

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ
ИЗМЕНЕНИЙ НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ ЛИНЕЙНЫХ И
НЕЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ
ИНФРАСТРУКТУРЫ**

Руководитель управления **А.С. Кузнецова**,
заместитель директора **М.В. Кудинкина**,
первый заместитель директора **В.В. Мурашов**
(ФГБУ «НЦКТП Минтранса России»)
Конт. информация: ask@mintrans.org

В статье рассматриваются вопросы влияния глобальных изменений климата на объекты транспортной инфраструктуры и их адаптации к климатическим изменениям. Обобщены данные об изменении количества дней с отрицательными температурами воздуха, количестве переходов температуры воздуха через 0 °С, количестве дней с аномально высокими температурами воздуха.

На большей части территории России во все сезоны года происходит увеличение числа дней с аномально высокими температурами воздуха и сокращение количества дней с отрицательными среднесуточными температурами. Отмечено увеличение в 1,5 раза количества переходов температуры воздуха через 0 °С.

Ключевые слова: транспортная инфраструктура, автомобильные дороги, дорожное хозяйство, климат, среднесуточная температура воздуха, переход через 0 °С, адаптация, опасные природные явления.

Климатические изменения являются одним из наиболее существенных факторов, влияющих на транспортно-эксплуатационные характеристики объектов транспортной инфраструктуры, условия эксплуатации путей сообщения, функционирование транспортных средств, а также на условия строительства объектов транспортной инфраструктуры.

Вследствие климатических изменений, в том числе оттаивания многолетнемерзлых грунтов, значительная часть объектов транспортной инфраструктуры подвержены риску полной или частичной утраты функциональности.

Под угрозой повреждения могут оказаться крупные объекты транспортной инфраструктуры, обеспечивающие функционирование международных транспортных коридоров, проходящих по территории Российской Федерации.

Вследствие разрушения инфраструктуры могут быть нарушены транспортные связи по ключевым транспортным артериям внутри страны, что приведет не только к потере пространственной связанности территорий и повлечет ухудшение экономической ситуации в стране, но и обусловит возникновение ситуаций, способных повлечь за собой человеческие жертвы.

Кроме того, из-за подверженности климатическим изменениям и связанными с ними разрушениями линейных и нелинейных объектов транспортной инфраструктуры двойного назначения могут реализоваться риски национальной безопасности.

Таяние льдов в Северном Ледовитом океане может открыть для судоходства новые маршруты, но при этом повлечь за собой изменения спроса и предложения на рынке региональных перевозок. Возможны также значительные изменения в сроках и процессах замерзания и вскрытия рек и водоемов. С одной стороны, эти изменения способствуют заметному продлению времени речного судоходства, с другой стороны, сокращают период и возможности доставки грузов в труднодоступные районы по зимним автомобильным трассам, проложенным по замерзшим руслам крупных рек.

Возможные последствия изменения климата необходимо принимать во внимание уже на стадии проектирования объектов и планирования их обслуживания и учитывать в оценках рисков и факторов уязвимости.

В мировом контексте важность обеспечения устойчивости транспортной инфраструктуры к изменениям климата была отмечена в принятой Ассамблеей Организации Объединенных Наций по окружающей среде 15.03.2019 г. *Резолюции об устойчивой инфраструктуре* и в докладе *Глобальной комиссии по адаптации к изменению климата 2019 года*, содержащем конкретные выводы и рекомендации в отношении устойчивой инфраструктуры и управления рисками стихийных бедствий.

По данным Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) [1], за период 2010–2020 гг. зафиксировано более 4400 случаев гидрометеорологических явлений повышенной опасности.

При этом в 2020 г. на территории Российской Федерации зафиксировано около 1000 опасных гидрометеорологических явлений, что на 10 % больше показателей 2019 г. Следует отметить, что 372 из таких явлений нанесли значительный ущерб отраслям экономики и жизнедеятельности населения.

В случае сохранения текущих тенденций по ежегодному увеличению количества опасных погодных явлений уже к концу текущего десятилетия ежегодно на территории Российской Федерации будет наблюдаться не менее 2500 подобных явлений, а к 2035 году – более 4000.

За последние 5 лет среди всех опасных гидрометеорологических явлений – ливни, паводки и оползни составили 74 %; повышение температуры, аномальная жара – 16 %; резкое изменение температуры (как в положительном, так и отрицательном температурном диапазоне), таяние многолетнемерзлых грунтов – 10 %.

