



РНФ

Российский
научный фонд

III Всероссийская школа молодых учёных
Системный анализ динамики природных
процессов в российской Арктике
г. Видное, 5–8 июня 2023 г.

Методы геоинформатики в изучении климатических изменений Арктики

Р.И. Краснопёров

*ак. А.Д. Гвишиани, чл.-корр. РАН А.А. Соловьёв, А.Г. Костяной,
С.А. Гвоздик, И.В. Серых, А.Б. Попов, Е.А. Костяная, Г.А. Гвоздик (ГЦ РАН),
чл.-корр. РАН И.Н. Розенберг, Н.В. Сазонов, И.А. Дубчак (НИИАС / РУТ)*

Геоинформатика – это...

наука, технология и производственная деятельность по научному обоснованию, проектированию, созданию, эксплуатации и использованию географических информационных систем (ГИС), по разработке геоинформационных технологий, по приложению ГИС для практических или научных целей (*Капралов и др., 2005*).

наука, изучающая методы анализа информации о локализованных в пространстве объектах, явлениях и процессах реального мира (*Гитис и др., 2008*).

совокупность методов и технологий, обеспечивающих процесс поиска информации и обнаружения знаний в данных наук о Земле (*Ma et al., 2023*).



Географические информационные системы: истоки

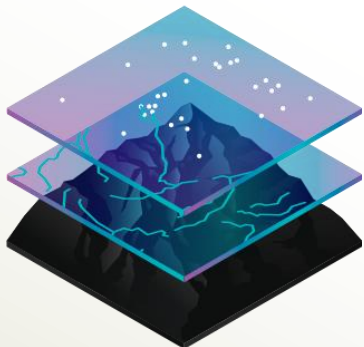
- Зарождение ГИС началось в 1960-х годах с появлением компьютеров и концепции количественной географии. Академическим сообществом были формализованы направления исследований по ключевым темам геоинформатики, таким как **пространственный анализ** и **визуализация**.
- В 1963 г. Роджер Томлисон впервые предложил использовать компьютеры для объединения данных о природных ресурсах Канады. Под его руководством была создана автоматизированная вычислительная система для хранения и обработки больших объемов пространственных данных.



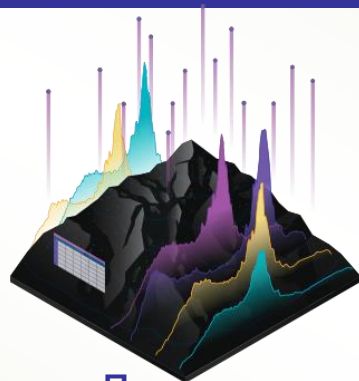
(<https://www.esri-cis.com/>)



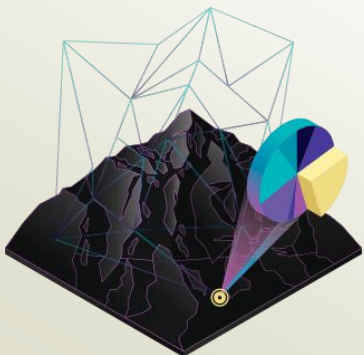
Географические информационные системы сегодня



Карты



Данные



Анализ



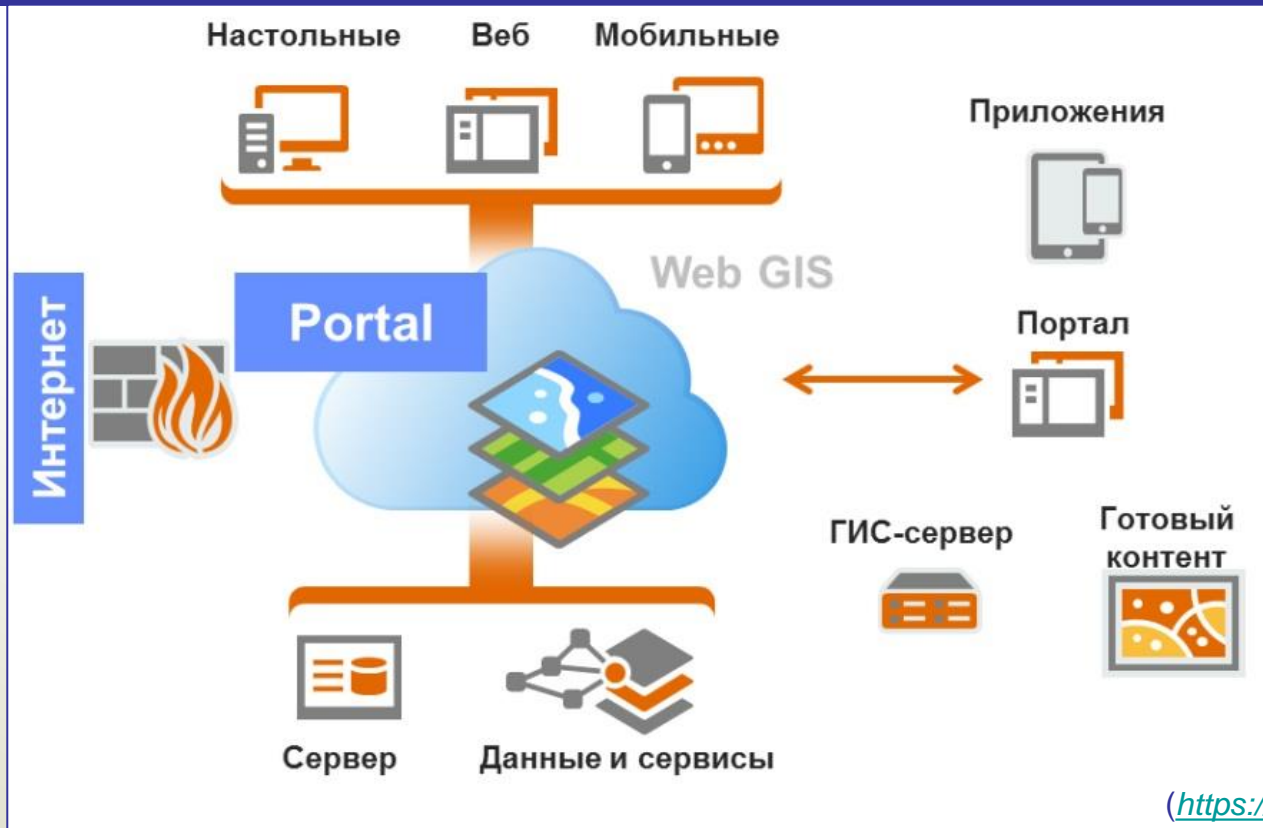
Представление

Географические информационные системы (ГИС) предназначены для сбора, хранения, анализа и визуализации пространственных данных и связанной семантической информации.

