

## Рубрика 1. ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЕКТЫ

Направление – Техносферная безопасность транспортных систем

УДК [UDC] 551.583.2

DOI 10.17816/transsyst2023925-18

© Т.С. Титова, Р.Г. Ахтямов, Н.А. Мещерякова

Петербургский государственный университет путей сообщения

Императора Александра I

(Санкт-Петербург, Россия)

**ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПЛАНА АДАПТАЦИИ  
К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА В ОБЛАСТИ ТРАНСПОРТА**

**Цель:** Разработка комплекса рекомендаций по совершенствованию плана адаптации к изменениям климата в области транспорта.

**Методы:** Методом исследования являлся анализ факторов климатического риска, и их динамика, а также особенности возникновения отказов на устройствах связи и автоматики в условиях меняющегося климата.

**Результаты:** Предлагаемые направления совершенствования плана адаптации к изменениям климата в области транспорта заключаются в учете априорной вероятности при оценке климатических рисков для объектов транспорта, а также рассмотрении влияния экзогенных геологических процессов на транспортные объекты. Показано, что объектами транспортной инфраструктуры, испытывающими существенное влияние со стороны меняющихся факторов климатического риска, являются системы связи и автоматики. Инклюзивность при разработке мероприятий по адаптации к изменениям климата в области транспорта может достигаться, в том числе форсированной подготовкой кадров для реализации плана адаптации к изменениям климата в области транспорта и рассмотрение технологий поглощения парниковых газов как мер по адаптации к изменениям климата в области транспорта.

**Заключение:** Учет предложений по совершенствованию плана адаптации к изменениям климата в области транспорта позволит акцентировать внимание на уязвимых к изменениям климата системам, обеспечить необходимый уровень профессиональной подготовки кадров для реализации плана адаптации, включить технологии поглощения парниковых газов в деятельность отрасли и обеспечить участие в разработке мероприятий по адаптации к изменениям климата в области транспорта всех заинтересованных сторон.

**Ключевые слова:** адаптация к изменению климата; природные стихийные явления; план адаптации; климатические риски; технологии поглощения выбросов; устойчивость; управление рисками; изменение климата.

## Rubric 1. TECHNOLOGIES AND PROJECTS

Field – Technosphere safety of transport systems

© T.S. Titova, R.G. Akhtyamov, N.A. Mescheriakova

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

(St. Petersburg, Russia)

## WAYS TO IMPROVE CLIMATE CHANGE ADAPTATION PLAN OF THE TRANSPORT

**Aim:** Development of recommendations for improving the climate change adaptation plan in the field of transport.

**Methods:** The research method was the analysis of climate risk factors and their dynamics, as well as the features of failures in communication and automation devices in a changing climate.

**Results:** The proposed directions for improving the climate change adaptation plan in the field of transport are to take into account a priori probability when assessing climate risks for transport facilities, as well as considering the impact of exogenous geological processes on transport facilities. It is shown that the transport infrastructure that are significantly affected by the changing factors of climate risk are communication and automation systems. Inclusiveness in the development of climate change adaptation activities in the field of transport can be achieved, including accelerated training of personnel for the implementation of the climate change adaptation plan in the field of transport and the consideration of greenhouse gas absorption technologies as climate change adaptation measures.

**Conclusion:** Taking into account proposals for improving the climate change adaptation plan in the field of transport will focus on climate-vulnerable systems, provide the necessary level of professional training for the implementation of the adaptation plan, include greenhouse gas absorption technologies in the industry and ensure participation in the development of measures to adaptation to climate change of all stakeholders.

**Key words:** adaptation to climate change; natural disasters; adaptation plan; climate risks; negative emissions technologies; stability; management of risks; climatic change.

## 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. Реализации концепции устойчивого развития с поэтапным сокращением выбросов парниковых газов основывается, как на принятии дифференцированного подхода к использованию энергоресурсов, так и на внесении корректив в деятельность различных отраслей, в том числе транспортной.

