

Оригинальная статья / Original paper

<https://doi.org/10.30758/0555-2648-2026-72-3-363-377>

УДК 551.501.6



О создании однородного ряда среднемесячной температуры воздуха в Баренцбурге (Шпицберген) с 1911 г.

В.И. Демин^{1,2}, Б.В. Иванов^{2,3}, Т.К. Карандашева², П.Н. Священников²,
М.В. Колосова², А.С. Масловский², А.Д. Ревина²✉

¹ Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия

² ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

³ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

✉ adrevina@aari.ru

ИД ВИД, 0000-0003-4561-1940; БВИ, 0000-0002-4493-9410; ТКС, 0000-0003-1859-4612;
ПНС, 0000-0003-4891-7857; АСМ, 0009-0003-0572-9255; АДР, 0000-0001-8004-7228

Аннотация. Предложена методика для приведения значений среднемесячной температуры воздуха на норвежской метеостанции “Green Harbor” (Шпицберген, залив Грён-фьорд, мыс Финнесет) в период 1911–1930 гг. к показаниям гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург», наблюдения в которой начались с 1932 г. Поправки к значениям среднемесячной температуры на метеостанции “Green Harbor” при ее значениях выше -5°C отрицательные, что вызвано отепляющим влиянием залива Грён-фьорд, наиболее выраженным в районе “Green Harbor” из-за ее положения на мысе. При более низких температурах поправки становятся положительными, предположительно из-за формирования устойчивого снежно-ледяного покрова (припая) в заливе Грён-фьорд: появление льда в заливе сильно ограничивает поступление тепла из морской воды в приземный слой атмосферы, а сама поверхность залива становится местом для накопления холодного воздуха, стекающего с прилегающих склонов, и его последующего радиационного выхолаживания. Многократная проверка созданного композитного ряда среднемесячной температуры воздуха в Баренцбурге с помощью стандартного нормального теста для проверки однородности (SNHT) во временных окнах разной ширины не показала неоднородности в месте объединения расчетных и измеренных значений.

Ключевые слова: Шпицберген, Баренцбург, приземная температура воздуха, изменение климата

Для цитирования: Демин В.И., Иванов Б.В., Карандашева Т.К., Священников П.Н., Колосова М.В., Масловский А.С., Ревина А.Д. О создании однородного ряда среднемесячной температуры воздуха в Баренцбурге (Шпицберген) с 1911 г. *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2026;72(3):363–377. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2026-72-3-363-377>

Поступила 16.03.2026

После переработки 06.06.2026

Принята 07.07.2026

© Авторы, 2026

© Authors, 2026

Development of a homogeneous air temperature series for Barentsburg (Spitsbergen) for the period from 1911

Valery I. Demin^{1,2}, Boris V. Ivanov^{2,3}, Tatiana K. Karandasheva²,
Pavel N. Sviashchennikov², Marina V. Kolosova²,
Aleksandr S. Maslovskii², Anastasiia D. Revina^{2✉}

¹ Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia

² State Scientific Center of the Russian Federation Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

³ Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

✉ adrevina@aari.ru

ID VID, 0000-0003-4561-1940; BVI, 0000-0002-4493-9410; TKK, 0000-0003-1859-4612; PNS, 0000-0003-4891-7857; ASM, 0009-0003-0572-9255; ADR, 0000-0001-8004-7228

Abstract. The Russian Barentsburg Hydrometeorological Observatory has provided the longest series of continuous instrumental air temperature observations on Spitsbergen Archipelago, starting in 1932. To extend this record further back in time, measurements from the Norwegian Green Harbour station (1911–1930) can be utilized. However, despite the proximity of the two sites (about 1.5 km), a direct merger of the data is invalid owing to substantial microclimatic differences. These differences stem from the unequal distances of the sites from Grønfjorden and from their distinct topographic settings — a low-lying area at the foot of a slope at Green Harbour versus a steep slope at Barentsburg. A method is presented for reconciling mean monthly air temperature values recorded at the Norwegian meteorological station Green Harbor (Spitsbergen Archipelago, Grønfjorden Bay, Cape Finneset) for the period 1911–1930 with observations from the Barentsburg Hydrometeorological Observatory. The corrections applied to the mean monthly temperatures at Green Harbor were negative for temperatures above -5°C , owing to the warming influence of Grønfjorden, which is most pronounced at this site because of its cape location. At lower temperatures, the corrections become positive, presumably as a result of the formation of stable snow-ice cover (fast ice) in the fjord. The appearance of ice significantly restricts heat transfer from the seawater to the surface atmosphere, while the ice-covered surface itself becomes an area for the accumulation of cold air draining from the adjacent slopes and for its subsequent radiative cooling. Once Grønfjorden freezes, an inverted temperature profile develops along the slope. The resulting composite series of monthly mean air temperatures for Barentsburg was repeatedly tested for homogeneity using the standard normal homogeneity test (SNHT) across time windows of varying widths. No inhomogeneity was detected at the junction points between the calculated and measured data.