ГИС сегодня являются средством для обмена данными и совместной работы практически в любой области человеческой деятельности.



Географические информационные системы сегодня



[\(https://www.esri-cis.com/\)](https://www.esri-cis.com/)



Развитие инфраструктуры в Арктике



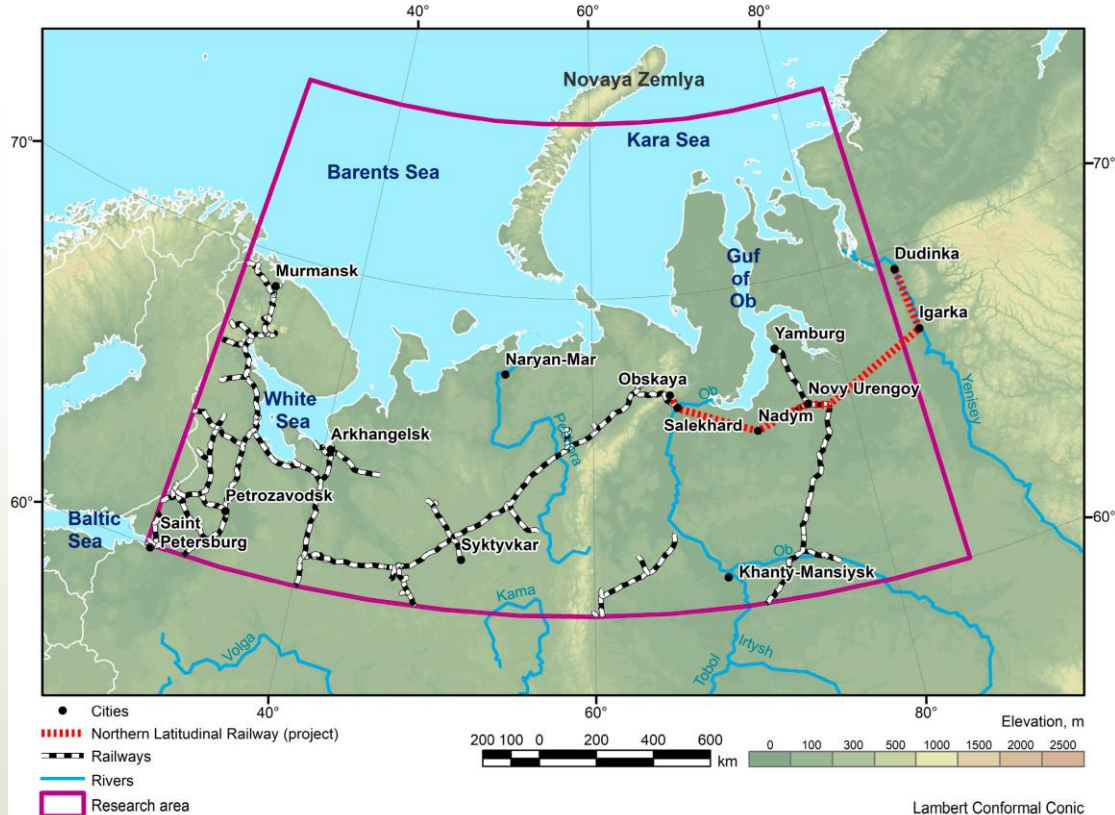
Анализ климатических изменений Арктики

- В рамках совместного проекта ГЦ РАН и НИИАС (РЖД) выполнялся проект по созданию тематического цифрового атласа климатических изменений в западной части российской Арктики с 1950 по 2021 гг.
- Цель работы – создание серии цифровых карт, отражающих динамику основных гидрометеорологических параметров для планирования и развития железнодорожного транспорта в АЗРФ.
- Итоги работы опубликованы в статье:

Gvishiani et al., App. Sc., 2023. DOI: 10.3390/app13095278



Исследованный регион



Регион западной
части российской
Арктики
(60°–75° с.ш.,
30°–85° в.д.).



Исходные климатические данные

- MERRA-2 (Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, version 2) – результаты **повторной обработки** массивного каталога информации о климатических параметрах, таких как температура и влажность воздуха, атмосферное давление, скорость ветра, количество осадков и др.
- Пространственное разрешение: $0,5^{\circ} \times 0,625^{\circ}$
- Период: 1980–2021 гг.
- Источник: *NASA's Global Modeling and Assimilation Office (GMAO)*

Gelaro et al., 2017. DOI: 10.1175/JCLI-D-16-0758.1



Дополнительные климатические данные

- Данные реанализа Национального центра прогнозирования состояния окружающей среды и Национального центра атмосферных исследований США (NCEP/NCAR) за период 1950–2021 гг.
- Пространственное разрешение: $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$.
- Период: 1950–2021 гг.

Kalnay et al., 1996. DOI: 10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2

- Данные количества осадков за этот же период из модели реконструкции осадков над сушей (PRECipitation REConstruction over Land – PREC/L)

Chen et al. 2002. DOI: 10.1175/1525-7541(2002)003<0249:GLPAYM>2.0.CO;2



Картографируемые параметры

- Температура воздуха у поверхности Земли
- Общее количество осадков
- Скорость ветра у поверхности Земли
- Температура почвы
- Влагосодержание почвы
- Влажность воздуха
- Толщина снежного покрова