Во исполнение Национального плана мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 года [1] Министерство транспорта утвердило План адаптации к изменениям климата в области транспорта [2] с предоставлением ежегодных отчетов о ходе выполнения мероприятий плана. Субъектами адаптации, относящимися к железнодорожной отрасли, определены строительство автомобильных и

железных дорог, междугородные и международные пассажирские перевозки, грузовые перевозки.

## **АНАЛИЗ ПОДХОДОВ ПО АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА В ОБЛАСТИ ТРАНСПОРТА**

В качестве климатических рисков для транспортной отрасли отмечается, что изменение климата и его последствия могут негативно сказаться как на строительстве, так и на эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры. В частности, таяние многолетней мерзлоты создает риск полной или частичной утраты функциональности объектов транспортной инфраструктуры в связи с тем, что около 70 % инфраструктуры в зоне Арктики расположены в районах таяния многолетнемерзлых грунтов. Сезонное оттаивание или пучение грунта, а также термокарстовые просадки приводят к повреждению линейных сооружений инфраструктуры. При снижении количества морского льда вдоль побережья повышается вероятность волнового воздействия, в том числе на прилегающие к береговой зоне железные дороги. Отмечается рост среднемесячных и максимальных месячных температур за период 2010–2021 гг. (около 5 °C), что повышает вероятность природных пожаров и увеличение частоты волн жары сопровождающихся экстремально высокими температурами в течение нескольких дней подряд, что приводит к деформации рельсов и последующее уменьшение скорости поездов (а также повышение вероятности схода составов с рельс), и повышает вероятность отказа оборудования сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ).

В качестве пороговых значений для деятельности и показателей уязвимости выделено то, что при температурах ниже минус 25 °C происходит деформация металлических конструкций, укорачивание рельсов, замораживание пассажирских вагонов. Температура выше 25 °C также вызывает деформации металлических конструкций и изгиб рельсовых путей.

Отмечено, что за последние годы в 70 субъектах федерации зафиксировано 1556 случаев полной либо частичной утраты функциональности объектов транспортной инфраструктуры, в том числе железнодорожной: Дальневосточный округ – 41 случай; Сибирский округ – 14 случаев; Северо-Западный округ – 5 случаев.

В качестве новых возможностей для развития в связи с изменением климата отмечается, что сокращение периода отрицательных температур воздуха повышает благоприятность условий работы транспорта и создает предпосылки для увеличения срока эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры.

К приоритетным адаптационным мероприятиям отнесено:

- внесение изменений в акты Правительства, федеральных органов исполнительной власти, нормативно-методические документы направленных на учет меняющегося климата при проектировании, строительстве, эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры;
- создание системы мониторинга инженерно-геокриологических условий для наблюдения за состоянием линейных объектов инфраструктуры и разработка отраслевой методики расчета климатических рисков и оценки последствий изменения климата;
- оценка климатических рисков, обследование, адаптация и приведение в нормативное состояние искусственных сооружений на полигоне Крымской железной дороги и Восточном полигоне железных дорог;
- создание системы мониторинга изменения климата и чрезвычайных ситуаций природного характера на автомобильных дорогах, а также разработка цифровой платформы с интерактивной картой автомобильных дорог с прогнозными рисками воздействия меняющегося климата;
- проведение исследований по тематике влияния климатических рисков на оказание услуг по страхованию транспортным компаниям;
- формирование перечня объектов транспортной инфраструктуры федерального значения уязвимых к последствиям климатических изменений;
- создание испытательного полигона по апробации новых вяжущих материалов для строительства и обслуживания автомобильных дорог, в том числе разработка регламентов их применения;
- повышение пропускной способности внутренних водных путей, устранение негативного влияния изменения климата и обеспечение глубин, необходимых для судоходства.

В результате оценки климатических рисков для транспортного комплекса РФ выделены следующие климатические факторы и уровни риска:

- таяние многолетнемерзлых грунтов: весьма опасный уровень (70 % объектов транспортной инфраструктуры Арктической зоны);
- повышение средних температур, периоды аномальной жары/засухи: опасный уровень (100 % объектов транспортной инфраструктуры);
- изменение среднего уровня моря, усиление разрушительной силы штормов: опасный уровень (100 % объектов транспортной инфраструктуры расположенных в прибрежных районах);

- изменение интенсивности и частоты экстремальных осадков (наводнения и засухи): весьма опасный уровень (100 % объектов транспортной инфраструктуры);
- природные пожары: опасный уровень (100 % объектов транспортной инфраструктуры на территории регионов с высоким риском возникновения природных пожаров);
- сильный ветер/грозы: опасный уровень (100 % объектов транспортной инфраструктуры).

