

*П.А. Царегородцев, С.И. Макашева*

<sup>1</sup> *Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск*

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ НА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

**Аннотация.** Проблема климатических изменений, а именно глобального потепления, становится актуальнее с каждым годом. Аномальные природные явления, рекордно низкие и рекордно высокие температуры, оказывающие влияние на энергетическую отрасль, требуют не только повышенного внимания, но и постепенной адаптации. Целью работы является разносторонняя оценка влияния глобального потепления как одного из наиболее ярко выраженных аспектов климатических изменений на работу систем электроснабжения железнодорожного транспорта. На основании анализа работ исследователей в различных областях наук проведена систематизация факторов негативного влияния и даны конкретные примеры их проявления для систем электроснабжения железных дорог.

**Ключевые слова:** глобальное потепление, климатические изменения, система электроснабжения электрифицированные железные дороги

*P. A. Tsaregorodtsev<sup>1</sup>, S. I. Makasheva<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, Russia*

## **GLOBAL WARMING IMPACT ON RAILWAY POWER SUPPLY SYSTEMS**

**Abstract.** The problem of climate change, namely global warming, is becoming more urgent every year. Abnormal natural phenomena, record low and record high temperatures affecting the energy industry require attention and adaptation to them. The aim of the work is to assess the aspects of the impact of global warming as one of the pronounced aspects of climate change on the operation of railway power supply systems. Based on the analysis of researchers in various fields of science, it is necessary to systematize the aspects of negative influence, consider their manifestations on electrified railways.

**Keywords:** global warming, climate change, railway power supply system, electrified railways

### **Введение**

Проблема изменения климата на Земле становится актуальнее с каждым годом. Общеизвестно, что в разных частях планеты нередко наблюдаются аномальное количество выпавших осадков, появление мощных циклонов, колебания температур в широких диапазонах: от рекордно низких до рекордно высоких и т.п. Под изменением климата понимают долгосрочные температурные изменения и изменение погодных условий, что может быть вызвано естественными изменениями в активности Солнца или крупными извержениями вулканов. Однако, согласно экспертному мнению специалистов, с 1800-х годов антропогенная деятельность человека является основным движущим фактором изменения климата, главным образом за счет сжигания ископаемых видов топлива, таких как уголь, нефть и газ [1-3].

Глобальным потеплением называется процесс долгосрочного повышения средней температуры климатической системы Земли, что приводит к изменению режима выпадения осадков и температурным аномалиям. В результате увеличивается частота экстремальных событий (ураганов, наводнений, засух, циклонов), наносящих значительный материальный ущерб. Различные аспекты влияния энергетического сектора на климатические изменения достаточно широко рассматриваются научным сообществом, однако, оценке влияния проявлений глобального потепления на работу электроэнергетических объектов уделяется значительно меньшее внимание.

Одной из наиболее зависимых от климата отраслей экономики является транспортный сектор, а железнодорожный транспорт и его электроэнергетическая инфраструктура в силу особенностей расположения объектов и значительной протяженности линий в значительной степени уязвимы к экстремальным проявлениям глобального потепления. В этой связи, задачей настоящего исследования является разносторонняя оценка влияния глобального потепления как одного из наиболее ярко выраженных аспектов климатических изменений на работу систем электроснабжения железнодорожного транспорта. На основании анализа работ исследователей в различных областях наук необходимо выполнить систематизацию факторов негативного влияния климатических изменений применительно к системам электроснабжения железных дорог.

### Глобальное потепление: экспертные прогнозы и регулирующие документы

Эксперты в области экологии регулярно заявляют о том, что климатические изменения не стоит недооценивать, а человечеству должно не только изучать, но и своевременно принимать меры по адаптации технических систем к проявлениям климатических изменений. Климатические изменения затрагивают все сферы жизни человека: экологическую, социальную и экономическую, поскольку они являются причиной угрозы безопасности пищевого снабжения, водных ресурсов, здоровья населения, экономической устойчивости, геополитических и конкурентных балансов. Проявления глобального потепления активно изучаются, оцениваются, прогнозируются учеными и исследователями всех стран мира. Совместными усилиями Всемирной метеорологической организации и Организации Объединённых Наций в 1988 году была создана межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК). Деятельность МГЭИК заключается в обеспечении мировой общественности наиболее полной и достоверной информацией по всему спектру проблем.

