



Международная конференция, посвященная 70-летию
Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН
ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ И КЛИМАТА
г. Кисловодск, 6–9 апреля 2026 г.

Геоинформационный анализ региональных климатических изменений в российской Арктике для поддержки развития транспортной инфраструктуры

Р.И. Краснопёров (ГЦ РАН)

*акад. А.Д. Гвишиани (ГЦ РАН / ИФЗ РАН), А.Г. Костяной (ИО РАН / ГЦ РАН),
О.О. Шевалдышева (ГЦ РАН), С.А. Гвоздик (ГЦ РАН), Лебедев С.А. (ГЦ РАН)*

Цели, задачи и результаты исследования

- Цель совместного проекта ГЦ РАН и РЖД – создание наборов цифровых карт, отражающих динамику основных гидрометеорологических параметров для планирования и развития железнодорожного транспорта в Арктической зоне Российской Федерации
- В рамках проекта создана серия тематических цифровых атласов климатических изменений в западной части российской Арктики
- Ретроспективная часть атласов охватывает период с 1950 года, прогнозная часть – до 2064 года.
- Построено около 1000 цифровых карт и более 150 пространственно-временных диаграмм Хофмюллера вдоль основных ж/д-веток

Исследуемый регион



Равнопромежуточная коническая проекция

Регион западной
части российской
Арктики
55°–80° с.ш.
30°–100° в.д.



Исходные данные

- **MERRA-2** (Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, version 2) – результаты реанализа массивного каталога информации о климатических параметрах за период 1980–2022 гг. Пространственное разрешение: $0,5^\circ \times 0,625^\circ$ (Gelaro et al., 2017)
- Реанализ Национального центра прогнозирования состояния окружающей среды и Национального центра атмосферных исследований США (NCEP/NCAR) за период с 1950 г. Пространственное разрешение: $2,5^\circ \times 2,5^\circ$. (Kalnay et al., 1996)
- Данные количества осадков из модели реконструкции осадков над сушей **PREC/L** (PRECipitation REConstruction over Land) за период с 1950 г. Пространственное разрешение: $1^\circ \times 1^\circ$. (Chen et al. 2002)
- Данные модели **CNRM-CM6-1-HR** Национального центра метеорологических исследований (CNRM) и Европейского центра исследований и образования в области научных вычислений (CERFACS) за период 2022–2064 гг. Входит в CMIP6. Пространственное разрешение: $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ (Voldoire, 2019)
- Модельные данные взяты для трех сценариев: **SSP1-2.6**, **SSP2-4.5** и **SSP5-8.5**

Картографируемые параметры

- Температура воздуха у поверхности Земли (на высоте 2 м)
- Общее количество осадков
- Скорость ветра у поверхности Земли (на высоте 10 м)
- Температура почвы (верхние 10 см)
- Влагосодержание почвы (верхние 10 см)
- Влажность воздуха (на высоте 2 м)
- Толщина снежного покрова

Для каждого параметра по различной временной выборке рассчитывались:

- средние значения за выбранный период
- значения изменения параметра между периодами
- средняя скорость изменения параметра