## **ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПЛАНА АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА В ОБЛАСТИ ТРАНСПОРТА**

Изменение климата повышает вероятность опасных природных процессов, которые могут инициировать чрезвычайные ситуации на транспорте, сопровождающиеся ущербом жизни и здоровью людей, нанесением вреда окружающей среде, сбоями в транспортной работе и значительным материальным ущербом.

### **1. Финансирование мероприятий по адаптации к изменениям климата в области транспорта**

Реализация проанализированного комплекса мер по адаптации не требует дополнительного финансирования из федерального бюджета, в соответствии с [2]. Однако защита транспортной инфраструктуры от климатических рисков может потребовать значительных первоначальных инвестиций, но в долгосрочной перспективе позволит предотвратить рост затрат или дорогостоящее переоснащение. При этом следует соотносить стоимость каждого дополнительного мероприятия по адаптации с ожидаемой величиной полученных выгод. Решения, принятые в рамках финансовой оценки могут пересматриваться и обновляться по мере изменения прогнозируемой вероятности или масштаба опасности, уязвимости инфраструктуры или социально-экономических последствий.

Необходима оценка вариантов, как для ближайшего будущего, так и для долгосрочной перспективы, в противном случае ранние действия могут поставить под угрозу будущие мероприятия, например вследствие сокращения финансирования или невозможности реализации будущих мероприятий на существующих или создаваемых объектах. Например, замена оборудования, вышедшего из строя из-за природных стихийных явлений аналогичным, приведет к быстрому восстановлению функционирования, но может вытеснить экономически эффективное оборудование в долгосрочной перспективе, если вероятность подобных опасных природных явлений возрастет.

## 2. Оценка климатических рисков для объектов транспорта

При оценке уровня риска климатических факторов целесообразно оценивать не только процент объектов транспортной инфраструктуры подверженных воздействию, но и ущерб объекту транспортной инфраструктуры, а также вероятность проявления данного климатического риска. Для оценки вероятности возможно использование критериев, приведенных в оценочном докладе МГЭИК: практически определенная вероятность 99–100 %, весьма вероятная 90–100 %, вероятная 66–100 %, скорее всего 33–66 %, маловероятно 0–33 %, очень маловероятно 0–10 %, исключительно маловероятно 0–1 % [3].

Кроме того, климатические изменения, наряду с повышением вероятности природных стихийных явлений, могут сопровождаться опасными природными процессами не характерными для данной территории. Это обуславливает низкую или отсутствующую готовность к реагированию на данное экстремальное явление на данной территории. В этой связи, при оценке вероятности целесообразно пользоваться байесовский метод, учитывающий априорную вероятность при определении апостериорной вероятности реализации климатического риска. Данный подход позволит учесть региональную специфику при выявлении частоты неблагоприятных событий, которая используется при оценке климатических рисков для каждого конкретного объекта транспортной инфраструктуры с учетом сценарной структуры изменения климата.

## 3. Учет влияния экзогенных геологических процессов на транспортные объекты

В качестве факторов климатических рисков не выделены гравитационные экзогенные геологические процессы, такие как оползни, обвалы, осыпи. При этом увеличение количества и интенсивности осадков в теплое время года приводит к существенному росту вероятности возникновения неблагоприятных последствий, которые связаны с потерей устойчивости склонов. Такие риски значительно возрастают при чередовании засушливых периодов с периодами интенсивных ливневых осадков. На Рис. приведено изменение количества оползней в мире с 1900 года по 2019 год по материалам статистических данных размещенных в базе данных EM-DAT [4].

Как видно из Рис., рост количества оползней в мире с 1900 года по 2019 год описывается экспоненциальной функцией с коэффициентом корреляции 0,96. При этом с 2020 года по 2022 год произошло 48 оползней, что составляет 26 % от количества оползней, произошедших в предыдущем десятилетии (2010–2019 гг.).