В настоящее время согласно шестому докладу МГЭИК заявлено, что изменения климата широкомасштабны и происходят крайне быстро. При этом, средняя температура приземного слоя планеты за последние 50 лет выросла на  $1,5^{\circ}\text{C}$ , как показано на рис.1, что вызвало усиленное таяние ледников и привело к повышению глобального среднего уровня Мирового океана за последние 30 лет на 9,5 миллиметров [1, 5, 6].

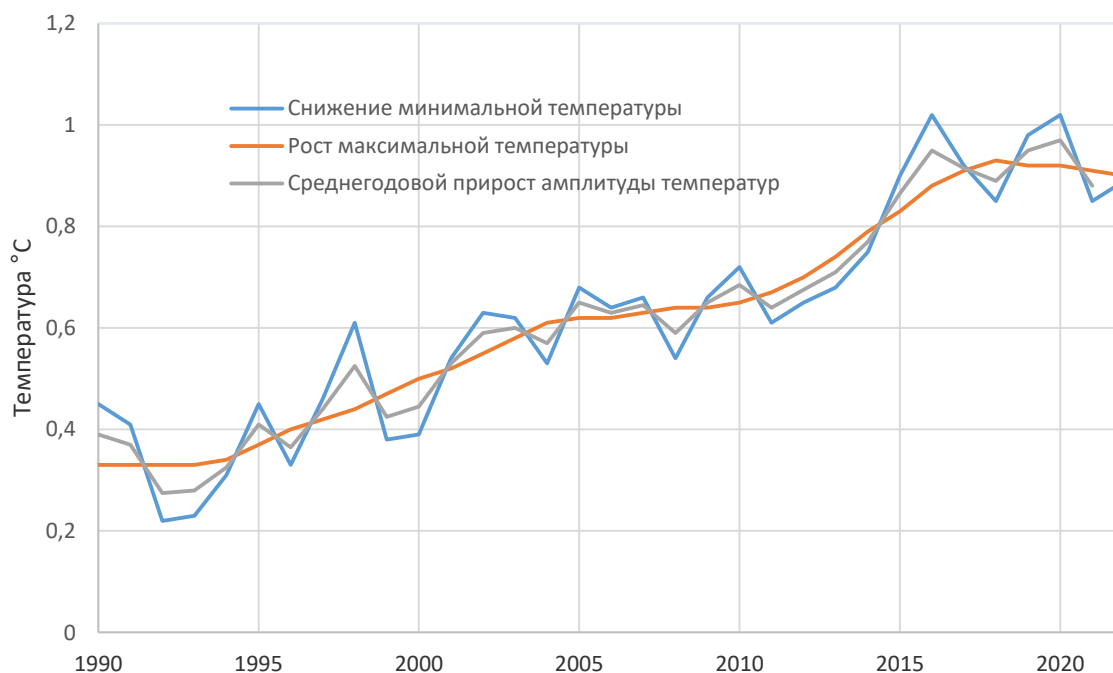
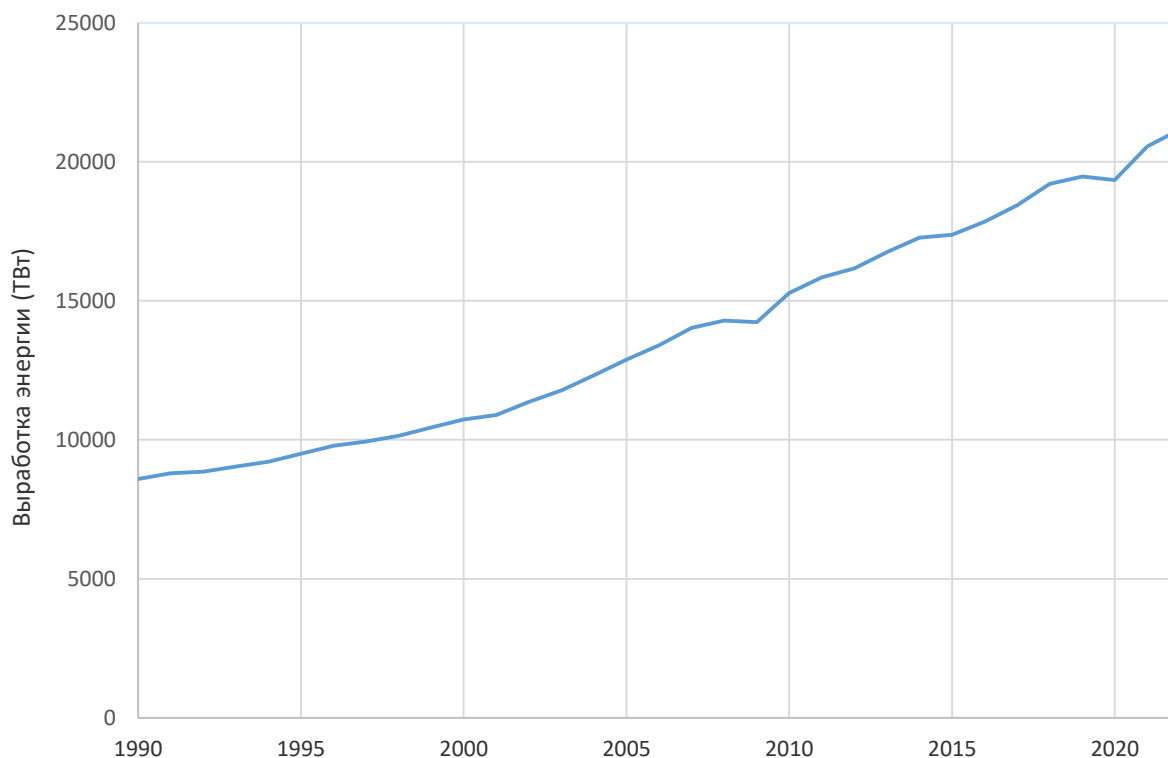