Категории карт

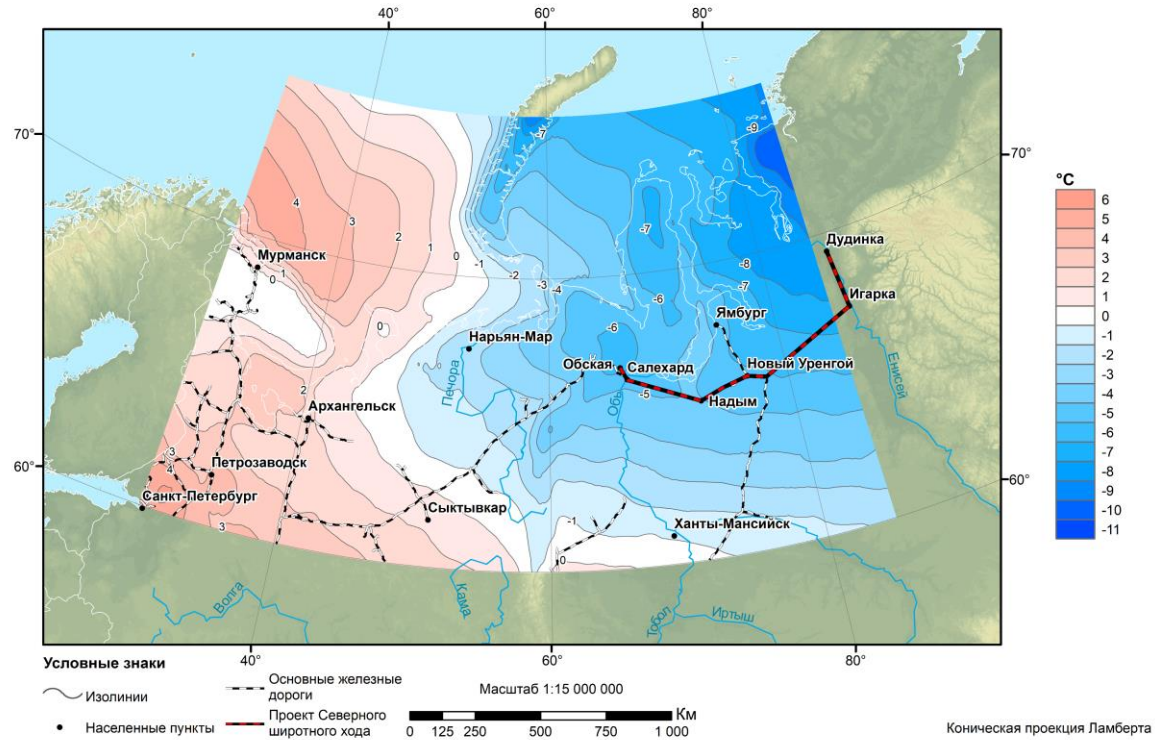
- Средние значения за периоды 1950–2021 гг., 1950–1979 гг., 1980–2021 гг., 1980–1999 гг. и 2000–2021 гг.
- Средние изменения между периодами 1980–1999 гг. и 2000–2021 гг.
- Средние значения по месяцам, а также для зимнего (декабрь – февраль) и летнего (июнь – август) сезонов за периоды 1980–2021 гг., 1980–1999 гг., 2000–2021 гг.
- Средняя скорость изменений за периоды 1980–2021 гг., 1980–1999 гг. и 2000–2021 гг.
- Средняя скорость изменений за периоды 1950–2021 гг. и 1950–1979 гг.



Подготовка карт

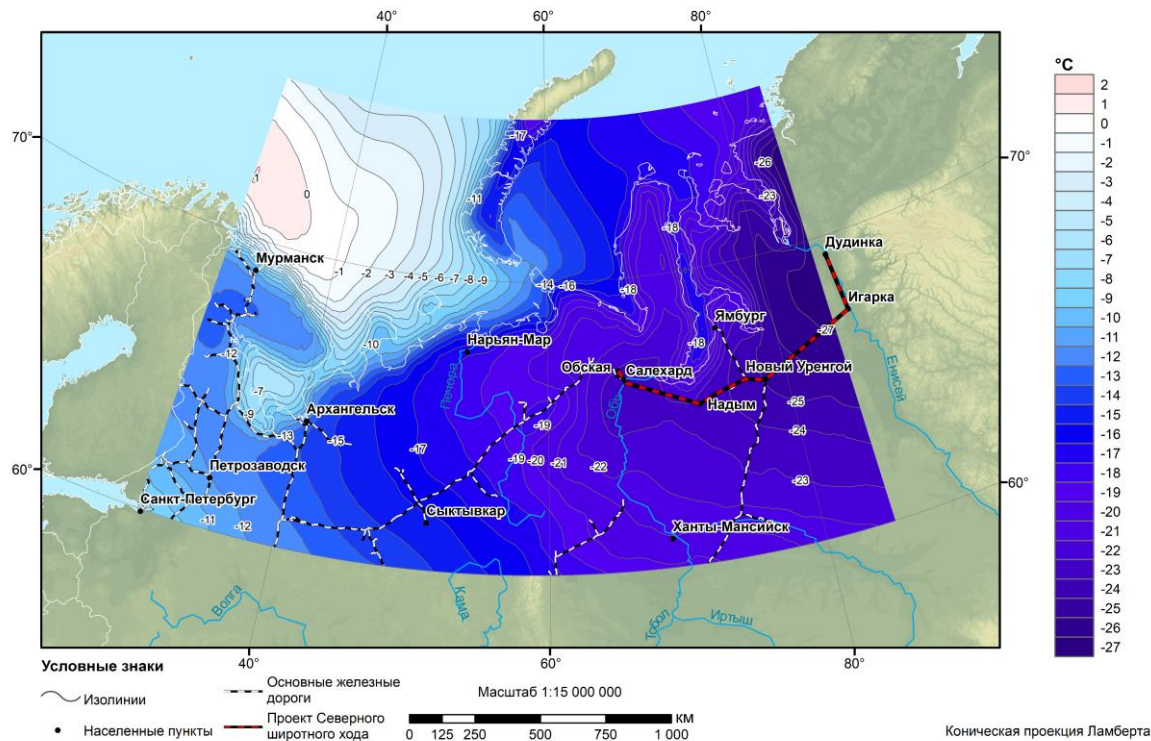
- Сбор данных и расчет гидрометеорологических параметров за разные эпохи
- Подготовка растровых слоев данных
- Подготовка слоев дополнительных данных
- Оформление цифровых карт

