

И.Д. Третьяк¹, С.А. Лебедев^{1,2,3}

I.D. Tretyak¹, S.A. Lebedev^{1,2,3}

¹ Национальный исследовательский университет
«Московский институт электронной техники»

² Геофизический центр Российской академии наук

³ Майкопский государственный технологический университет

¹ National Research University of Electronic Technology

² Geophysical Center of the Russian Academy of Sciences

³ Maykop State Technological University

**МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ
ПОЧВЫ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ
СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ
INTERANNUAL VARIABILITY OF THE SOIL
TEMPERATURE IN THE ARCTIC ZONE OF THE NORTH-
WEST OF RUSSIA**

Аннотация. Исследованы изменения температуры приземного воздуха (ТПВ) акватории Белого моря и территории Мурманской и Архангельской областей и Республики Карелия, а также температура почвы на четырех горизонтах. Анализировались среднемесячные данные реанализа NOAA-CIRES-DOE 20th Century Reanalysis (Версия 3) за период 1948–2015 гг. Оцененный с помощью линейного тренда средний рост ТВП на высоте 2 м составил $+0,028$ °C/год. Для температуры почвы рост составил: $+0,0137$ °C/год на поверхности (0 см), $+0,0136$ °C/год на глубине 10 см, $+0,0142$ °C/год на глубине 40 см и $+0,0133$ °C/год на глубине 100 см.

Ключевые слова: Температура воздуха, температура почвы, реанализ NOAA-CIRES-DOE 20th Century Reanalysis V3, климатические изменения.

Abstract. Changes in the near-surface air temperature (SAT) of the White Sea and the territory of the Murmansk and Arkhangelsk regions and the Republic of Karelia, as well as the soil temperature at four horizons, have been investigated. We analyzed the average monthly data of the NOAA-CIRES-DOE 20th Century Reanalysis (Version 3) for the period 1948–2015. The average growth of SAT on 2 m height estimated using a linear trend was $+0.028$ °C/yr. For soil temperature, the growth was: $+0.0137$ °C/yr on the surface (0 cm), $+0.0136$ °C/yr on the 10 cm

depth, $+0.0142$ °C/yr on the 40 cm depth and $+0.0133$ °C/yr on the 100 cm depth.

Key words: Air temperature, soil temperature, NOAA-CIRES-DOE 20th Century Reanalysis V3, climate changes.

Субарктическая зона России особенно уязвима к изменению климата, поскольку в зоне вечной мерзлоты расположена инфраструктура на сотни миллиардов долларов. В то же время, по данным наблюдений с середины 1970-х гг. средние температуры здесь растут в 2,5 раза быстрее, чем в целом по планете [Второй оценочный..,2014]. В таких условиях происходит изменения состояния вечной мерзлоты. Островковые зоны вечной мерзлоты в арктической зоне северо-запада России находятся на Кольском полуострове, где инфраструктура ОАО «РЖД» особенно уязвима перед негативными факторами регионального изменения климата.

Для анализа межгодовой изменчивости состояния атмосферы и почвы в арктической зоне северо-запада России был выбран реанализа NOAA-CIRES-DOE 20th Century Reanalysis (Версия 3) [Slivinski L.C., 2019] за период 1948–2015 гг. с пространственным разрешением 1° по долготе и широте. Расчеты линейного тренда проводились для региона 28° – 45° в.д. и 61° – 70° с.ш. по среднемесячным данным температуры приземного воздуха (ТПВ) и температуры почвы (ТП) на четырех горизонтах: 0, 10, 40 и 100 см.

Линей тренд для ТПВ на высоте 2 м в целом для региона составил $+0,028$ °C/год, а рост ТП составил: $+0,0137$ °C/год на поверхности (0 см), $+0,0136$ °C/год на глубине 10 см, $+0,0142$ °C/год на глубине 40 см и $+0,0133$ °C/год на глубине 100 см (Рис.1).