Keywords: Spitsbergen, Barentsburg, surface air temperature, climate changes

For citation: Demin V.I., Ivanov B.V., Karandasheva T.K., Sviashchennikov P.N., Kolosova M.V., Maslovskii A.S., Revina A.D. Development of a homogeneous air temperature series for Barentsburg (Spitsbergen) for the period from 1911. *Arctic and Antarctic Research*. 2026;72(3):363–377. (In Russ.). <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2026-72-3-363-377>

Received 16.03.2026

Revised 06.06.2026

Accepted 07.07.2026

Введение

На протяжении XX в. в Арктике было отмечено два периода интенсивного роста приземной температуры воздуха (ПТВ). Первый наблюдался в 1920–1940 гг. В научной литературе он получил название «первого потепления» (ПП) Арктики в XX в. Второе, или современное, потепление началось приблизительно (в зависимости от региона) с 1970-х гг. ПП по скорости роста ПТВ оказалось сопоставимым

с современным, но произошло в то время, когда выбросы парниковых газов в атмосферу были в 4–5 раз меньше, чем в последние десятилетия [1–3]. По мнению некоторых авторов, ПП является одной из самых загадочных климатических аномалий XX века [4]. Его причины и механизмы до сих пор являются предметом научных дискуссий, что вызвано в значительной степени недостатком данных для того времени. Большинство метеорологических станций (МС) в Арктике были открыты значительно позже, и начало первого потепления осталось за пределами их инструментальных наблюдений. С обзором существующих гипотез механизмов ПП можно ознакомиться в ряде работ [4–8].

На архипелаге Шпицберген регулярные метеорологические наблюдения начались с декабря 1911 г. на мысе Финнесет в заливе Грэн-фьорд на базе норвежской радиостанции «Шпицберген Радио» (остров Западный Шпицберген), эта МС получила название “Green Harbor” (далее — GH). В 1930 г. измерения на GH прекратились, но в 1932 г. начались метеорологические наблюдения в 1,5 км северо-восточнее — в советском шахтерском поселке Баренцбург. С сентября 1933 г. и по настоящее время здесь действует российская гидрометеорологическая обсерватория (ГМО) «Баренцбург». Метеорологическая площадка ГМО переносилась в пределах границ поселка в 1978 и 1984 гг. Многократные проверки в окнах разной ширины с помощью нескольких статистических тестов не обнаружили признаков неоднородности в объединенном ряду среднемесячных значений ($ПТВ_{см}$), составленном из данных измерений на разных метеорологических площадках [9].

Ряд $ПТВ_{см}$, полученный на ГМО «Баренцбург» с 1932 г., является самым длинным из всех аналогичных рядов на архипелаге Шпицберген. Существует целесообразность его продления до декабря 1911 г. с использованием измерений на GH, так как близкое расстояние между GH и ГМО — фактически в пределах прямой видимости (см. рис. 1) — предполагает схожий характер изменений их $ПТВ_{см}$.

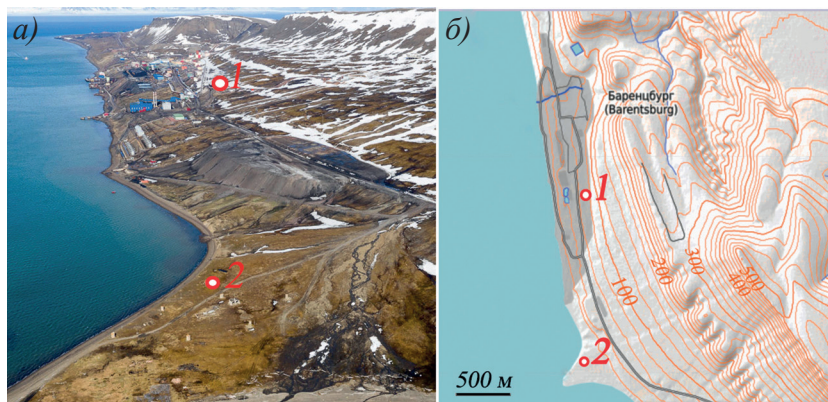


Рис. 1. Современное (с 1984 г.) положение метеорологической площадки ГМО «Баренцбург» (1) и площадки метеорологической станции “Green Harbor” в 1911–1930 гг. (2) на фотографии (a) (Rolf Stange www.Spitsbergen-Svalbard.com) и на топографической карте (б) (<https://opentopomap.org/>)