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



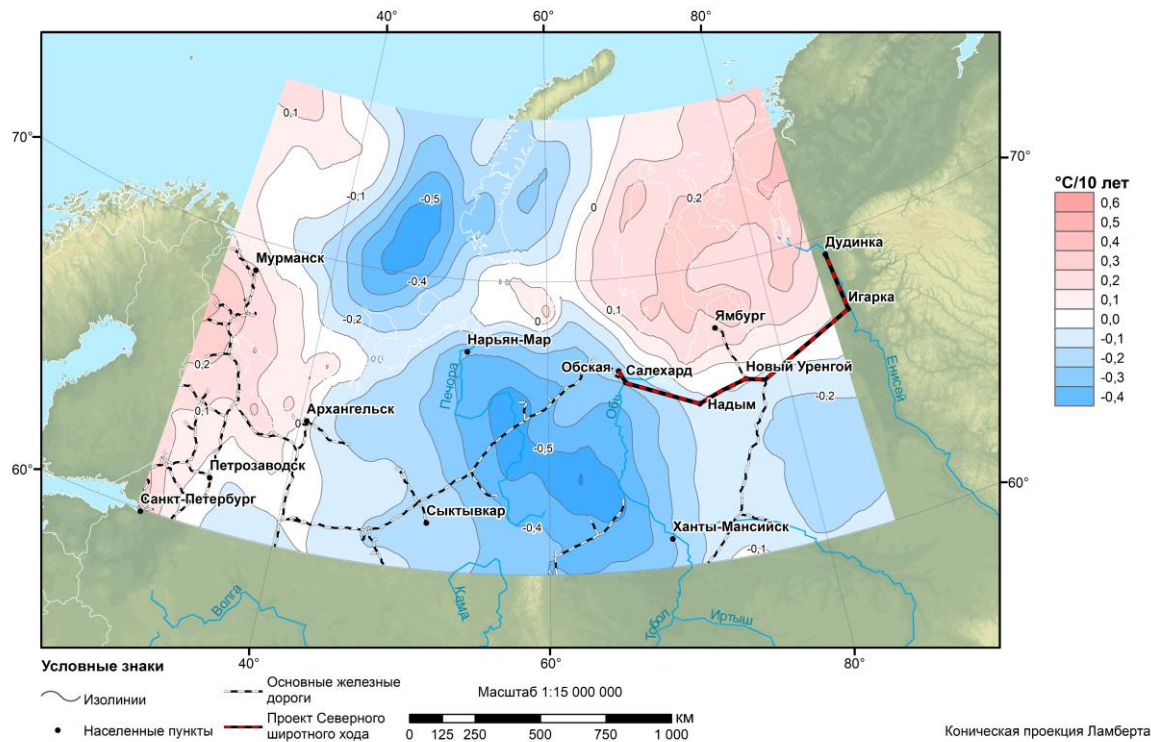
Температура воздуха

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



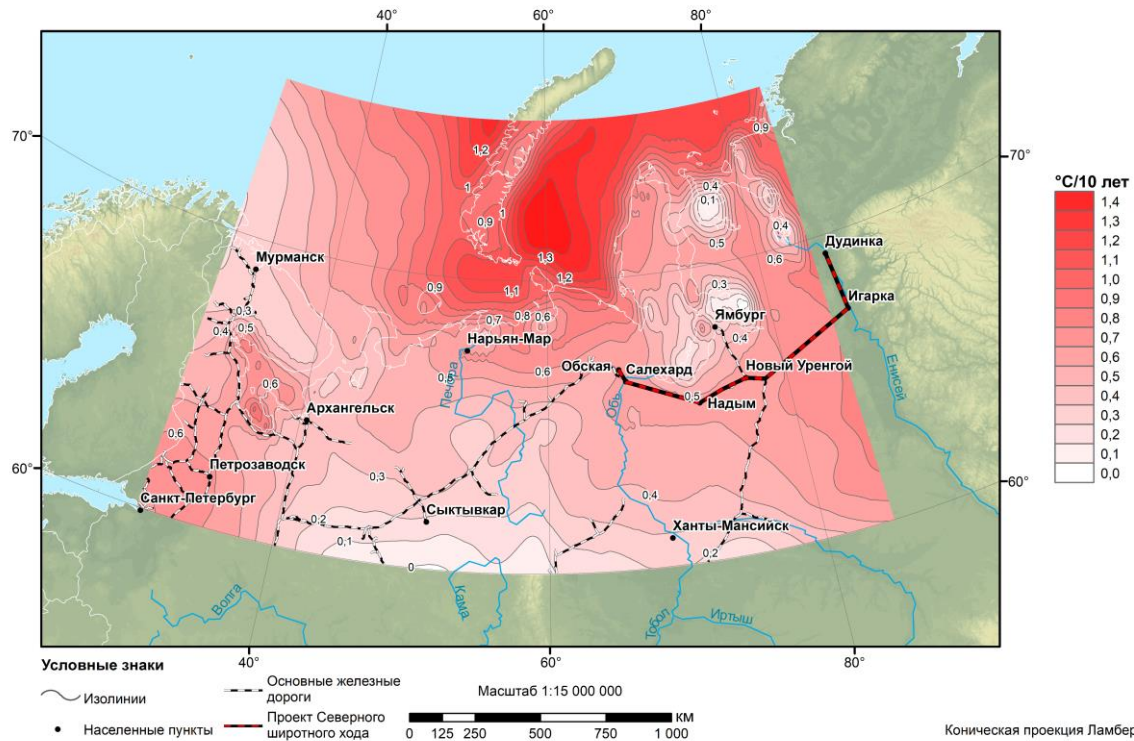
Температура воздуха

Средняя скорость изменений среднемесячных аномалий температуры воздуха у поверхности за период 1980–1999 гг.