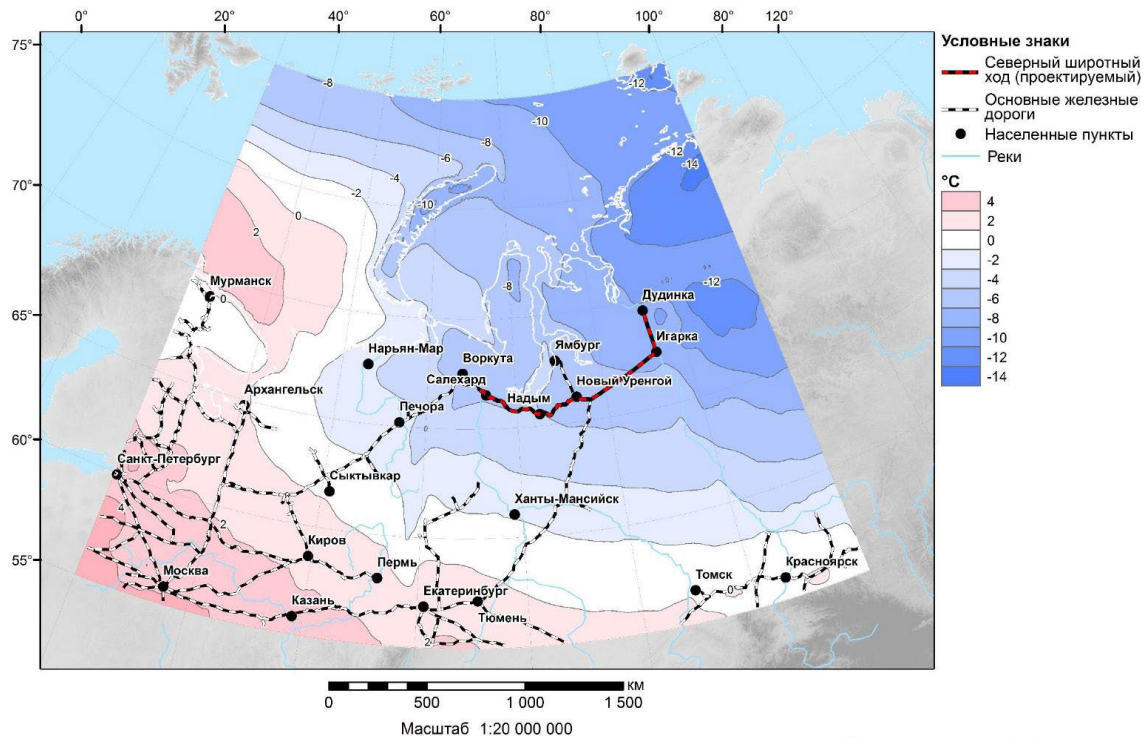
Типы построенных карт

- Средние значения за периоды: 1950–2021, 1950–1979, 1980–2021, 1980–1989, 1990–1999, 2000–2009, 2010–2021, 2022, 2023–2064, 2023–2042, 2043–2064.
- Средние изменения между периодами 1980–1999 и 2000–2021; 1980–1989 и 2010–2021
- Средняя скорость изменений за периоды 1980–2021, 1980–1999 и 2000–2021
- Средние значения по месяцам, а также для зимнего (декабрь – февраль) и летнего (июнь – август) сезонов для выбранных периодов



Температура воздуха (1)