Изменение частоты и интенсивности опасных явлений, в том числе ураганов, бурь, метелей, шквалистого ветра, может привести к повреждению ограждений и дорожных конструкций (включая дорожные знаки и светофорное оборудование) на автомобильных дорогах, перекрытию мостов, возникновению препятствий для движения вследствие падения линий электропередач/деревьев.

Повышение средних температур воздуха и таяние многолетнемерзлых грунтов приводит к сокращению продолжительности зимнего строительного сезона в северных регионах и, соответственно, сроков эксплуатации зимних автомобильных дорог (автозимников) в связи со снижением их целостности, а также деформации дорожного полотна, нестабильности склонов и разрушению насыпей (провалам).

В настоящее время наблюдается рост опасных гидрометеорологических явлений, оказывающих влияние на движение автомобильного транспорта и работу дорожных служб. Функционирование автомобильного транспорта связано с эффективным решением таких ключевых задач, как зимнее содержание дорог, а также обеспечение безопасности и бесперебойности движения в сложных погодных условиях.

Согласно данным, представленным Росгидрометом [2], ожидается, что повторяемость формирования условий, способствующих образованию скользкости на дорогах к середине XXI века возрастет.

На **рис. 1** показано, что для большей части центральной России число дней с обледенением автомобильных дорог составит от 12 до 18 в год.

Одним из факторов, влияющих на образование скользкости на дорогах, а также целостности зданий и сооружений, в том числе объектов транспортной инфраструктуры, является частый перепад температур, в особенности с переходом через точку замерзания воды.

Практически на всей территории европейской части России фиксируется рост числа дней с переходом температуры воздуха через 0 °С в период с ноября по март.

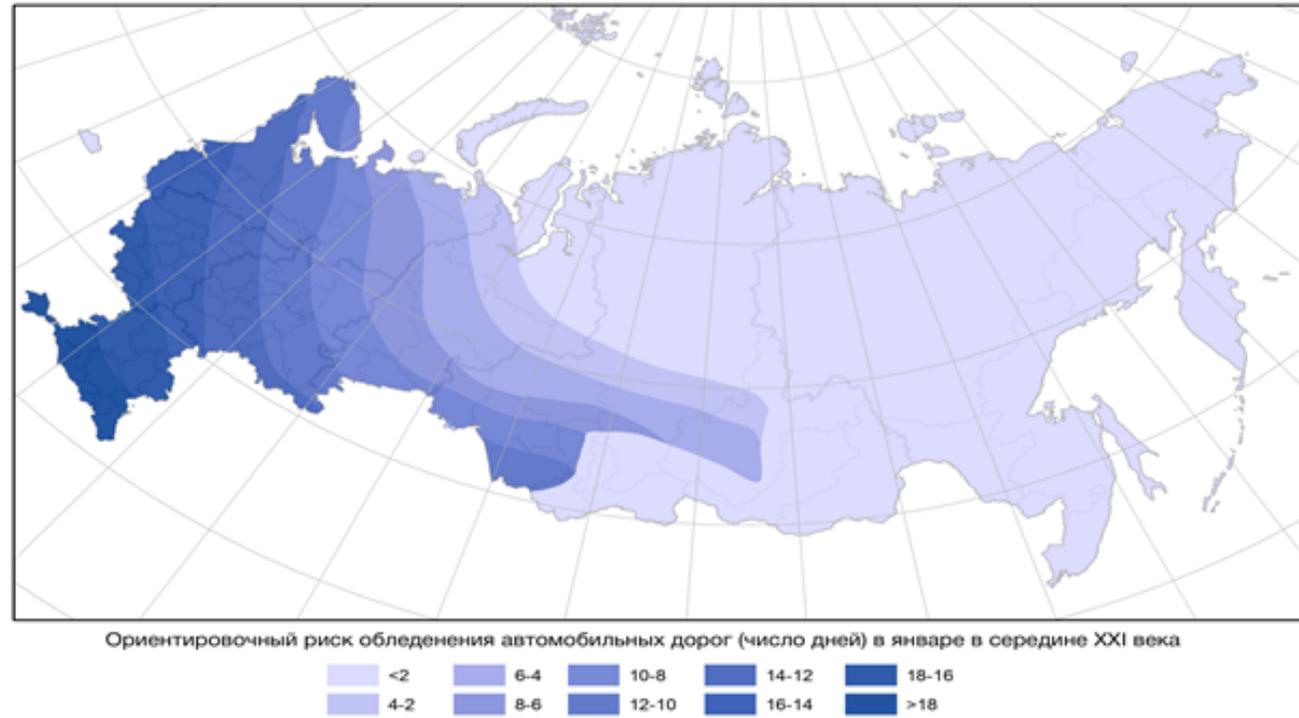


Рис. 1. Прогнозируемый риск обледенения автомобильных дорог (число дней) в январе в середине XXI века