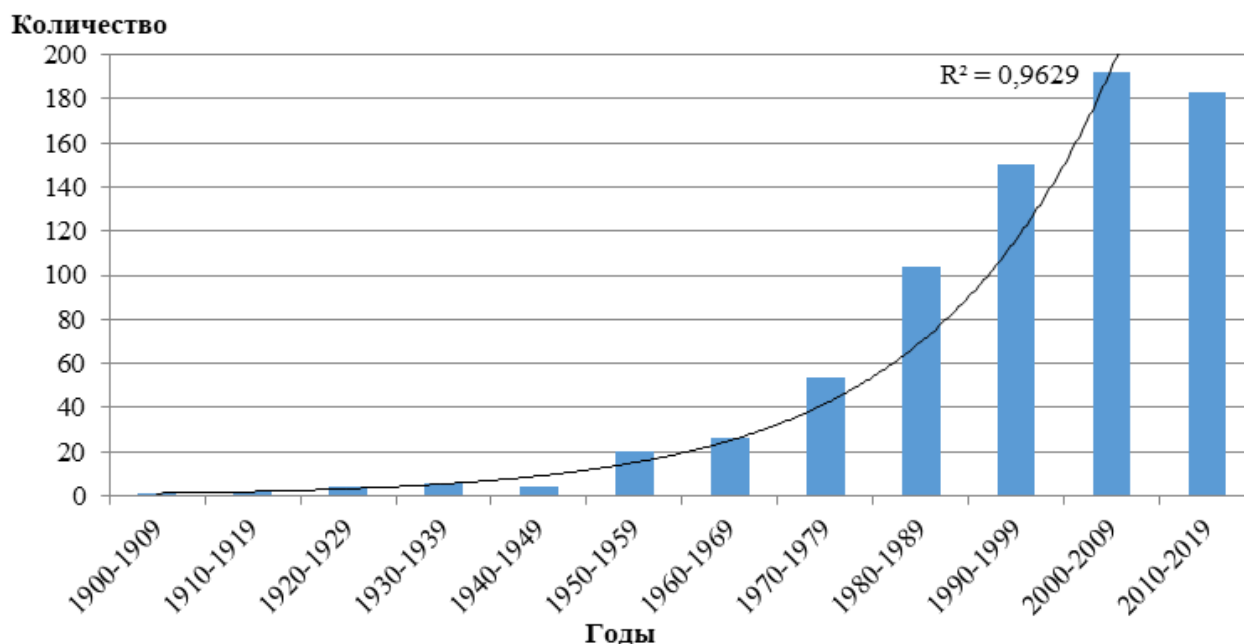


Рис. Изменение количества оползней в мире с 1900 по 2019 год

#### 4. Адаптация к изменениям климата систем связи и автоматики

В перечне приоритетных адаптационных мероприятий не отмечена адаптация систем связи и автоматики, в том числе электронного оборудования, которое испытывает значительные перегрузки при работе в условиях повышенной температуры (например, города усиливают вызванное деятельностью человека потепление на местном уровне). Однако изменение климата повышает вероятность опасных природных процессов, которые могут инициировать техногенные чрезвычайные ситуации.

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 [5–9]. Эти температуры находятся в пределах климатологических норм температуры, а также в пределах требуемых эксплуатационных характеристик железнодорожной инфраструктуры.

Тепловое расширение также может повлиять на воздушные линии электропередач. 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, а дальнейшая урбанизация вместе с более частыми экстремально жаркими периодами увеличат силу волн жары. 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 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.

Существуют следующие причины отказов связанных с последствиями климатических изменений для объектов транспортной инфраструктуры.

- большинство происшествий, связанных с жарой, происходит в период с начала до середины лета, а затем снижается, несмотря на то, что температура остается высокой. Это связано с исправлением 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 отказов вследствие перегрева.

- 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 при перевозке пассажиров и грузов.

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

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.



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.

## **5. Подготовка кадров для реализации плана адаптации к изменениям климата в области транспорта**

Однако климатический кризис формирует перед обществом вызовы, ответ на которые требует комплексного подхода, и включает не только организационные и технические задачи, но и изменение в образовательных подходах.