Рис. 1. Изменение среднегодовой температуры по данным сайта GLOBAL CLIMATE CHANGE [4]

По прогнозным оценкам, к 2100 году температура на планете поднимется на 2,7 °С по сравнению с доиндустриальной эпохой, что лишит более 2 млрд. человек (что составляет 22% прогнозируемого населения Земли) климатического комфорта. При этом, климатологи предупреждают, что необратимые последствия для экологии наступят уже при потеплении более чем на 2°С [2, 3, 6].

Следует отметить, что постоянные замеры температуры начались только в конце 19 века, когда в 1896 году шведский химик Сванте Аррениус предположил, что в результате выброса углекислого газа может появиться так называемый «парниковый эффект», который приведёт к увеличению температуры на нашей планете. Помимо роста температур на нашей планете, человечество за 100 лет столкнулось еще с одним вызовом – ростом потребности в электрической энергии (ЭЭ), которая в настоящее время является абсолютно необходимым ресурсом для любой отрасли промышленности и жизни человека. Ежегодно спрос на электроэнергию возрастает по причине активного развития разнообразных технологий, использующих ЭЭ для улучшений условий труда и отдыха, быта и комфорта человека. Вместе с тем, рост выработки ЭЭ традиционными электрическими станциями приводит к увеличению выброса «парниковых» газов в атмосферу, что повышает температуру окружающей среды.