По результатам анализа сведений о количестве переходов температуры воздуха через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ за период 2010-2020 гг. по субъектам Российской Федерации наблюдается увеличение в 1,5 раза количества таких переходов. Наиболее существенные аномалии отмечаются в Центральном (увеличение на 520 случаев), Северо-Западном (на 253), Приволжском (на 222), Южном (на 217) и Северо-Кавказском (на 202) федеральных округах (**рис. 2**).

Практическая опасность увеличения частоты данного явления состоит в физических процессах, происходящих при многократном повторении цикла «оттаивание-замерзание»: попавшая в микротрещины жидкость, переходя из жидкого состояния в твердое, возрастает в объеме на 10 %, что постепенно увеличивает размер таких трещин и обуславливает нарушение целостности зданий и сооружений, в том числе разрушение покрытия автомобильных дорог и опор мостовых сооружений. Из-за более частых циклов «оттаивание-замерзание» снижается грузоподъемность проезжей части и функционирование дороги в целом.

Несмотря на общую тенденцию к увеличению количества переходов температуры воздуха через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ в отдельных субъектах Российской Федерации отмечается сокращение количества переходов температуры воздуха через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$: Ленинградская область (сокращение на 25 случаев); Ямало-Ненецкий автономный округ, Республика Башкортостан (на 6); Сахалинская область (на 4); Приморский край (на 3), Чукотский автономный округ, Курганская и Тюменская области (на 2); Новосибирская область (на 1). При этом в таких регионах указанные тенденции коррелируют со стабильным повышением температурных показателей и сокращением количества дней с отрицательными температурами (**рис. 3**): Ленинградская область (количество дней с отрицательными температурами воздуха сократилось на 73 дня в 2020 г. по сравнению с 2010 г.); Ямало-Ненецкий автономный округ (на 12); Республика Башкортостан (на 14); Сахалинская область (на 2), Приморский край (на 22); Чукотский автономный округ (на 18); Курганская область (на 9); Тюменская область (на 12).

Увеличение количества переходов температуры через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ может привести к увеличению циклов «оттаивание-замерзание», сокращению межремонтных сроков и сроков службы дорожных одежд автомобильных дорог.