В п. 16 Национального плана первого этапа адаптации к изменению климата [1] отмечена необходимость включения знаний об изменении климата и адаптации человека и экономики в федеральные государственные образовательные стандарты (ФГОС) общего и среднего профессионального образования для просвещения детей и молодежи по вопросам адаптации к изменениям климата.

В настоящее время «применение географических знаний для самостоятельного оценивания уровня безопасности окружающей среды, адаптации к изменению ее условий: оценивать уровень безопасности окружающей среды, адаптации к изменению ее условий, в том числе на территории России; оценивать влияние последствий изменений в окружающей среде на различные сферы человеческой деятельности на региональном уровне; сопоставлять, оценивать и аргументировать различные точки зрения по актуальным экологическим и социально-экономическим проблемам мира и России» приведено только во ФГОС среднего общего образования (10–11 класс) [10]. При этом вопросы профессионального обучения, разработки инженерных решений и научное обоснование подходов к адаптации не фигурируют в ФГОС среднего профессионального образования; высшего образования по направлениям подготовки бакалавриата, специалитета, магистров; высшего образования по направлениям подготовки кадров высшей квалификации.

К образованию в области изменения климата следует подходить на институциональном уровне, то есть коллективному переключению внимания на текущую и прогнозируемую климатическую обстановку, с принятием коллективных действий [11].

В том числе необходимо принять меры, необходимые для подготовки выпускников высшего образования по профессиям, актуализированным в соответствии с условиями изменяющегося климата (например, образовательные программы: 08.03.01 Строительство; 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника; 20.03.01 Техносферная безопасность; 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов; 08.05.01 Строительство уникальных зданий сооружений; 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства; 23.05.03 Подвижной состав железных дорог; 23.05.04 Эксплуатация железных дорог; 23.05.05 Системы обеспечения движения поездов; 23.05.06 Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей). Высшее образование является первой ступенью в профессиональном развитии инженера, однако инженерное образование формирует профессиональные навыки, которые продолжают развиваться на протяжении всей профессиональной деятельности, отвечая на вызовы современного мира.

## **6. Рассмотрение технологий поглощения парниковых газов как мер по адаптации к изменениям климата в области транспорта**

Наличие связи между программами адаптации и мерами сокращения выбросов парниковых газов позволит расширить возможности реагирования на изменения прогнозов представленных в сценарной структуре [3], а также позволяет управлять факторами климатического риска. В качестве одного из путей адаптации или смягчения последствий изменения климата в плане адаптации в области транспорта может быть рассмотрена разработка и внедрение технологий поглощения выбросов парниковых газов [12–15]. Виды технологий поглощения парниковых газов, которые могут быть внедрены в транспортную отрасль, могут быть отнесены к общим категориям следующим образом:

**1. Лесоразведение и лесовосстановление** поглощает углекислый газ в процессе роста лесов. Преимуществом данной технологии является то, что это известная технология, и она может быть реализована с низкими затратами. Однако необходимо учитывать, что для поглощения значительного количества углекислого газа требуются большие площади лесов. При этом существует угроза высвобождения запасенного в древесине углерода при нарушении технологий посадки. Возможны выбросы закиси азота при внесении удобрений для стимулирования роста лесов. Также необходима защита лесов от природных пожаров. В засушливых районах потребность в воде также может быть значимым лимитирующим фактором.

**2. Производство биоэнергии с улавливанием и хранением углерода (BECCS).** Данная технология заключается в том, что биомасса накапливающая углерод во время роста хранит его в виде органического материала. Данная биомасса может сжигаться на электростанциях (или преобразовываться в другие виды энергии), производя электричество. При этом, углекислый газ образующийся при сжигании улавливается и захоранивается. Биомасса может использоваться для производства водорода, биотоплива или биогаза. Данная технология реализована на демонстрационных моделях, но ее эффективность должна оцениваться в каждом конкретном случае.