Так, к примеру, как показано на рис.2, за последние тридцать лет выработка ЭЭ выросла практически в 2 раза, а характер изменения графика на рис.2 подобен характеру изменения температур из рис.1. Это вполне объяснимо, ведь повышение температуры в летние месяцы приводит к увеличению использования систем охлаждения, что требует большого объема ЭЭ. Резкое увеличение спроса на охлаждение в периоды сильной жары может привести к перегрузке энергосистемы и повышению риска возникновения отключений ЭЭ.



**Рис. 2. Среднегодовая выработка электроэнергии за период с 1990 по 2022 г. по данным energystats.enerdata.net [8]**

Глобальное потепление, повышение уровня морей и другие аномалии климата создают ряд проблем для энергетических систем, оказывая влияние на производство, транспортировку и использование различных видов энергии. Необходимо отметить, что на межгосудар-

ственном уровне за три последних десятилетия проведена большая работа, в результате которой приняты основополагающие документы в области климата и его сохранения:

- Рамочная конвенция ООН по изменению климата (1992);
- Киотский протокол (1997);
- Парижское соглашение по климату (2015).

В настоящее время на территории Российской Федерации действует Указ Президента РФ от 26.10.2023 №812 “Об утверждении Климатической доктрины Российской Федерации” [7]. Среди приоритетных научных направлений в Климатической доктрине РФ указана “разработка мер по смягчению антропогенного воздействия на климат, прежде всего в сфере производства и потребления энергии, включая организацию исследований и разработку механизмов реализации соответствующих инновационных проектов, а также оценка экономического, социального и экологического эффекта от реализации этих мер”. Таким образом, исследования степени влияния глобального потепления и уязвимости систем электроснабжения железных дорог, как одного из крупных потребителей энергии, являются актуальными.

### **Глобальное потепление: аспекты влияния на электроснабжение железных дорог**

С одной стороны, энергетическая отрасль является катализатором климатических изменений, поскольку в настоящий момент она по праву считается одним из основных источников парниковых газов, в состав которых входят CO<sub>2</sub> и метан [9]. С другой стороны, энергетическая отрасль высоко уязвима к разнообразным климатическим изменениям, поскольку объекты систем электроснабжения располагаются в воздухе, над и под землей, а также имеют значительную протяженность [10, 11].

Системы электроснабжения электрифицированных железных дорог включают в себя систему тягового электроснабжения для питания тяговых подвижных составов и систему нетягового (продольного) электроснабжения для питания потребителей систем обеспечения движения поездов (телекоммуникационные системы и сети железнодорожного транспорта).

Каждая из систем включает в себя высоковольтные воздушные линии контактной сети, низковольтные и низковольтные линии электропередачи (ЛЭП) продольного электроснабжения в воздушном и кабельном исполнении, электрические подстанции с разнообразной специфической аппаратурой и устройствами управления, защиты и автоматики. Системам тягового, так и нетягового электроснабжения железных дорог достаточно сложно реагировать на экстремальные погодные условия. Так, если неожиданное аномальное природное явление для системы внешнего электроснабжения представляется достаточно хорошо управляемым за счет имеющегося в энергосистеме резерва установленной мощности, то для тяговой сети железной дороги, не имеющей резерва в принципе в силу своей конструкции, такая ситуация будет сопровождаться перерывом в электроснабжении и остановкой перевозочного процесса.

В таблице 1 представлены результаты сравнительного анализа уязвимости (восприимчивости) различных элементов систем электроснабжения железных дорог к негативным проявлениям глобального потепления.

**Таблица 1 – Уязвимость элементов систем электроснабжения железных дорог к проявлениям глобального потепления**

| Элементы системы электроснабжения | Проявления глобального потепления: |           |       |        |
|-----------------------------------|------------------------------------|-----------|-------|--------|
|                                   | изменение температуры              |           | ветер | осадки |
|                                   | повышение                          | понижение |       |        |
| Трансформаторы                    | +++                                | +         | -     | +      |
| Провода воздушных ЛЭП             | +++                                | +++       | +++   | +++    |
| Провода кабельных ЛЭП             | +                                  | +         | -     | +++    |
| Опоры ЛЭП и контактной сети       | ++                                 | ++        | +++   | +++    |
| Изоляция                          | +++                                | ++        | ++    | ++     |

В таблице 1 наибольшему количеству знаков “+” (три) соответствует наивысшая степень зависимости от обозначенного фактора. Знак “–” означает, что зависимость практически отсутствует. Подобная оценка даже в первом приближении позволят систематизировать не только факторы риска глобального потепления, но и выделить наиболее уязвимые элементы систем электроснабжения.

