: 10.1038/nclimate2100.
7. Jaroszweski D., Hooper E., Baker C., Chapman L., Quinn A. The impacts of the 28 June 2012 storms on UK road and rail transport. // *Meteorological Application*. 2015, vol. 22, iss. 3, pp. 470-476. DOI: 10.1002/met.1477.
8. Koetse M.J., Rietveld P. The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2009, vol. 14, iss. 3, pp. 205-221. DOI: 10.1016/j.trd.2008.12.004.
9. Подвербный В.А., Филатов Е.В., Мухаров Б.П., Воробьева Л.А., Федорчукова Л.С., Титов К.М., Холодов П.Н., Чемезова Н.С., Четвертнова В.В., Гулевич В.П. Проектирование противолавинных сооружений на Восточно-Сибирской железной дороге // Особенности проектирования и строительства железных дорог в условиях Дальнего Востока. Межвузовский сборник научных трудов. – Хабаровск: Дальневосточный государственный университет путей сообщения, 2009. – С. 247-258.
10. Богданов В.Д., Головатин М.Г., Морозова Л.М. Экологические риски при строительстве железной дороги на территории Ямало-Ненецкого автономного округа в рамках проекта «Урал промышленный Урал Полярный» // *Экономика региона*. – 2010. – №2. – С. 147-153.
11. Pörtner H.-O., Roberts D.C., Tignor M., Poloczanska E.S., Mintenbeck K., Alegría A., Craig M., Langsdorf S., Lössche S., Möller V., Okem A., Rama B. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge University Press, 2023. – 3056 p. – DOI: 10.1017/9781009325844.
12. Титова Т.С., Ахтямов Р.Г., Мещерякова Н.А. Пути совершенствования плана адаптации к изменениям климата в области транспорта // *Инновационные транспортные системы и технологии*. – 2023. – Т. 9, № 2. – С. 5-18. – doi:10.17816/transsyst2023925-18.
13. Schenk T. *Adapting Infrastructure to Climate Change: Advancing Decision-Making Under Conditions of Uncertainty* (1st ed.). – London, Routledge, 2017. – 264 p. – DOI: 10.4324/9781315638973.

## References

1. Climate Change Adaptation Plan for Transport (approved by the Order of the Ministry of Transport of 02.03.2022 No. 69),
2. National Action Plan of the first stage of adaptation to climate change for the period up to 2022 (approved by the Russian Federation Government Order of 25.12.2019 № 3183-p).
3. Ferranti E., Chapman L., Lowe C., McCulloch S., Jaroszweski D., Quinn AD. Heat-related failures on Southeast England's railway network: insights and implications for heat risk management // *Weather, Climate, and Society*. 2016, vol. 8, pp. 177-191. doi.org/10.1175/WCAS-D-15-0068.1.
4. Beniston, M., Stephenson, D.B., Christensen, O.B., Ferro, CH.A.T., Frei CH., Goyette S., Halsnaes K., Holt T., Jylhä K., Koffi B., Palutikof J., Schöll R., Semmler T., Woth K. Future extreme events in European climate: An exploration of regional climate model projections. // *Climatic Change*. 2007, vol. 81, pp. 71-95. DOI: 10.1007/s10584-006-9226-z.
5. Wigley T.M.L. The effect of changing climate on the frequency of absolute extreme events. // *Climatic Change*. 2009, vol. 97, pp. 67-76. DOI: 10.1007/s10584-009-9654-7.
6. Cai W., Borlace S., Lengaigne M., Van Rensch P., Collins M., Vecchi G., Timmermann A., Santoso A., Michael J. McPhaden, Wu L., Matthew H. England, Wang G., Guilyardi E., Jin F. Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming // *Nature Climate Change*. 2014, vol. 4, pp. 111-116. DOI: 10.1038/nclimate2100.
7. Jaroszweski D., Hooper E., Baker C., Chapman L., Quinn A. The impacts of the 28 June 2012 storms on UK road and rail transport. // *Meteorological Application*. 2015, vol. 22, iss. 3, pp. 470-476. DOI: 10.1002/met.1477.
8. Koetse M.J., Rietveld P. The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2009, vol. 14, iss. 3, pp. 205-221. DOI: 10.1016/j.trd.2008.12.004.

9. Podverbny V.A., Filatov E.V., Mukharov B.P., Vorobyeva L.A., Fedorchukova L.S., Titov K.M., Kholodov P.N., Chemezova N.S., Chetvertnova V.V., Gulevich V.P. Designing avalanche control structures on the East Siberian Railway // Features of railway design and construction in the conditions of the Far East. Interuniversity collection of scientific papers. Khabarovsk: Far Eastern State University of Railway Engineering, 2009. pp. 247-258..
10. Bogdanov V.D., Golovatin M.G., Morozova L.M. Environmental risks in the construction of the railroad in the Yamalo-Nenets Autonomous District within the framework of the project "Industrial Urals Polar Urals" // Regional Economics. 2010, no. 2, pp. 147-153.
11. Pörtner H.-O., Roberts D.C., Tignor M., Poloczanska E.S., Mintenbeck K., Alegría A., Craig M., Langsdorf S., Löschke S., Möller V., Okem A., Rama B. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge University Press, 2023. – 3056 p. – DOI: 10.1017/9781009325844.
12. Titova T.S., Akhtyamov R.G., Meshcheriakova N.A. Ways to improve the plan of adaptation to climate change in the field of transport // Innovative transport systems and technologies. 2023, vol. 9, no. 2, pp. 5-18. DOI:10.17816/transsyst2023925-18
13. Schenk T. Adapting Infrastructure to Climate Change: Advancing Decision-Making Under Conditions of Uncertainty (1st ed.). – London, Routledge, 2017. – 264 p. – DOI: 10.4324/9781315638973.

*Сведения об авторах:*

*Information about authors:*

<b>Ахтямов Расул Гумерович</b> – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Техносферная и экологическая безопасность	<b>Akhtyamov Rasul Gumerovich</b> – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of technosphere and environmental safety
<b>Елизарьев Алексей Николаевич</b> – кандидат географических наук, доцент, и.о. директора ИХЗЧС, заведующий кафедрой Безопасности производства и промышленной экологии	<b>Elizariyev Aleksey Nikolayevich</b> – candidate of geographical sciences, associate professor, acting director of the institute of chemistry and protection in emergency situations, head of the Department of production safety and industrial ecology
<b>Елизарьева Елена Николаевна</b> – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Безопасности производства и промышленной экологии	<b>Elizariyeva Elena Nikolayevna</b> – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of production safety and industrial ecology Department
<b>Михайлов Степан Александрович</b> – Оператор ЭВиВМ кафедры Безопасности производства и промышленной экологии	<b>Stepan Aleksandrovich Mikhailov</b> – operator of electronic computing and computing machines of the Department of production safety and industrial ecology
stepanmihajlov387@gmail.com ru	

Получена 31.03.2024