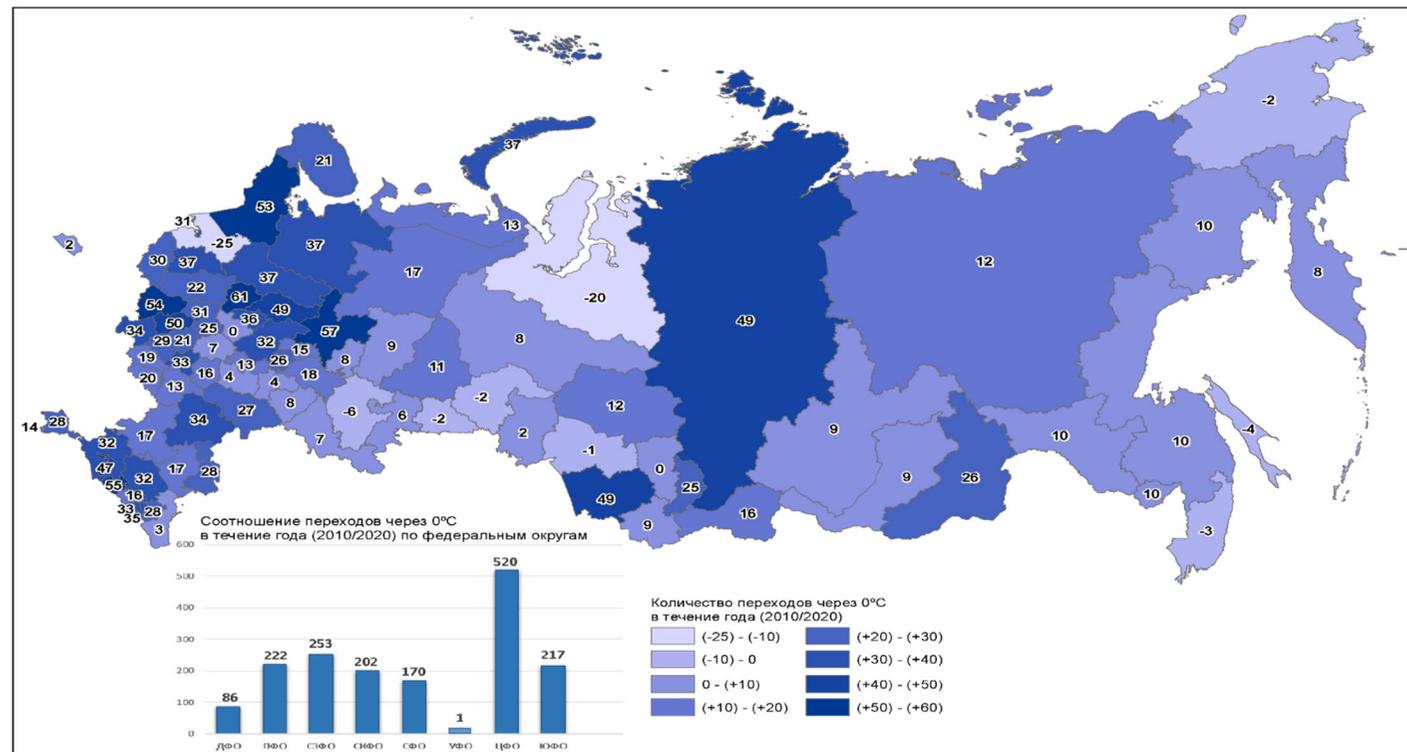


Рис. 2. Аномалии изменения количества переходов температуры воздуха через 0 °С в субъектах и федеральных округах Российской Федерации за период 2010-2020 гг.

Проведенный анализ данных об изменении количества дней с отрицательными среднесуточными температурами за 2010-2020 гг. показал, что наибольшее сокращение количества дней с отрицательными среднесуточными температурами (свыше 40 дней) отмечено в Калининградской (89 дней), Ленинградской (73), Новгородской (69), Псковской (71), Иркутской (47), Московской (44), Смоленской (41) областях и Республике Карелия (42). Увеличение количества дней с отрицательными среднесуточными температурами воздуха зафиксировано в следующих регионах: Кировской (9) и Астраханской (2) областях, Республиках Калмыкия (2) и Северная Осетия-Алания (15), Ставропольском крае (7) (рис. 3). Наиболее существенные аномалии наблюдаются в Северо-Западном федеральном округе.

На большей части территории России во все сезоны года происходит увеличение числа дней с аномально высокими температурами воздуха, наиболее значительный рост наблюдается летом, особенно на азиатской части России.

В связи с повышенными температурами воздуха в теплый период возможно снижение устойчивости дорожного покрытия к воздействию от движения тяжеловесных транспортных средств, а также возникновение пожаров на прилегающих к автомобильным дорогам лесных и степных участках.

Анализ климатических параметров осуществлялся за период 2010-2020 гг. по массивам данных о средних суточных, максимальных и минимальных температурах воздуха, публикуемым Всероссийским научно-исследовательским институтом гидрометеорологической информации – Мировым центром данных (ВНИИГМИ-МЦД) [3].

Наблюдающееся в последние десятилетия расширение площадей распространения деструктивных криогенных процессов сопровождается разрушением дорожных покрытий и коммуникаций, деформациями насыпей и фундаментов сооружений, а также увеличением зон заболачивания [4].

Оценки состояния и тенденций изменений температуры, снежного покрова, осадков, морского льда, ледников, ледяных щитов и многолетнемерзлых грунтов, а также прогнозы их изменения особенно важны для транспортной инфраструктуры в арктических регионах.