Так, в регионах с наиболее теплым климатом волны жары представляют опасность для электротехнического оборудования, в первую очередь, для силовых трансформаторов тяговых подстанций, поскольку эффективность масляного охлаждения при высоких температурах снижается. Проявления изменения климата и чрезвычайные климатические явления (ураганы, наводнения, экстремальное количество осадков и т.п.) могут привести к различным негативным последствиям для электрических сетей как воздушного, так и кабельного исполнения ввиду повышенной ветровой нагрузки на опорное хозяйство, провода и тросы, арматуру и изоляцию. Резкие перепады температур в условиях межсезонья значительно осложняют работу устройств контактной сети. Низкие температуры, образование гололеда на проводах и действие ветра приводят к ухудшению условий токосяема, некоторые негативные факторы могут привести к авариям, вызывающим остановку поездов.

При низких температурах ухудшается работа контактной подвески, возрастает трение в шарнирах токоприемника, в результате чего ухудшается токосяем. Под действием порывов ветра, направленных поперёк пути, контактный провод может быть вынесен за пределы полоза токоприёмника, это приводит к повреждению токоприёмника и контактной сети. Действие ветра может вызывать не только горизонтальные, но и вертикальные перемещения, называемые автоколебаниями проводов контактной подвески.

Увеличение количества обильных осадков может оказать значительное влияние на состояние железнодорожных путей и негативно отразиться на устойчивости опор, цепей канализации обратного тягового тока, систем заземления и т.д., что может требовать более частого проведения ремонтно-восстановительных работ [11-15].

В летний период года на эксплуатацию изоляции кабельных линий и электрических аппаратов негативно влияет высокая температура, вследствие нагревания возникают медленные процессы, изменяющие структуру изоляции. При этом происходит снижение электрической и механической прочности и разрушение изоляции, то есть ускоренное её старение. Для предотвращения этого температурный режим изоляции и её увлажнением при эксплуатации должны быть объектами повышенного внимания и наблюдения. Рост температуры приводит к удлинению проводов ЛЭП и контактной сети, увеличению стрел их провеса и уменьшению расстояний между токоведущими элементами, что ухудшает условия электробезопасности.

Условия перепадов температур в широких диапазонах, когда при повышении температур происходят температурные удлинения проводов, а при понижении температуры оно сменяется сокращением длины проводов, могут вызывать недопустимые механические напряжения. Обледенение или гололедные образования, частота которых в ряде регионов возрастает с глобальным потеплением, создают значительные дополнительные механические нагрузки на элементы ЛЭП и контактной сети, к которым необходимо адаптироваться [11-15].