Эти данные хорошо согласуются с величинами, рассчитанными по данным объектов термического мониторинга вечной мерзлоты с продолжительностью функционирования 25–35 лет. Согласно работе [Павлов А.В., 2008] годовые линейные ТПВ и ТП за 1961–2003 гг. на севере европейской части России соответственно составили $+0,026$ °C/год и $+0,018$ °C/год. Временной интервал расчета межгодовых трендов во Втором оценочном докладе Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации [Второй оценочный..,2014] был расширен с 1961–2010 гг. Величины, представленные в нем, стали выше: $+0,033$ °C/год и $+0,024$ °C/год. Отношения межгодовых трендов ТП к ТПВ соответственно составили 0,69 [Павлов А.В., 2008] и 0,73 [Второй оценочный.., 2014]. По нашим данным этот коэффициент составил $0,49 \pm 0,01$. Такое различие связано с тем, что

максимальная глубина по данным о температуре почвы в данных реанализа составляет 1 м, а термический мониторинг вечной мерзлоты предполагает измерения температуры грунта на глубине 10 м.

Анализ пространственного распределения межгодовых трендов (Рис. 2) показывает, что линейный тренд ТПВ начинает расти с $+0,005 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{год}$ с севера на юг до Онежской губы Белого моря. Далее рост межгодового тренда растет в северо-восточном направлении.