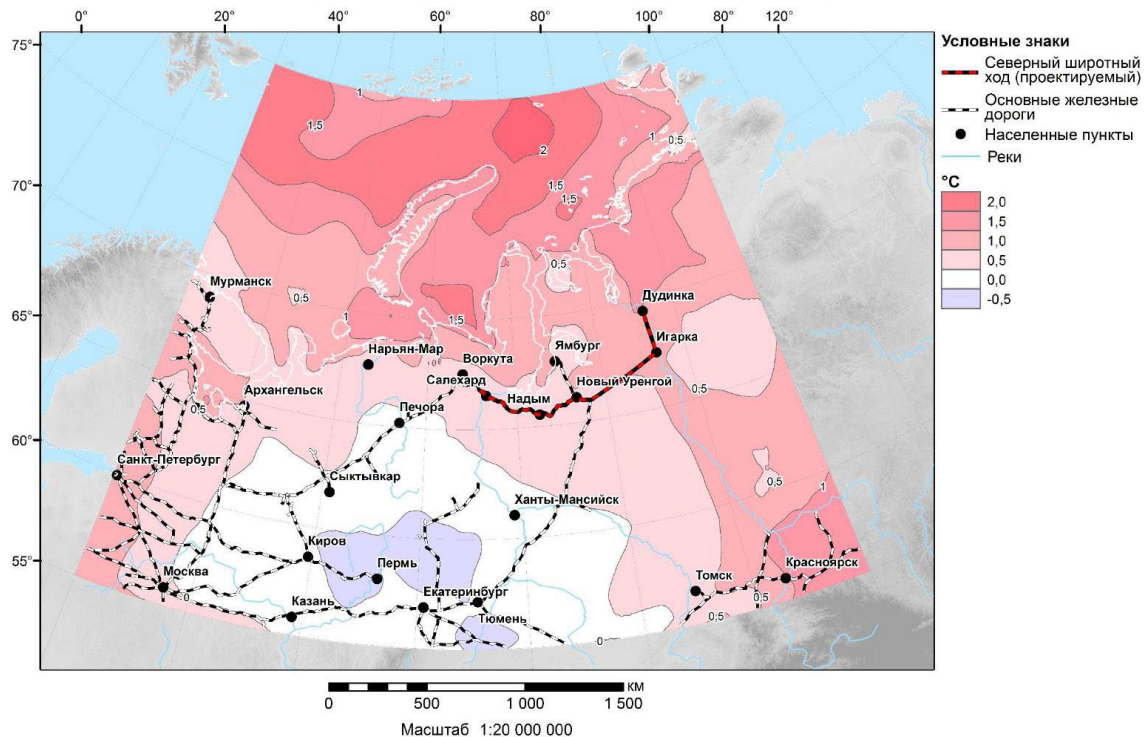
Средние значения температуры воздуха у поверхности за период 1980–2021 гг.



Равнопромежуточная коническая проекция

Температура воздуха (2)

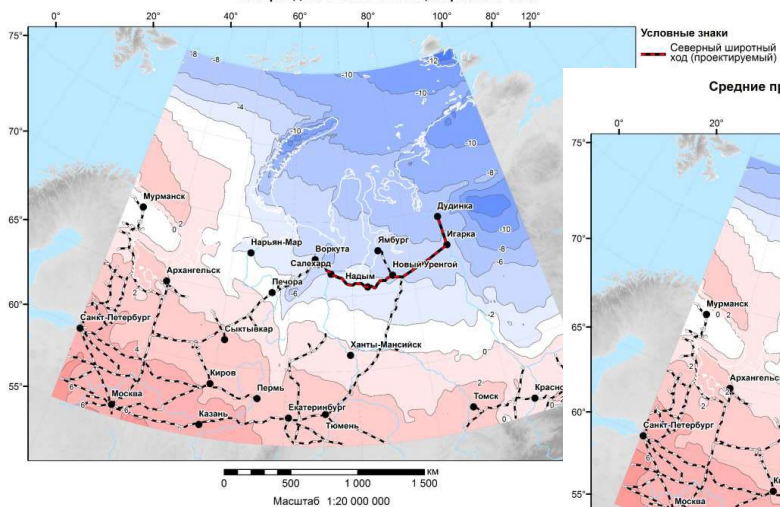
Изменения температуры воздуха у поверхности между периодами 2010–2021 гг. и 1980–1989 гг.
(разность средних значений между этими периодами)



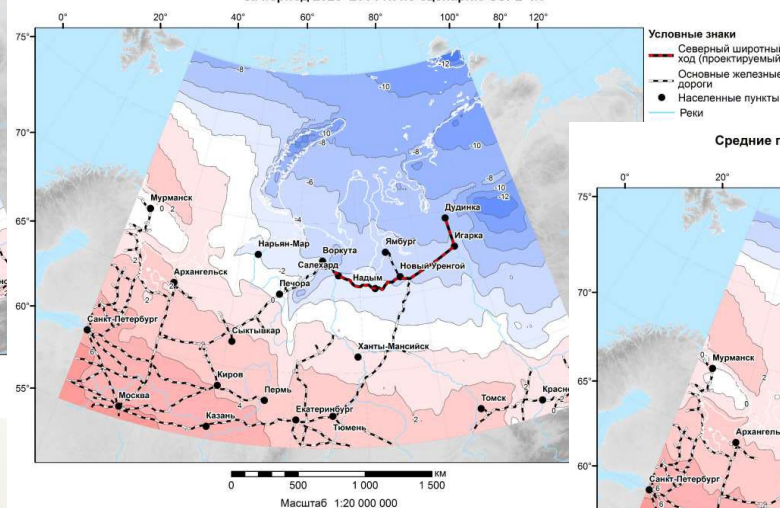
Равнопромежуточная коническая проекция

Температура воздуха (3)