### **Заключение**

Невозможно ни игнорировать, ни отрицать факт наличия глобального потепления, поэтому разумной стратегией адаптации к сложившимся и изменяющимся климатическим условиям является и снижению воздействие климатических изменений на объекты электроснабжения. Произведенная в рамках настоящего исследования систематизация факторов уязвимости систем электроснабжения железнодорожного транспорта позволит заблаговременно разработать стратегию адаптации и повысить устойчивость систем электроснабжения железных дорог к происходящему изменению климатических условий в рамках глобального потепления.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Организация Объединённых Наций. Меры по борьбе с изменением климата. <https://www.un.org/ru/climatechange/what-is-climate-change>
2. Орцханова, М. А. Глобальное потепление климата на Земле - причины, последствия / М. А. Орцханова, Д. М. Евлоева // Заметки ученого. – 2020. – № 12. – С. 92-94.
3. Энергетика и природа климата: есть ли шанс остановить глобальное потепление? / В. Клименко, А. Клименко, А. Терешин, О. Миушина // Энергетическая политика. – 2021. – № 4(158). – С. 12-29. – DOI 10.46920/2409-5516\_2021\_4158\_12.
4. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>
5. РБК Life. <https://www.rbc.ru/life/news/646c9dc79a7947d6377027cd>
6. Климатические экстремумы – новый вызов для Российских энергосистем / В. В. Клименко, А. В. Клименко, А. Г. Терешин, Е. В. Федотова // Теплоэнергетика. – 2021. – № 3. – С. 3-17.
7. Гидрометцентр России. Климатическая доктрина Российской Федерации, утв. Распоряжением Президента Российской Федерации от 17.12.2009 г. № 861-рп <https://meteoinfo.ru/climatedoctrine>
8. <https://energystats.enerdata.net/electricity/world-electricity-production-statistics.html>
9. О влиянии климата на производство энергии / Е. М. Акентьева, В. В. Стадник, Д. В. Фасолько, В. А. Задворных // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. – 2022. – № 604. – С. 221-254.
10. Изменение ветрового режима на территории России и аварийность воздушных линий электропередач / В. В. Клименко, О. Е. Кондратьева, А. Г. Терешин [и др.] // Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. – 2021. – Т. 497, № 1. – С. 57-64. – DOI 10.31857/S2686740021020048.
11. Горбачева, Н. В. Масштаб и динамика аварий из-за непогоды на энергообъектах регионов России / Н. В. Горбачева, А. Ю. Тимофеева // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2023. – Т. 23, № 3. – С. 5-18. – DOI 10.14529/power230301.
12. Сердитова, Н. Е. Изменение климата: адаптация и устойчивое развитие / Н. Е. Сердитова, А. В. Белоцерковский. – Тверь : Тверской государственный университет, 2023. – 274 с. – ISBN 978-5-7609-1781-2.
13. Соловьев, Д. А. Климатические изменения и энергетика: влияние, прогнозы и последствия / Д. А. Соловьев, А. М. Залиханов // Окружающая среда и энерговедение. – 2021. – № 3(11). – С. 62-74. – DOI 10.5281/zenodo.554701.
14. Канило, П. М. Энергетика и глобальное потепления климата / П. М. Канило // Проблемы машиностроения. – 2016. – Т. 19, № 1. – С. 54-63.
15. Сидорова, Е. Адаптация к изменению климата: роль ученых / Е. Сидорова // Наука в России. – 2012. – Т. 188, № 2. – С. 31-35.

## REFERENCES

1. Organizaciya Ob"edinyonnyh Nacij. Mery po bor'be s izmeneniem klimata [The United Nations. Measures to combat climate change]. <https://www.un.org/ru/climatechange/what-is-climate-change>
2. Orckhanova, M. A. Global'noe poteplenie klimata na Zemle - prichiny, posledstviya [Global warming of the Earth's climate - causes, consequences], M. A. Orckhanova, D. M. Evloeva. Zametki uchenogo [The scientist's notes], 2020, No. 12, pp. 92-94.
3. Energetika i priroda klimata: est' li shans ostanovit' global'noe poteplenie [Energy and the nature of the climate: is there a chance to stop global warming]? V. Kli-menko, A. Klimenko, A. Tereshin, O. Miushina. Energeticheskaya politika [Energy policy], 2021, No. 4(158), pp. 12-29. – DOI 10.46920/2409-5516\_2021\_4158\_12.
4. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>
5. RBC Life. <https://www.rbc.ru/life/news/646c9dc79a7947d6377027cd>