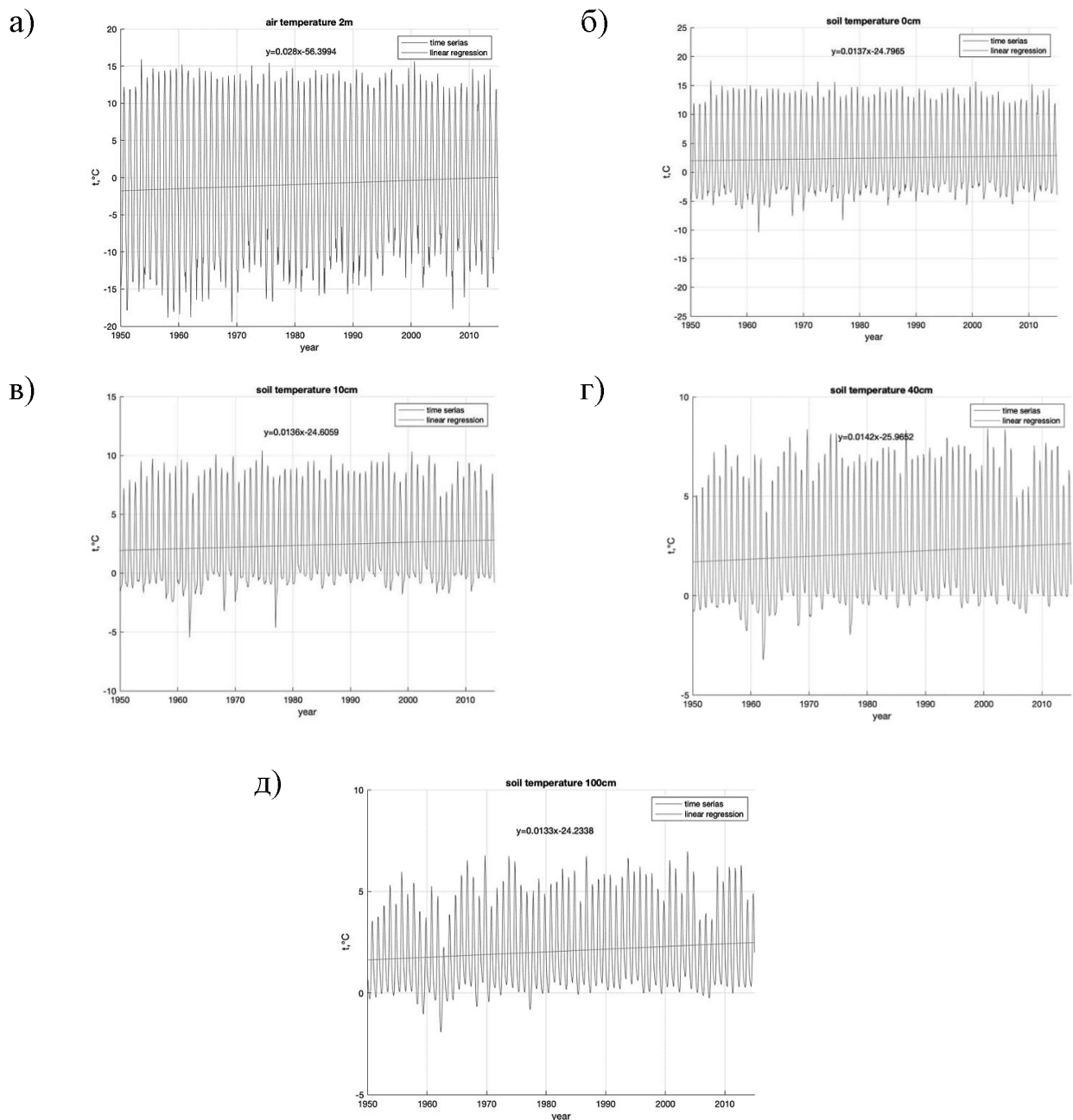


Рис. 1. Межгодовая изменчивость ТПВ (а) и ТП на горизонтах 0 см (б), 10 см (в), 40 см (г) и 100 см (д)

На Кольском полуострове и восточном побережье Белого моря (Зимний и Канинский берег и Мезенская губа) его величина превышает $+0,025$ °C/год (Рис. 2а). Линейный тренд ТП на всех горизонтах ведет себя одинаково. В южной части региона (южнее широты $61,5^\circ$) он имеет отрицательные значения. На территории республики Коми выделяется область отрицательных значений, вытянутая в северо-восточном направлении в сторону Печерского берега (Рис. 2б, 2в, 2г, 2д).