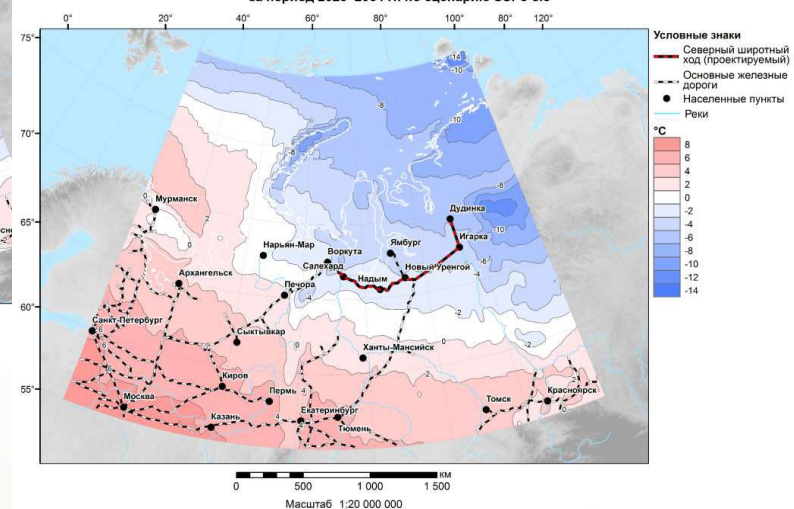
Средние прогностические значения температуры воздуха у поверхности
за период 2023–2064 гг. по сценарию SSP1-2.6



Средние прогностические значения температуры воздуха у поверхности
за период 2023–2064 гг. по сценарию SSP2-4.5



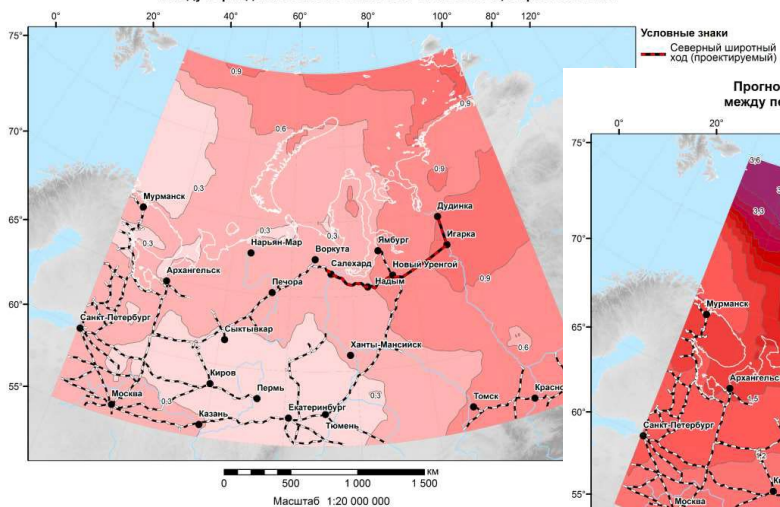
Средние прогностические значения температуры воздуха у поверхности
за период 2023–2064 гг. по сценарию SSP5-8.5