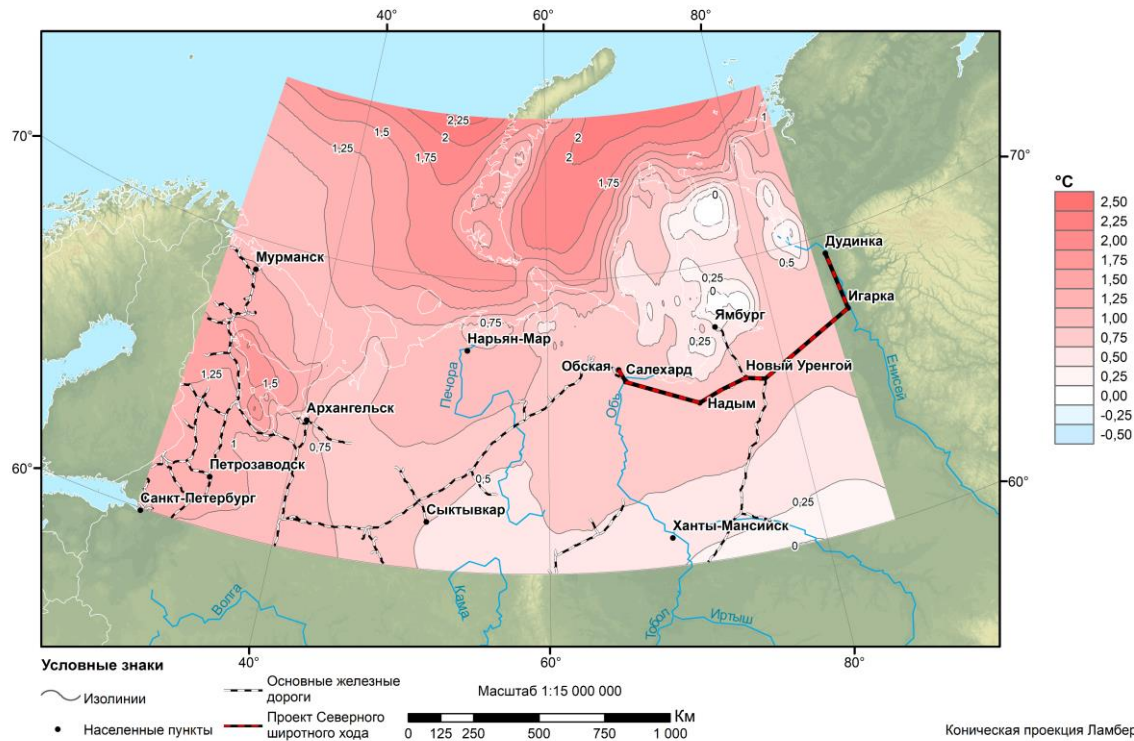
Температура воздуха

Средняя скорость изменений среднемесячных аномалий температуры воздуха у поверхности за период 2000–2021 гг.



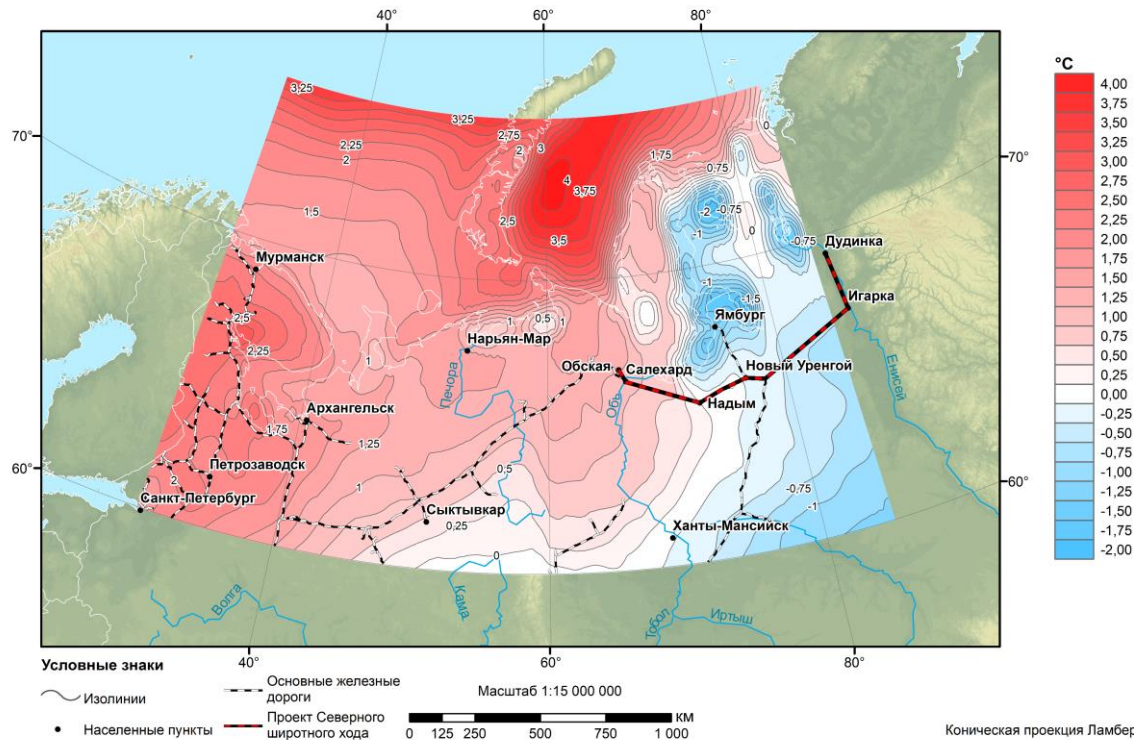
Температура воздуха

Средние изменения температуры воздуха у поверхности между периодами 1980–1999 гг. и 2000–2021 гг.
(разность средних значений между этими периодами)



Температура воздуха

Средние значения температуры воздуха у поверхности между периодами 1980–1999 гг. и 2000–2021 гг.
(разность средних значений между этими периодами) для декабря



Сравнение 1980–1999 и 2000–2021 гг.

- В январе потепление до 1.0–1.5 °С наблюдалось на участке до Мурманска и Архангельска, потепление до до 0,5 °С наблюдалось на участке до Салехарда, а похолодание на 1–2 °С наблюдалось на участке до Ямбурга.
- В феврале потепление до 0,8 °С наблюдалось только на участке до Мурманска.
- В марте потепление до 1 °С наблюдалось только на участке до Ямбурга.
- В апреле потепление до 1–2 °С наблюдалось на всех участках железной дороги, причем потепление было сильнее на более северных участках.
- В мае потепление до 1–2 °С наблюдалось на всех участках железных дорог.