Fig. 1. The current (since 1984) position of the Barentsburg meteorological station (1) and the position of the Green Harbor meteorological station in 1911–1930 (2) in a photo (a) (photo by Rolf Stange, www.Spitsbergen-Svalbard.com) and on a topographic map (б) (<https://opentopomap.org/>)

Возможность простого объединения рядов $ПТВ_{см}$, полученных из измерений на ГН и ГМО, рассматривалась в работе Nordli [10]. Тестирование среднесезонных $ПТВ$ с помощью SNHT (Standard Normal Homogeneity Test) [11, 12] показало неоднородность такого объединенного ряда в календарный зимний сезон (декабрь–февраль): средние зимние $ПТВ$ на ГН на $2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ниже, чем на ГМО [10]. В остальные сезоны неоднородность не была обнаружена. Однако применение относительного теста SNHT, когда в качестве эталонной выступает расположенная в 420 км южнее Баренцбурга МС “Bjørneøya” (остров Медвежий) [10], нельзя признать обоснованным на фоне пространственно неоднородных изменений климата [13–15]. Не меньше вопросов и к использованию другой эталонной МС “Longyearbyen” (LB): ее площадка дважды переносилась, а в рядах наблюдений имеются многочисленные и продолжительные пропуски. Например, полностью отсутствуют данные для периодов июль 1912 г. — октябрь 1917 г., июнь 1920 г. — сентябрь 1921 г. и сентябрь 1923 г. — сентябрь 1930 г. [16, 17].

Целью работы является создание композитного ряда $ПТВ_{см}$ для поселка Баренцбург на основе рядов, полученных на ГН и ГМО. Актуальность задачи обусловлена тем, что такой композитный ряд будет включать значения $ПТВ_{см}$, характеризующие как период ПП, стартом которого можно считать 1918 г. [17–19], так и предшествующий ему период. Это позволит использовать его для сравнения особенностей первого и современного потеплений. Заметим также, что в глобальной системе наблюдений за климатом (Global Climate Observing System) Шпицберген представлен рядом данных МС “Svalbard Airport” (поселок Лонгйир, район аэропорта). Этот ряд предлагается Норвежским метеорологическим институтом (Осло) в качестве единственной эталонной климатической серии для региона [16]. Однако инструментальные наблюдения на МС “Svalbard Airport” ведутся только с августа 1975 г. Все более ранние значения $ПТВ_{см}$ для этой станции расчетные — они получены по данным других МС, включая ГН и ГМО «Баренцбург» [16, 17].

Материалы и методы

В работе использованы массивы среднемесячных ($ПТВ_{см}$) и среднесуточных ($ПТВ_{сс}$) значений приземной температуры воздуха в ГМО «Баренцбург»^{1, 2}. Сведения о состоянии ледяного покрова в заливе Грэн-фьорд взяты из наших ранних работ [20, 21]. Также привлекались данные о $ПТВ_{см}$ и $ПТВ_{сс}$, полученные на норвежских МС “Longyearbyen” (LB), “Sveagruva-I” (Sv-I) и “Sveagruva-II” (Sv-II) из архивов Норвежского метеорологического института. История метеорологических наблюдений в Баренцбурге и других МС на Шпицбергене представлена в ряде российских и норвежских работ [9, 10, 16, 17, 22]. Координаты всех МС, данные которых были использованы в работе, их символическое обозначение и периоды работы приведены в табл. 1.

Проверка созданного композитного ряда $ПТВ_{см}$ на однородность проводилась с использованием стандартного теста на однородность нормального распределения —

¹ Среднемесячная температура приземного слоя воздуха (восстановленный ряд) в поселке Баренцбург (архипелаг Шпицберген) за период 1911–2018 гг. (SAT_BBG_II). Свидетельство о государственной регистрации БД. № 2020620164, 29.01.2020.

² Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации — Мировой центр данных. Режим доступа: www.meteo.ru (дата обращения: 01.12.2025).