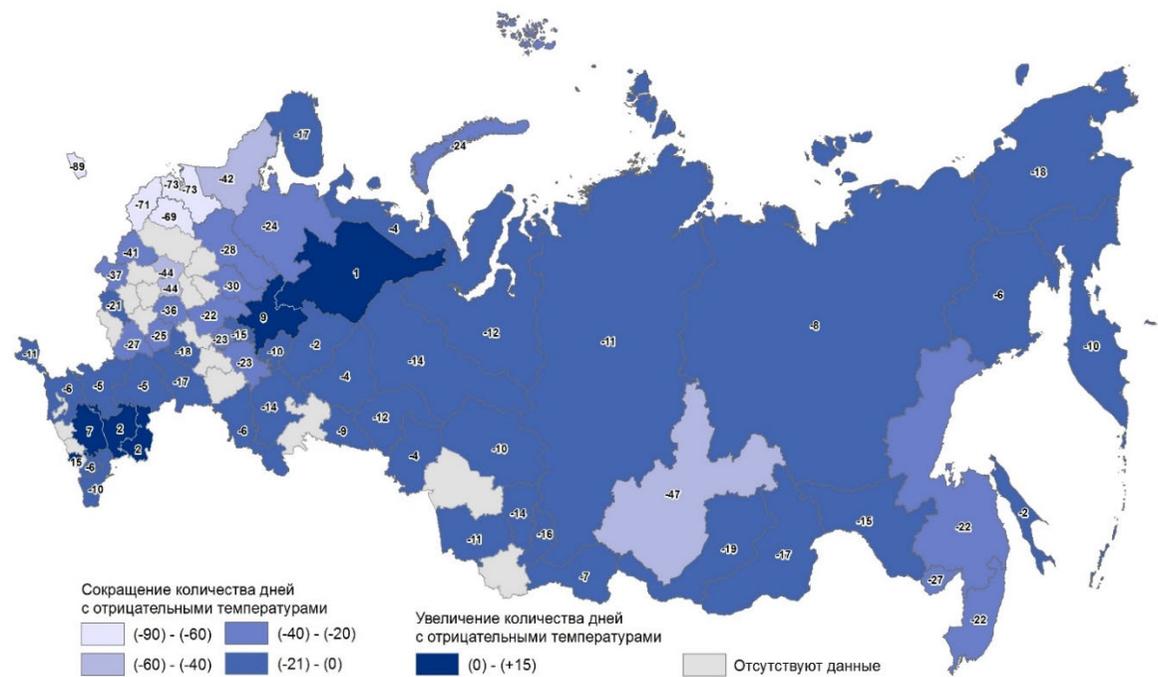


Рис. 3. Изменение количества дней с отрицательной среднесуточной температурой воздуха за 2010-2020 гг.

По данным Федеральной службы государственной статистики (Росстат), на начало 2021 г. протяженность автомобильных дорог общего пользования местного значения на территории Арктической зоны Российской Федерации составляло свыше 9 тыс. км, другие дороги – 11,3 тыс. км.

Большая часть объектов арктической инфраструктуры потенциально находится под угрозой частичного или полного разрушения, поскольку расположена в районах, где к середине XXI века прогнозируется таяние приповерхностной вечной мерзлоты. При сплошном распространении многолетнемерзлых грунтов земляное полотно необходимо предусматривать совместно с противоналедными устройствами (мерзлотным грунтовым поясом, водонепроницаемым экраном и др.), активизирующими наледный процесс в удалении от полотна дороги [5].

Информированность о потенциальных климатических изменениях, адекватная научная оценка связанных с ними рисков, уязвимости, а также потенциальных выгод возможностей для транспортного комплекса позволит обеспечить своевременность адаптационных мер и их адекватное применение в случае необходимости.

Следует отметить, что необходимо разработать показатели учета климатических изменений при оценке риска потерь функциональности объектов транспортной инфраструктуры в результате опасных природных явлений и использовать их в технико-экономических расчетах при проектировании, строительстве и эксплуатации дорог и объектов транспортной инфраструктуры.

ВЫВОДЫ

На основе результатов анализа климатических данных можно отметить следующее:

- увеличение в 1,5 раза количества переходов температуры воздуха через 0 °С в 2020 г. по сравнению с 2010 г. на территории Российской Федерации, при этом наиболее существенные аномалии фиксируются в Центральном, Северо-Западном, Приволжском, Южном и Северо-Кавказском федеральных округах;
- сокращение количества переходов температуры воздуха через 0 °С в нескольких субъектах Российской Федерации: Ленинградской области, Ямало-Ненецком автономном округе, Республике Башкортостан, Сахалинской области, Приморском крае, Чукотском автономном округе, Курганской и Тюменской областях, Новосибирской области, в связи со стабильным повышением

температурных показателей и сокращением количества дней с отрицательными температурами;

- наибольшее сокращение количества дней с отрицательными среднесуточными температурами: в Калининградской, Ленинградской, Новгородской, Псковской, Иркутской, Московской, Смоленской областях и Республике Карелия;
- увеличение количества дней с отрицательными среднесуточными температурами воздуха: в Кировской и Астраханской областях, Республиках Калмыкия и Северная Осетия-Алания, Ставропольском крае;
- увеличение числа дней с аномально высокими температурами воздуха во все сезоны года в большинстве регионов России.