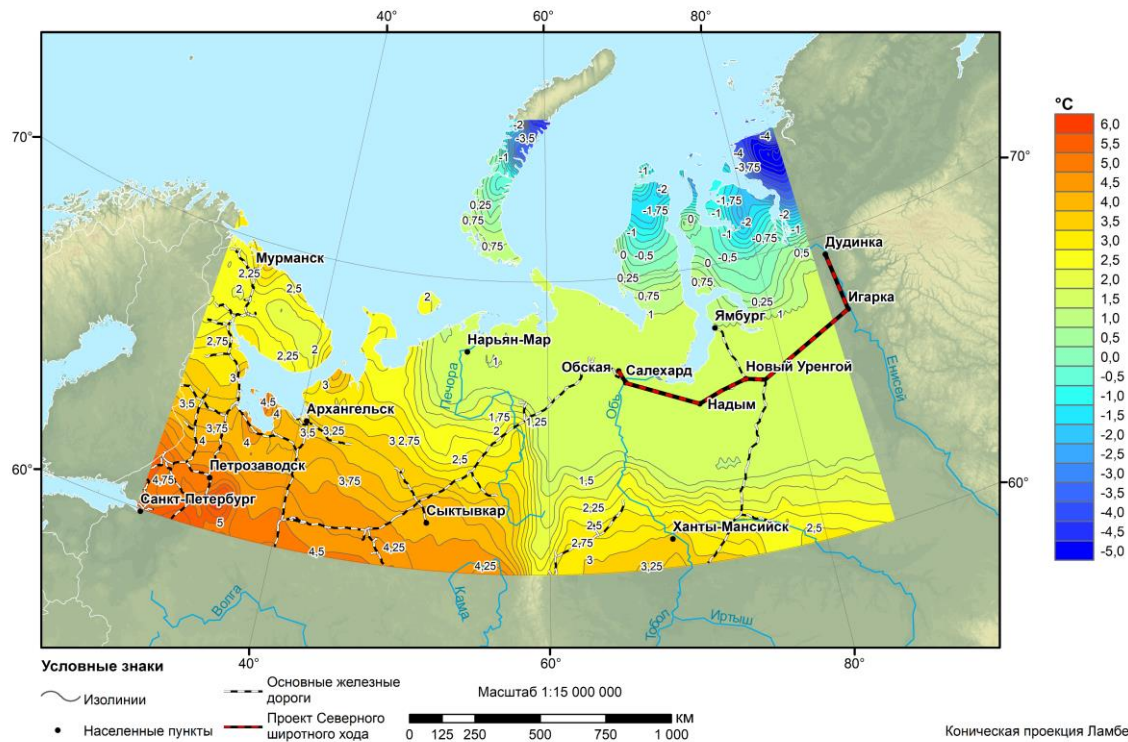
Сравнение 1980–1999 и 2000–2021 гг.

- В июне наибольшее потепление наблюдалось вдоль участков до Салехарда и Ямбурга, а в северном и восточном направлениях аномалия достигала $2,4\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- В июле, августе и сентябре, наоборот, температурные аномалии температуры в западной части исследуемой территории были больше (до $0,8\text{--}1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$), чем вдоль восточных участков железных дорог.
- В октябре наблюдалось равномерное потепление на всей территории до $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, и только на самом северном участке железной дороги до Мурманска и Ямбурга аномалия достигла $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- В ноябре на всех участках наблюдалось потепление от $2\text{ }^{\circ}\text{C}\text{--}2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, за исключением участка до Ямбурга, где аномалия достигла $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. В декабре потепление увеличивалось с востока на запад, от $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ на участке до Мурманска.



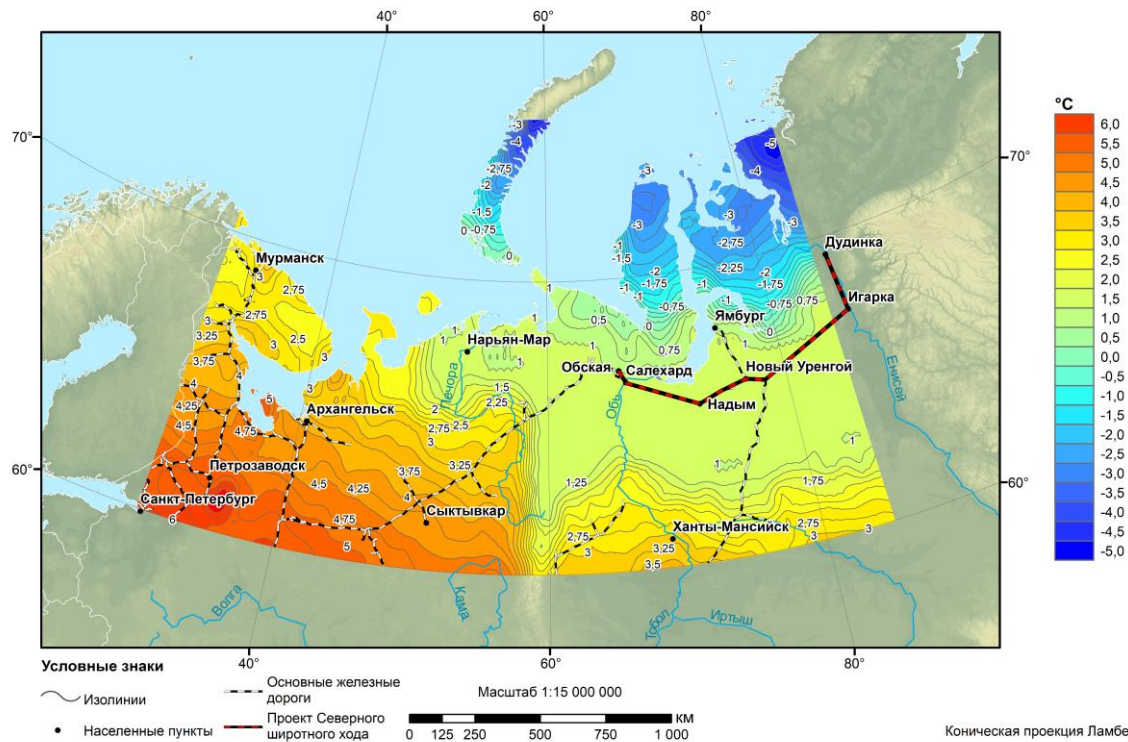
Температура почвы

Средние значения температуры почвы за период 1980–1999 гг.