Таблица 1

Список метеорологических станций, данные которых использованы в работе

Table 1

List of meteorological stations used in the work

МС	Обозначение	Принадлежность	Широта, с. ш.	Долгота, в. д.	Высота н. у. м., м	Период работы, гг.
Green Harbor	GH	Норвегия	78° 02'	14° 15'	7	1911–1930
Баренцбург	ГМО	Россия	78°03'	14° 13'	74	с 1932
Sveagruva-I	Sv-I	Норвегия	77° 54'	16° 43'	9	1978–2022
Sveagruva-II	Sv-II	Норвегия	77° 54'	16° 42'	50	2016–2019
Longyearbyen	LB	Норвегия	78° 15'	15° 28'	37	1911–1977

SNHT [11, 12]. В SNHT ряд метеорологической величины $Y_1, \dots, Y_n$ разбивается на 2 части, содержащие k и $n-k$ членов, после чего находится функция:

$$T(k) = k(\bar{z}_1)^2 + (n-k)(\bar{z}_2)^2,$$

$$\text{где } \bar{z}_1 = \frac{1}{k} \frac{\sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y})}{s} \text{ и } \bar{z}_2 = \frac{1}{n-k} \frac{\sum_{i=k+1}^n (Y_i - \bar{Y})}{s}, \quad \bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i, \quad s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2.$$

Если в момент K имеет место сдвиг, функция Грэн-фьорд достигает своего максимального значения вблизи $k = K$. Нулевая гипотеза (ряд однороден) отвергается, если Грэн-фьорд выше критического значения Грэн-фьорд_{кр}, определяемого по длине выборки [11, 12].

Результаты

Некоторые особенности микроклимата вблизи ГМО «Баренцбург»

Несмотря на близкое расположение (расстояние между метеоплощадками ГМО и GH составляет 1,5 км), простое объединение рядов ПТВ_{см}, полученных на ГМО и GH, нельзя признать корректным из-за разного микроклимата. Известно, что на границах контрастных по микроклимату участков климатические показатели меняются даже сильнее, чем при переходе из одной климатической зоны в другую. В частности, микроклиматическая изменчивость термических характеристик воздуха может на порядок превышать ее характерный широтный и высотный градиент [23].

К главным факторам, ответственным за создание микроклиматических различий на участках размещения метеоплощадок ГН и ГМО, на наш взгляд, следует отнести рельеф и неодинаковое удаление от залива Грэн-фьорд [22, 24]. Все метеоплощадки ГМО в Баренцбурге — и современная, и исторические (их местоположение приведено в [9, 22, 24]) — располагаются на довольно крутом склоне, в то время как метеоплощадка ГН находилась у подножия того же самого склона — на низменном участке суши, который представляет собой мыс Финнесет. Подобные участки характеризуются более низкими значениями ПТВ за счет стока на них холодного воздуха с вышележащих склонов [23, 25, 26]. Данный эффект наиболее ярко проявляется

в тихую и ясную погоду в значениях минимальных ПТВ (зимой независимо от времени суток, а летом в ночные часы). При ветре (более 3–5 м/с), сплошной облачности и осадках, а также летом в дневные часы распределение значений ПТВ по элементам рельефа выравнивается.

Другой важный фактор, способствующий различию микроклиматов на участках расположения ГН и ГМО, — неодинаковое тепловое воздействие залива Грён-фьорд. Метеоплощадка ГН находилась примерно в 35 м от уреза воды, в то время как метеоплощадка ГМО удалена от залива на 330 м. Влияние залива неоднозначно. Зимой незамерзающий залив, окруженный более холодными массивами суши, является источником тепла, повышая ПТВ на прибрежных участках. Но этот отепляющий эффект сильно снижается или вовсе прекращается после замерзания залива. По данным визуальных и инструментальных наблюдений в Баренцбурге за период 1939–2012 гг. установлено, что устойчивый припай в заливе Грён-фьорд начинает формироваться при достижении $ПТВ_{см}$ значений, равных $-7,0...-7,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ [20, 21]. При понижении $ПТВ_{см}$ до $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ вероятность формирования устойчивого припая составляет более 50 %, а при $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже вероятность достигает уже 99 %. Летом влияние залива Грён-фьорд на пространственное распределение ПТВ на прилегающих участках суши будет слабее из-за меньшей разности температур воды и воздуха в этот сезон года [24]. Суммарный тепловой эффект от влияния рельефа и залива предсказать довольно трудно, так как эти факторы могут воздействовать на ПТВ с разным знаком.

В 2013–2014 гг. на мысе Финнесет в месте расположения метеорологической площадки ГН и на современной площадке ГМО «Баренцбург» были установлены автоматические метеорологические комплексы. Сравнительная годовая серия измерений, проанализированная нами, показала, что в районе ГН теплее, чем на ГМО: в среднем на $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ зимой 2013–2014 гг. и на $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ в летние сезоны 2013 и 2014 гг. [22]. Соотношение зимних значений $ПТВ_{см}$, полученных в ходе эксперимента, оказалось другим по знаку по сравнению с оценкой, полученной ранее [10], согласно которой на ГН холоднее, чем на ГМО. Повторные сравнительные измерения, выполненные авторами с июля 2024 по август 2025 г., подтвердили полученные ранее результаты (2013–2014 гг.): в районе ГН зимние значения ПТВ выше, чем на расположенной выше и более удаленной от берега залива площадке ГМО.