Для обеспечения бесперебойного функционирования линейных и нелинейных объектов транспортной инфраструктуры требуется своевременно принимать меры по адаптации таких объектов к наблюдающимся и прогнозируемым изменениям климата, в том числе на этапах строительства и реконструкции.

Для предотвращения возможных последствий климатических изменений при эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры необходимо создание укрепительных сооружений и сооружений для защиты земляного полотна от опасных природных явлений, установка сезонных охлаждающих установок, ремонт водоотводных сооружений.

Кроме того, одной из первоочередных задач является организация инженерно-геокриологического мониторинга и создание инженерно-геокриологических мониторинговых стационарных постов в полосе отвода автомобильных дорог в криолитозоне.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2020 год / Росгидромет. – М., 2021. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.meteorf.ru> (дата обращения: 05.03.2022).*
2. *Оценка макроэкономических последствий изменений климата на территории Российской Федерации на период до 2030 г. и дальнейшую перспективу» / Росгидромет. – М.: Д'АРТ: Главная геофизическая обсерватория, 2011. – 252 с. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.meteorf.ru> (дата обращения: 05.03.2022).*
3. *Булыгина О.Н. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (ТТТТ) / О.Н. Булыгина, В.Н. Разуваев,*

- Т.М. Александрова [Электронный ресурс]. – URL: <http://meteo.ru>. (дата обращения: 05.03.2022).
4. Колтышева А.Р. Экологические проблемы функционирования инфраструктуры северных городов / А.Р. Колтышева, А.С. Маршалкович // *Строительство: наука и образование*. – 2013. – Вып. 4. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.nso-journal.ru>. (дата обращения: 05.03.2022).
 5. СП 34.13330.2021 «СНиП 2.05.02-85* Автомобильные дороги» [Электронный ресурс]. – URL: www.garant.ru (дата обращения: 05.03.2022).

L I T E R A T U R A

1. *Obzor sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchej sredy v Rossijskoj Federacii za 2020 god / Rosgidromet*. – М., 2021. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.meteorf.ru> (дата обращения: 05.03.2022).
2. *Ocenka makroekonomicheskikh posledstvij izmenenij klimata na territorii Rossijskoj Federacii na period do 2030 g. i dal'nejshuyu perspektivu* / Rosgidromet. – М.: D'ART: Glavnaya geofizicheskaya observatoriya, 2011. – 252 s. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.meteorf.ru> (дата обращения: 05.03.2022).
3. Bulygina O.N. *Opisanie massiva dannyh sutochnoj temperatury vozduha i kolichestva osadkov na meteorologicheskikh stanciyah Rossii i byvshego SSSR (TTTR)* / O.N. Bulygina, V.N. Razuvaev, T.M. Aleksandrova [Электронный ресурс]. – URL: <http://meteo.ru>. (дата обращения: 05.03.2022).
4. Koltysheva A.R. *Ekologicheskie problemy funkcionirovaniya infrastruktury severnyh gorodov* / A.R. Koltysheva, A.S. Marshalkovich // *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie*. – 2013. – Вып. 4. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.nso-journal.ru>. (дата обращения: 05.03.2022).
5. СП 34.13330.2021 «СНиП 2.05.02-85* Автомобильные дороги» [Электронный ресурс]. – URL: www.garant.ru (дата обращения: 05.03.2022).

.....
**CLIMATE CHANGES AND THEIR IMPACT ON THE OPERATION OF
LINEAR AND NON-LINEAR OBJECTS OF TRANSPORT
INFRASTRUCTURE**

*Head of Division A.S. Kuznetsova,
Deputy Director M.V. Kudinkina,
First Deputy Director V.V. Murashov
(FSBI «Research and Analysis Centre for Integrated
Transport Solutions» of the Ministry of Transport of
the Russian Federation)
Contact information: ask@mintrans.org*

*The article discusses the issues of the impact of global climate changes on transport infrastructure objects and their adaptation to climate change. The data on the change in the number of days with negative air temperatures, the number of air temperature transitions through 0 °C have been summarized. In most of the territory of Russia in all seasons of the year there is an increase in the number of days with abnormally high air temperatures and a decrease in the number of days with negative average daily temperatures. The increase of 1,5 times in the number of air temperature transitions through 0°C is noted. **Key words:** transport infrastructure, roads, road facilities, climate, average daily air temperature, transition through 0 °C, adaptation, dangerous natural events.*

Рецензент: канд. техн. наук А.В. Бобков (ФАУ «РОСДОРНИИ»).
Статья поступила в редакцию: 15.08.2022 г.