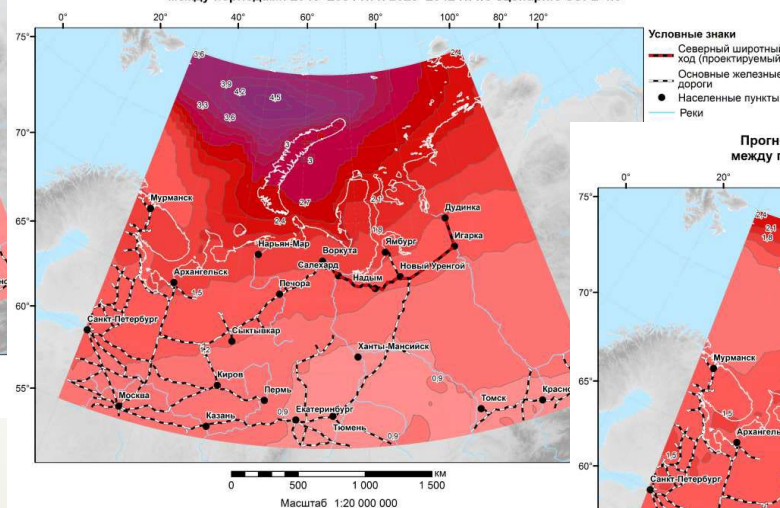
Равнопромежуточная коническая проекция

Температура воздуха (4)

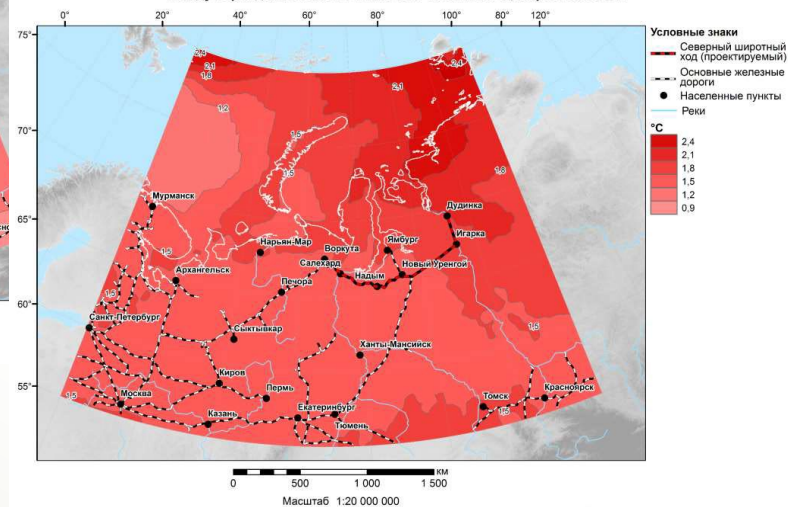
Прогностические изменения температуры воздуха у поверхности
между периодами 2043–2064 гг. и 2023–2042 гг. по сценарию SSP1-2.6



Прогностические изменения температуры воздуха у поверхности
между периодами 2043–2064 гг. и 2023–2042 гг. по сценарию SSP2-4.5



Прогностические изменения температуры воздуха у поверхности
между периодами 2043–2064 гг. и 2023–2042 гг. по сценарию SSP5-8.5



Диаграммы Хофмюллера (1)



Анализируемые ж/д-ветки

- Санкт-Петербург – Мурманск
- Ярославль – Архангельск
- Киров – Воркута – Салехард
- Санкт-Петербург – Пермь
- Тюмень – Новый Уренгой – Ямбург
- Екатеринбург – Серов – Приобье
- Салехард – Новый Уренгой – Игарка – Дудинка

Диаграммы Хофмюллера позволяют детально отслеживать изменчивость и амплитуды исследуемых параметров, в том числе выделять периодические волны их изменений. Для построения диаграмм также использовались данные реанализа MERRA-2 за период 1980–2022 гг. и данные модели CNRM-CM6-1-HR за период 2022–2064 гг.