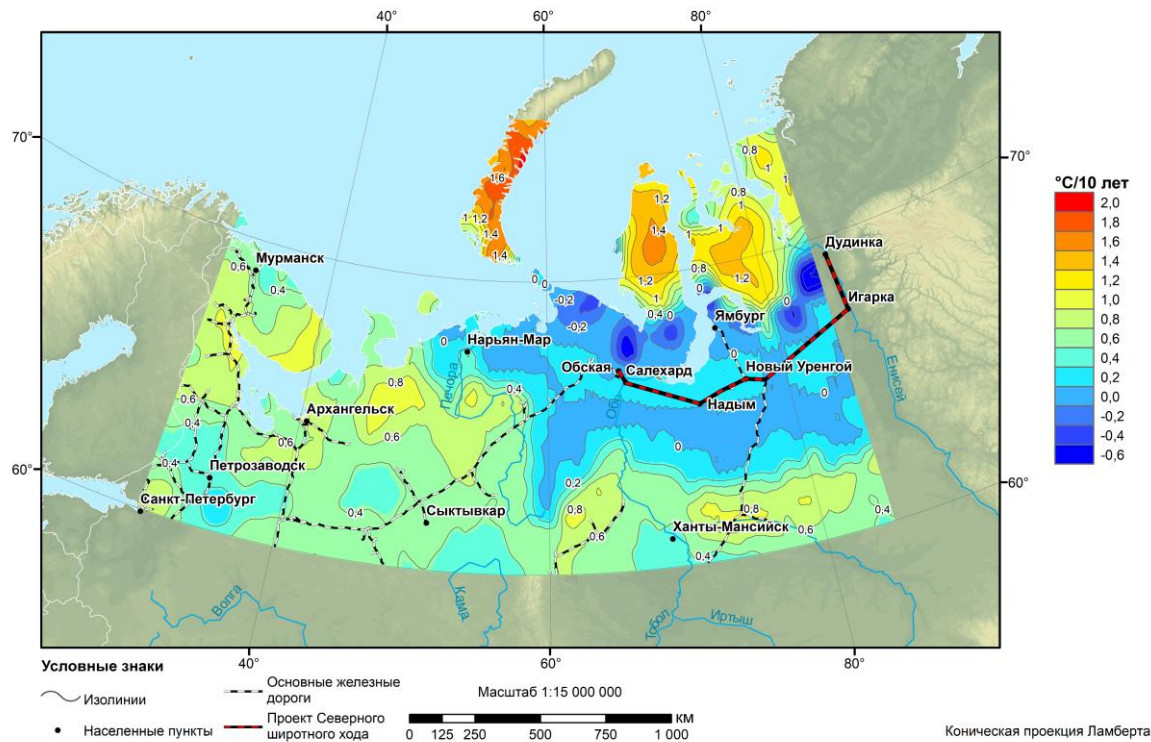
Температура почвы

Средние значения температуры почвы за период 2000–2021 гг.



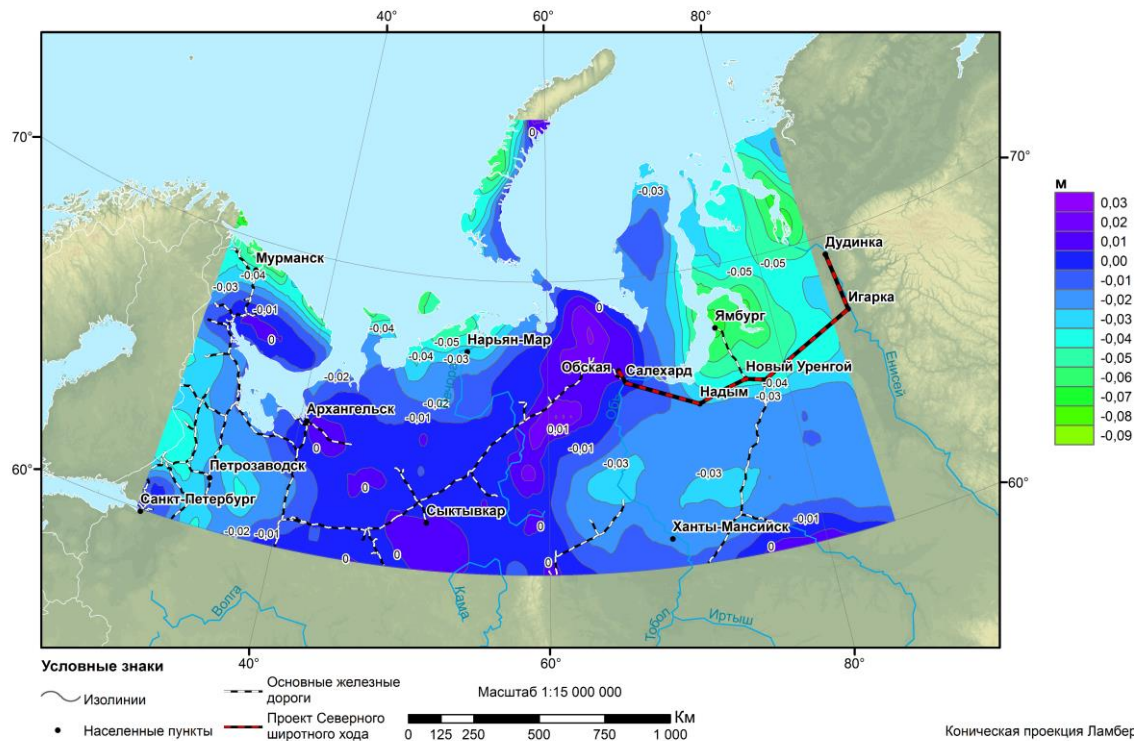
Температура почвы

Средняя скорость изменений среднемесячных аномалий температуры почвы за период 2000–2021 гг.