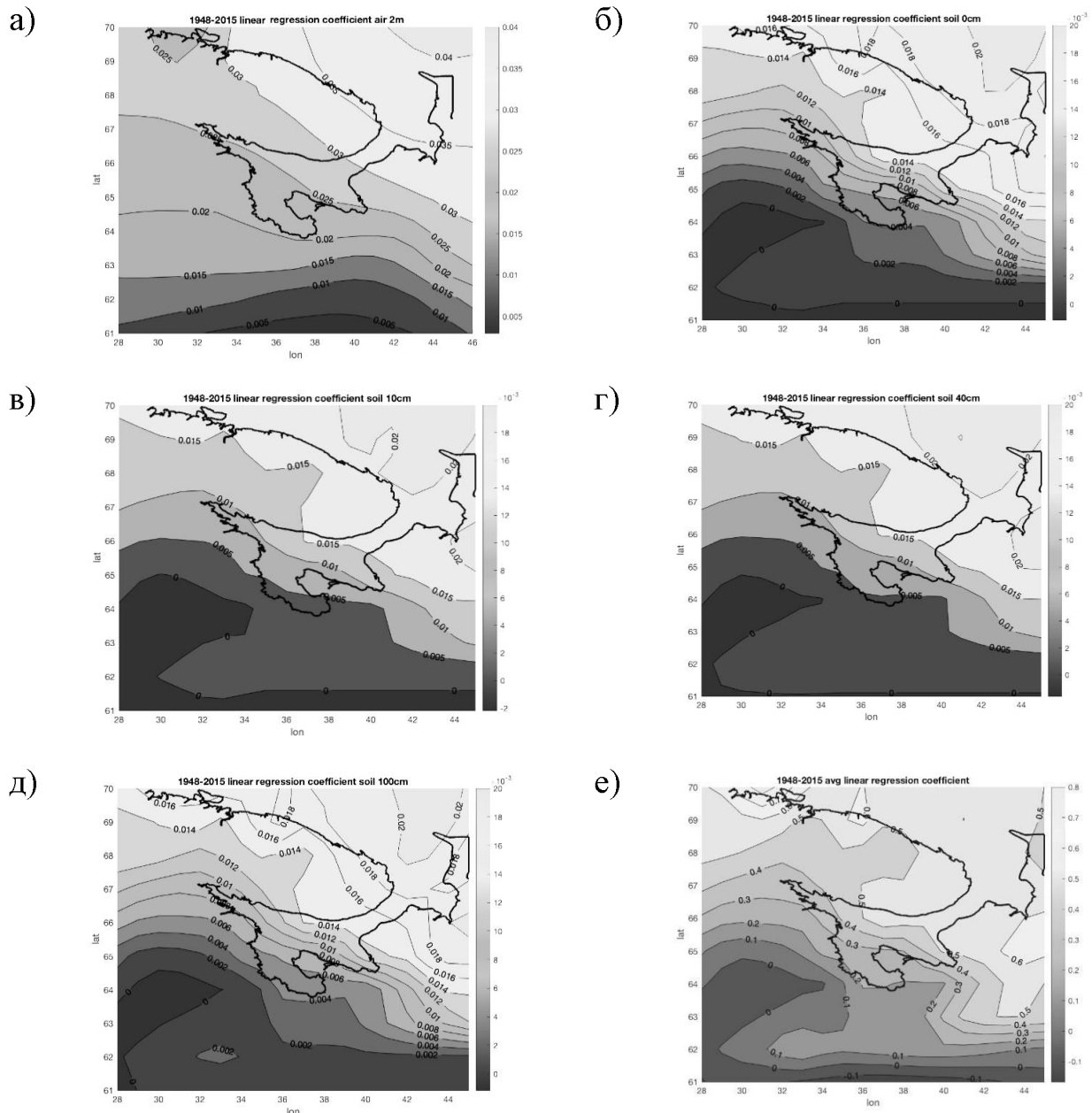


Рис. 2. Пространственная неоднородность межгодовой изменчивости ТПВ (а) и ТП на горизонтах 0 см (б), 10 см (в), 40 см (г) и 100 см (д) и соотношения линейного тренда ТП слоя 0–100 см к линейному тренду ТПВ (е)

Для Кольского полуострова межгодовой тренд ТП составляет более $+0,01$ °С/год на всех 4 горизонтах. Аналогичная картина наблюдается на восточном побережье Белого моря севернее дельты Северной Двины.

Более информативным является соотношение линейного тренда ТП слоя 0–100 см к линейному тренду ТПВ (Рис. 2е). Для Кольского полуострова и восточного побережья Белого моря севернее дельты Северной Двины его величина составляет более 0,4. При этом в районе п-ва Рыбачий и Териберки (северное побережье Кольского полуострова) и севернее Беломорско-Кулойского плато (восточное побережье Белого моря) наблюдаются области максимальных значения данного соотношения более 0,6. Именно в этих районах наблюдаются островковые зоны вечной мерзлоты, которые подвержены большому риску разрушения.

Работа выполнена в рамках гранта РНФ N 21-77-30010 (2021-2024) «Системный анализ динамики геофизических процессов в российской Арктике и их воздействие на развитие и функционирование инфраструктуры железнодорожного транспорта».

Список использованных источников

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М., 2014.
2. Павлов А.В. Тренды современных изменений температуры почвы на севере России // Криосфера Земли. 2008. Т. 12. №. 3.
3. Slivinski L.C., Compo G.P., Whitaker J.S. et al. Towards a more reliable historical reanalysis: Improvements for version 3 of the Twentieth Century Reanalysis system. // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. V. 145. №. 724. 2019.