6. Klimaticheskie ekstremumy – novyj vyzov dlya Rossijskih energosistem [Climatic extremes are a new challenge for Russian energy systems]. V. V. Klimenko, A. V. Klimenko, A. G. Tereshin, E. V. Fedotova. Teploenergetika [Thermal power engineering], 2021, No. 3, pp. 3-17.
7. Gidrometcentr Rossii. Klimaticheskaya doktrina Rossijskoj Federacii, utv. Rasporyazheniem Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 17.12.2009 g. № 861-rp [Hydrometeorological Center of Russia. The Climate Doctrine of the Russian Federation, approved by By Order of the President of the Russian Federation No. 861-rp dated 12/17/2009]
8. <https://energystats.enerdata.net/electricity/world-electricity-production-statistics.html>
9. O vliyanii klimata na proizvodstvo energii. [On the impact of climate on energy production]. E. M. Akent'eva, V. V. Stadnik, D. V. Fasol'-ko, V. A. Zadvornyh. Trudy Glavnoj geofizicheskoy observatorii im. A.I. Voejkova [Proceedings of the Main Geophysical Observatory named after A.I. Voeikov], 2022, No. 604, pp. 221-254.
10. Izmenenie vetrovogo rezhima na territorii Rossii i avarijnost' vozdushnyh linij elektroperedach [Changes in the wind regime in Russia and the accident rate of overhead power lines]. V. V. Klimenko, O. E. Kondrat'eva, A. G. Tereshin [i dr.]. Doklady Rossijskoj akademii nauk. Fizika, tekhnicheskie nauki [Reports of the Russian Academy of Sciences. Physics, technical sciences], 2021. T.497, No. 1, pp. 57-64. – DOI 10.31857/S2686740021020048.
11. Gorbacheva, N. V. Masshtab i dinamika avarij iz-za nepogody na energoob"ektah regionov Rossii [The scale and dynamics of accidents due to bad weather at power facilities in Russian regions]. N. V. Gorbacheva, A. Yu. Timofeeva. Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the South Ural State University]. Series: Energy. 2023. T. 23, No 3, pp. 5-18. – DOI 10.14529/power230301
12. Serditova, N. E. Izmenenie klimata: adaptaciya i ustojchivoe razvitie [Climate change: adaptation and sustainable development]. N. E. Serditova, A. V. Belocerkovskij. – Tver' : Tverskoj gosudarstvennyj universitet [Tver: Tver State University]. 2023. pp. 274 . – ISBN 978-5-7609-1781-2.
13. Solov'ev, D. A. Klimaticheskie izmeneniya i energetika: vliyanie, prognozy i posledstviya [Climate change and energy: impact, forecasts and consequences], D. A. Solov'ev, A. M. Zalihanov. Okruzhayushchaya sreda i energovedenie [Environment and energy management], 2021. No 3(11), pp. 62-74. – DOI 10.5281/zenodo.554701.
14. Kanilo, P. M. Energetika i global'noe potepeniya klimata [Energy and global warming] P. M. Kanilo. Problemy mashinostroeniya [Problems of mechanical engineering]. 2016. T. 19, No. 1, pp. 54-63.
15. Sidorova, E. Adaptaciya k izmeneniyu klimata: rol' uchenyh [Adaptation to climate change: the role of scientists]. E. Sidorova. Nauka v Rossii [Science in Russia]. 2012. T. 188, No. 2, pp. 31-35.

#### **Информация об авторах**

Царегородцев Павел Александрович – студент группы БОБ21ЭИЭ, Дальневосточный университет путей сообщения, г.Хабаровск, e-mail: pasha.tsaregorodtsev@inbox.ru

Макашева Светлана Игоревна – к.т.н., доцент кафедры «Системы электроснабжения», Дальневосточный университет путей сообщения, г. Хабаровск , e-mail: smakasheva@gmail.com

#### **Authors**

Tsaregorodtsev Pavel Aleksandrovich—student of Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, e-mail: pasha.tsaregorodtsev@inbox.ru

Makasheva Svetlana Igorevna – Ph.D.in Engineering Science, Associate Professor, the Department of Power Supply Systems, Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, e-mail : smakasheva@gmail.com