Диаграммы Хофмюллера (2)

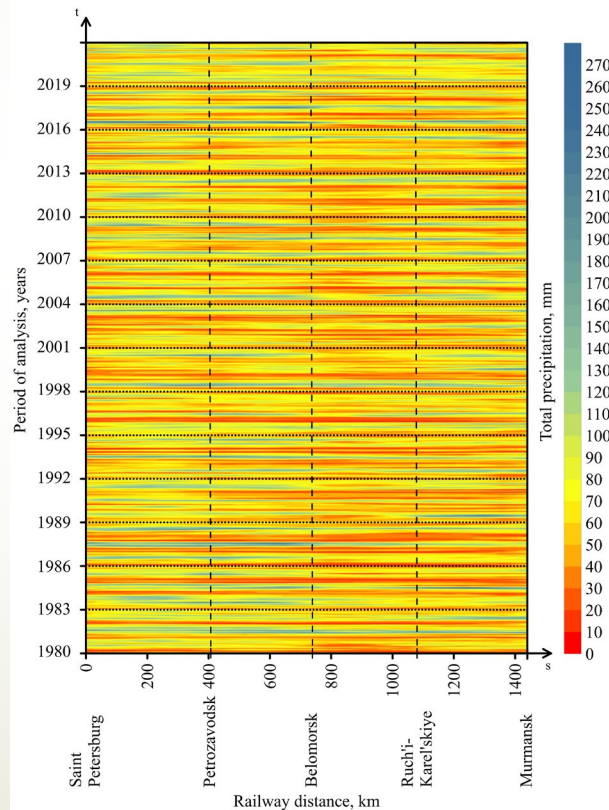
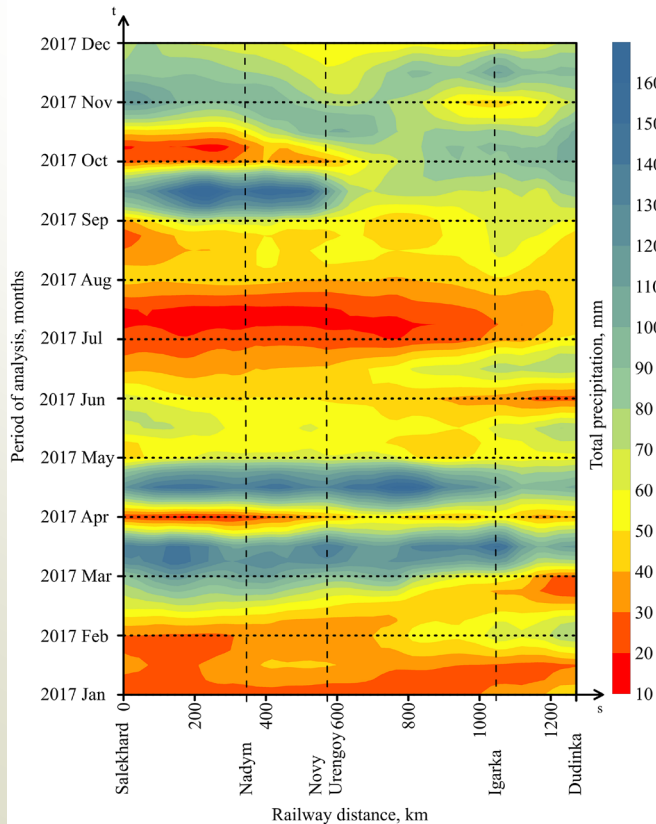
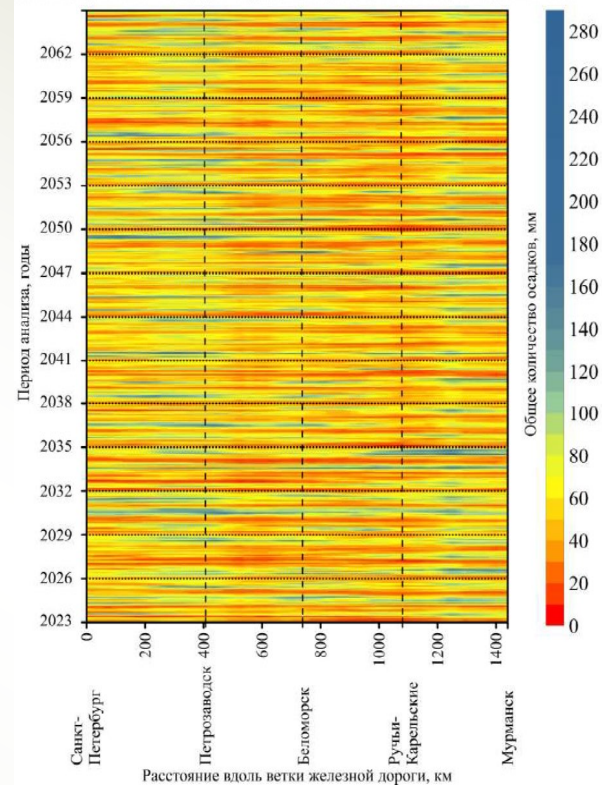