**3. Прямое улавливание  $CO_2$  из окружающего воздуха и хранение (DACCS).** Значительная часть антропогенных выбросов парниковых газов происходит из распределенных источников. Зачастую улавливание данных выбросов в источнике является эффективным и нецелесообразным. Для удаления данных выбросов можно производить улавливание углекислого газа непосредственно из окружающего воздуха. Реализация технологии прямого улавливания из атмосферы требует источник энергии и/или тепла с минимальным углеродным следом, что накладывает ограничение на выбор подходящего места расположения территориями, где есть доступ к такому источнику. При прямом улавливании используется сорбент для поглощения углекислого газа в твердой или жидкой фазе. После поглощения углекислого газа, сорбент регенерируется с выделением высококонцентрированного углекислого газа с его дальнейшей транспортировкой и захоронением. Например, в подземных пустотах, из которых идет добыча углеводородов, с последующим закачиванием в горные породы.

Так как **улавливание и хранение углерода (CCS)** выступает в качестве компонента в категориях 2 и 3, приведенных выше, а также является технологией прямого смягчения воздействия со стороны точечных источников выброса углекислого газа, данная технология может рассматриваться как отдельная технология отрицательных выбросов [12].

## **7. Инклюзивность при разработке мероприятий по адаптации к изменениям климата в области транспорта**

Цель 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.

Взаимодействие с заинтересованными сторонами (владельцы инфраструктуры, смежные организации, органы исполнительной власти и местного самоуправления) здесь имеет решающее значение, поскольку

объекты инфраструктуры являются частью взаимозависимой системы, при этом отказ смежной сети инфраструктуры (например, электроснабжения) связанный с погодными условиями может повлиять на транспортную инфраструктуру. Внешние заинтересованные стороны также могут предоставить информацию об уязвимости управляемых ими объектов при реализации климатических рисков.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенная оценка показала, что в ряде случаев негативным фактором влияния при оценке климатического риска может служить не сам опасный природный процесс, а инициируемое им природное или техногенное явление, которое, в свою очередь, воздействует на тот или иной объект транспортной инфраструктуры. Анализируя факторы климатического риска, необходимо определить все возможные объекты воздействия риска (объект, находящийся под воздействием опасного явления, неблагоприятных условий погоды, аномальных климатических условий). При этом увеличение ущерба определяется не только факторами климатического риска, но и уязвимостью объектов транспортной инфраструктуры. Уязвимость определяется как значительной степенью износа объектов, так и имеющимися отклонениями от строительных норм и правил. Кроме того уязвимость ярко проявляется у объектов, расположенных на территориях находящихся в зоне повышенного климатического риска.

Учет предложений по совершенствованию плана адаптации к изменениям климата в области транспорта позволит обеспечить необходимое финансирование мероприятий по адаптации, провести оценку климатических рисков для объектов транспорта с учетом априорной вероятности неблагоприятных событий, учесть растущее влияние экзогенных геологических процессов на транспортные объекты, акцентировать внимание на уязвимости к изменениям климата систем связи и автоматики на транспорте, обеспечить необходимый уровень профессиональной подготовки кадров для реализации плана адаптации, включить технологии поглощения парниковых газов в деятельность отрасли и обеспечить участие в разработке мероприятий по адаптации к изменениям климата в области транспорта всех заинтересованных сторон.