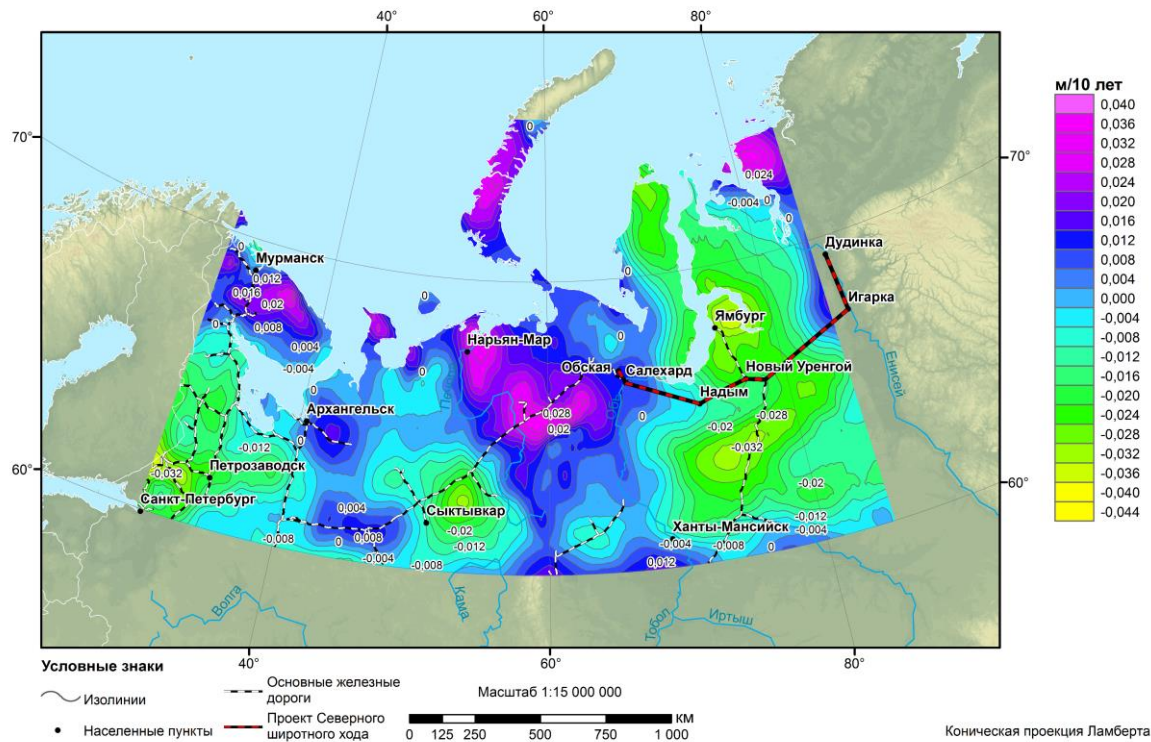
Толщина снежного покрова

Средние изменения толщины снежного покрова между периодами 1980–1999 гг. и 2000–2021 гг.
(разность средних значений между этими периодами)



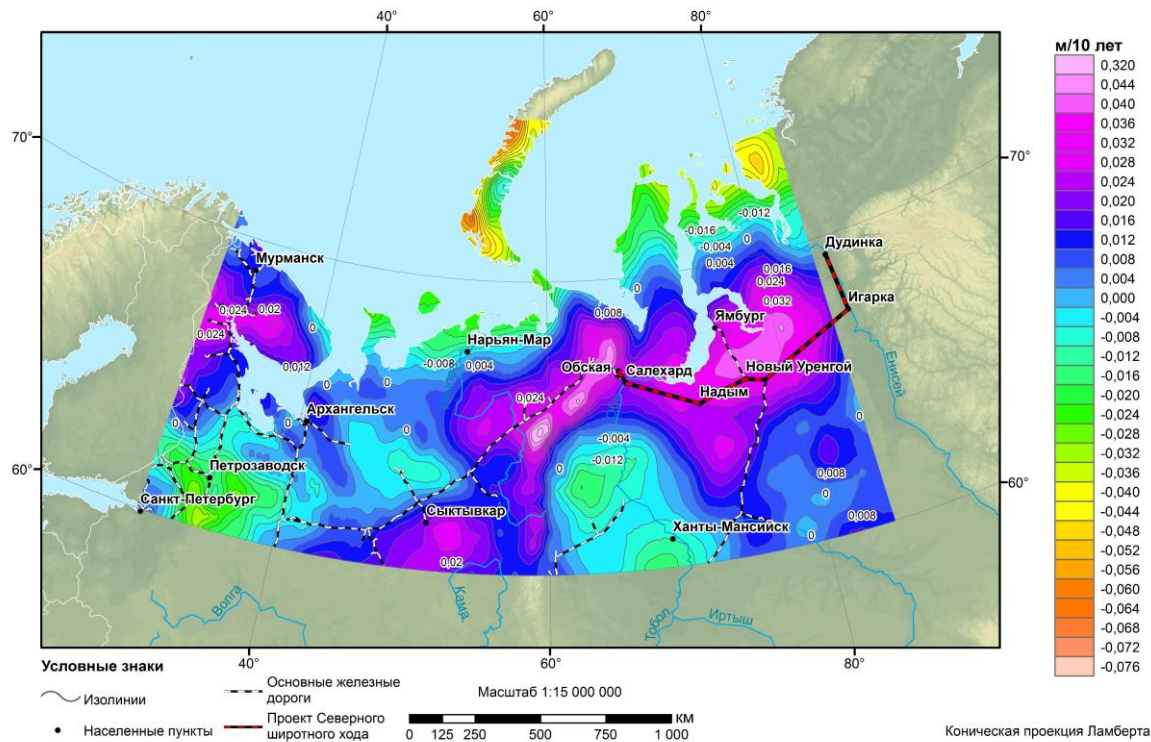
Толщина снежного покрова

Средняя скорость изменений среднемесячных аномалий толщины снежного покрова за период 1980–1999 гг.



Толщина снежного покрова

Средняя скорость изменений среднемесячных аномалий толщины снежного покрова за период 2000–2021 гг.



Сравнение 1980–1999 и 2000–2021 гг.

- В последние два десятилетия средняя толщина снежного покрова на исследуемой территории составляла 20–35 см.
- Наблюдаемое потепление климата привело к уменьшению толщины снежного покрова с 1980–1999 по 2000–2021 гг. на 2–4 см в западной и восточной частях исследуемой территории, т.е. примерно на 10%.
- Наибольшая толщина снежного покрова наблюдается в марте, когда она достигает 50–80 см в различных регионах, и от 70 до 100 см вдоль железной дороги от Сыктывкара до Салехарда.
- С июня по сентябрь снежный покров отсутствует. Скорость уменьшения снежного покрова может достигать 2,5–3,5 см за 10 лет в северной части этого региона, как на Кольском полуострове, так и в районе залива Обской губы.



Выводы (1)

- Потепление климата на исследуемой территории происходит очень неравномерно в течение года (от 0,5 °С до 2,6 °С между 1980–1999 и 2000–2021 гг.).
- Скорость повышения температуры воздуха максимальна именно в последние 20 лет и достигает 0,5 °С за 10 лет.
- Наблюдаемое потепление климата привело к уменьшению толщины снежного покрова на 2–4 см с 1980–1999 по 2000–2021 гг. в западной и восточной частях исследуемой территории, т.е. примерно на 10%



Выводы (2)

- Поскольку климат становится теплее, температура почвы значительно повышается.
- Среднее изменение температуры в верхних 10 м почвы между периодами 1980–1999 и 2000–2021 гг. варьирует от 0,2 °С до 0,8 °С.
- Проведенный анализ выявил значительную пространственную и временную неоднородность изменчивости рассматриваемых гидрометеорологических параметров.
- Эти результаты свидетельствуют о необходимости тщательного изучения климатических параметров вдоль отдельных участков железной дороги.



Выводы (3)

- Современные ГИС – универсальный надежный инструмент для организации эффективной работы с пространственными данными в разных областях наук о Земле.
- Для получения новых знаний о природных процессах является оправданным повторный анализ (реанализ) ранее накопленных массивов данных с использованием актуальных методов геоинформатики.