Диаграмма Хофмюллера временной изменчивости общего количества осадков вдоль ветки железной дороги Санкт-Петербург – Мурманск за период 2023–2064 гг. по сценарию SSP1-2.6



Выводы

- Проведенный анализ выявил значительную пространственную и временную неоднородность изменчивости рассматриваемых гидрометеорологических параметров.
- Предложенная методика анализа межгодовой изменчивости ключевых метеопараметров, важных для устойчивой работоспособности железнодорожной инфраструктуры, может быть применена к другим регионам России и другим странам, где существуют или планируются к строительству железнодорожные линии.
- Выявленные аномальные участки на рассмотренных ж/д-ветках должны быть взяты под особый контроль с созданием дополнительных систем погодного и технического мониторинга.
- Важная задача дальнейшей работы – оценка текущих климатических изменений для понимания наиболее вероятных сценариев изменений климата.



Публикации

- Gvishiani A.D., Rozenberg I.N., Soloviev An.A., Kostianoy A.G., Gvozdk S.A., Serykh I.V., Krasnoperov R.I., Sazonov N.V., Dubchak I.A., Popov A.B., Kostianaia E.A., Gvozdk G.A. *Electronic atlas of climatic changes in hydrometeorological parameters of the western part of the Russian Arctic for 1950–2021 as geoinformatic support of railway development* // *Applied Sciences*, 2023, Vol. 13, No. 9, PP. 1–34. DOI: 10.3390/app13095278
- Gvishiani A.D., Rozenberg I.N., Soloviev A.A., Krasnoperov R.I., Shevaldysheva O.O., Kostianoy A.G., Lebedev S.A., Dubchak I.A., Sazonov N.V., Nikitina I.M., Gvozdk S.A., Sergeev V.N., Gvozdk G.A. *Study of the impact of climatic changes in 1980–2021 on railway infrastructure in the Central and Western Russian Arctic based on Advanced Electronic Atlas of hydrometeorological parameters (Version 2, 2023)* // *Russian Journal of Earth Sciences*, 2023, Vol. 23, No. 5, ES5004. DOI: 10.2205/2023ES000882
- Kostianoy A.G., Gvishiani A.D., Rozenberg I.N., Krasnoperov R.I., Gvozdk S.A., Lebedev S.A., Nikitina I.M., Dubchak I.A., Shevaldysheva O.O., Sergeev V.N., Gvozdk G.A. *Geoinformation analysis of regional climatic changes in the Central and Western Russian Arctic for railway development* // *Russian Journal of Earth Sciences*, 2025, Vol. 25, No. 1, P. 1–34. DOI: 10.2205/2025es000956
- Kostianoy A.G., Gvishiani A.D., Lebedev S.A., Rozenberg I.N., Krasnoperov R.I., Dubchak I.A., Gvozdk S.A., Shevaldysheva O.O., Sergeev V.N., Nikolova J.I. *Projection of regional climate change for 2023–2064 in the northern part of the Western Russian Arctic: A support for Russian Railways* // *Geography, Environment, Sustainability*, 2025, Vol. 18, No. 4, P. 61–79. DOI: 10.24057/2071-9388-2025-4179