**Авторы заявляют, что:**

1. У них нет конфликта интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Национальный план мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 года. [Nacional'nyj plan meropriyatij pervogo etapa adaptacii k izmeneniyam klimata na period do 2022 goda [Internet]. (In Russ.)]. Доступно по: <http://static.government.ru/media/files/OTrFMr1Z1sORh5NIx4gLUsdgGHyWIAqy.pdf> Ссылка активна на 20.03.2023.
2. План адаптации к изменениям климата в области транспорта. [Plan adaptacii k izmeneniyam klimata v oblasti transporta [Internet]. (In Russ.)]. Ссылка активна на 20.03.2023. Доступно по: <https://mintrans.gov.ru/documents/9/11749?type=>
3. Pörtner H-O, Roberts DC, Tignor M, et al. IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cambridge University Press*. 2023;3056 doi:10.1017/9781009325844
4. Emergency Events Database. [Emergency Events Database [Internet]. Ссылка активна на 20.03.2023. Доступно по: <http://www.emdat.be>
5. 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. Soc.* 2016;8:177-191. doi: 10.1175/wcas-d-15-0068.1
6. Ferranti E, Chapman L, Lee S, et al. The hottest July day on the railway network: Insights and thoughts for the future. *Meteorol. Appl.* 2017;25:195-208. doi: 10.1002/met.1681
7. Chapman L, Huan X, Sanderson V, White S. Modelling of rail surface temperatures: A preliminary study. *Theor. Appl. Climatol.* 2008;92:121-131. doi: 10.1007/s00704-007-0313-5
8. Dobney K, Baker C, Quinn A, Chapman L. 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;16:245-251. doi: 10.1002/met.114
9. 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.* 2010;224:25-34. doi: 10.1243/09544097JRRT292
10. Федеральный государственный образовательный стандарт среднего общего образования. [Federal'nyj gosudarstvennyj obrazovatel'nyj standart srednego obshchego obrazovaniya [Internet]. (In Russ.)]. Ссылка активна на 20.03.2023. Доступно по: <https://base.garant.ru/70188902/8ef641d3b80ff01d34be16ce9bafc6e0/>
11. Axelithioti P, Fisher RS, Ferranti EJS, et al. What Are We Teaching Engineers about Climate Change? Presenting the MACC Evaluation of Climate Change Education. *Educ. Sci.* 2023;13:153. doi: 10.3390/educsci13020153
12. Ахтямов Р.Г., Мещерякова Н.А. Реализация подходов к сокращению выбросов парниковых газов в железнодорожной отрасли // Безопасность жизнедеятельности. – 2023. – № 2 (266). – С. 20–25. [Akhtyamov RG, Mescheriakova NA. Implementation of approaches to reduce greenhouse gas emissions in the railway industry. *Life safety*. 2023;2(266):20-25. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 20.03.2023. Доступно по: <https://foto.tgpi.ru/lib/2023/podpis/02/bzhd2.pdf>
13. Titova T, Akhtyamov R, Nasyrova E, Elizaryev A. Methodical approaches for durability assessment of engineering structures in cold regions. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2020;49:473-478. doi: 10.1007/978-981-15-0450-1\_49
14. Nasyrova E, Elizaryev A, Aksenov S, et al. Geoenvironmental assessment of urban water bodies. *E3S Web of Conferences*. 2019;110:02045. doi: 10.1051/e3sconf/201911002045



15. Ershova S, Orlovskaya T, Panfilova E. Study of Life Quality and Urban Environment Quality in Russian Megapolises. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018;463(4):042040. doi: 10.1088/1757-899X/463/4/042040

**Сведения об авторах:**

**Титова Тамила Семеновна**, доктор технических наук, профессор;  
eLibrary SPIN: 1558-5811; ORCID: 0000-0002-9328-0835  
E-mail: titova@pgups.ru

**Ахтямов Расул Гумерович**, кандидат технических наук, доцент;  
eLibrary SPIN: 2812-3782; ORCID: 0000-0002-3664-1147;  
E-mail: ahtamov\_zchs@mail.ru

**Мещерякова Наталья Артемовна**, магистрант;  
eLibrary SPIN: 2501-4268; ORCID: 0000-0001-8732-219X  
E-mail: stella\_2000@inbox.ru

**Information about the authors:**

**Tamila Titova**, Doctor of Technical Sciences;  
eLibrary SPIN: 1558-5811; ORCID: 0000-0002-9328-0835  
E-mail: titova@pgups.ru

**Rasul Akhtyamov**, Candidate of Technical Sciences;  
eLibrary SPIN: 2812-3782; ORCID: 0000-0002-3664-1147;  
E-mail: ahtamov\_zchs@mail.ru

**Natalia Mescheriakova**, Student;  
eLibrary SPIN: 2501-4268; ORCID: 0000-0001-8732-219X  
E-mail: stella\_2000@inbox.ru

**Цитировать:**

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

**To cite this article:**

Titova TS, Akhtyamov RG, Mescheriakova NA. Ways to improve climate change adaptation plan of the transport. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2023;9(2):5-18. doi: 10.17816/transsyst2023925-18