Однако обе серии параллельных измерений 2013–2014 и 2024–2025 гг. были проведены на фоне значительно более высоких зимних значений $ПТВ_{см}$, чем те, которые наблюдались здесь в 1910–1920-е гг. Значения $ПТВ_{см}$ в Баренцбурге в декабре–феврале 2013–2014 гг. были в диапазоне $-2,3...-8,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, а зимой 2024–2025 гг. в диапазоне $-3,9...-8,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Устойчивый припай на акватории залива не образовывался. Наблюдались только начальные виды льда (ниласа) в его мелководной части. Из-за наличия открытой воды прибрежные участки местности, включая мыс Финнесет, оказались теплее, чем более удаленные от берега залива и расположенные выше по склону (район ГМО). Но в 1911–1930 гг., согласно измерениям на ГН, зимние $ПТВ_{см}$ опускались до уровня $-25...-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, а залив Грён-фьорд полностью замерзал [18, 27]. В случае замерзания залива теплообмен с атмосферой резко уменьшается, а его покрытая льдом поверхность и прилегающие участки суши становятся местом накопления холодного воздуха. В таких условиях более вероятно типичное для зимы инверсионное распределение $ПТВ_{см}$ вдоль склона, при котором в районе ГМО должно было быть теплее, чем на ГН.

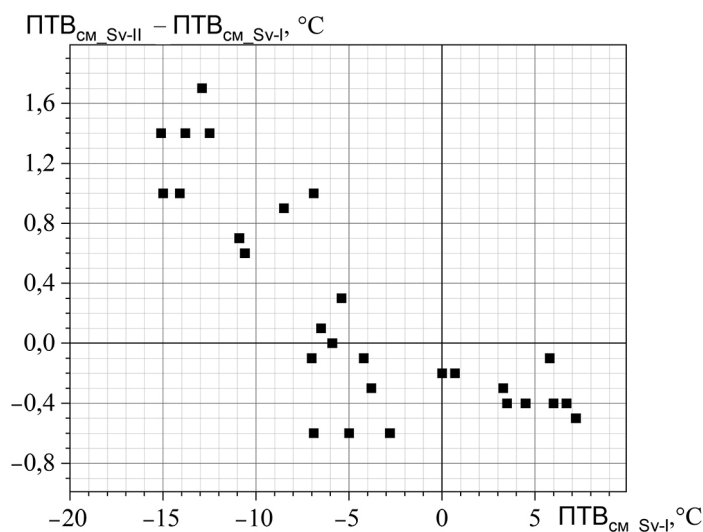


Рис. 2. Разности среднемесячных значений приземной температуры воздуха между метеостанциями Sveagruva-II и Sveagruva-I ($PTB_{CM_Sv-II} - PTB_{CM_Sv-I}$) в зависимости от среднемесячной температуры на Sveagruva-I (PTB_{CM_Sv-I}), 2016–2019 гг.

Fig. 2. Differences in mean monthly surface air temperature between the weather stations Sveagruva-II and Sveagruva-I ($SAT_{mm_Sv-II} - SAT_{mm_Sv-I}$) plotted against the mean monthly temperature at Sveagruva-I (SAT_{mm_Sv-I}), for 2016–2019

В качестве примера можно рассмотреть ситуацию, наблюдавшуюся в норвежском поселке Свеа (МС “Sveagruva”), расположенном в 60 км к юго-востоку от Баренцбурга, в заливе Ван-Майен-фьорд. Остров Акселя, расположенный на входе в этот залив, ограничивает поступление теплых атлантических вод в его внутренние районы. Морской ледяной покров (припай) здесь образуется в более ранние сроки, а разрушается позже [28, 29]. В 2016–2019 гг. здесь одновременно работали две МС, расположенные на небольшом удалении друг от друга (~1 км). Одна из них (Sv-I) располагалась вблизи взлетно-посадочной полосы (ВПП) местного аэродрома на ровном низменном участке (9 м н. у. м.). Вторая (Sv-II) находилась на склоне горы на высоте 50 м н. у. м. По своему расположению (рельеф, высота н. у. м., расстояние до уреза воды) пара этих станций очень похожа на сравниваемую нами пару ГН и ГМО. В летний период и даже при небольших отрицательных значениях PTB_{CM} (до $-5^{\circ}C$) на нижней МС на $0,4^{\circ}C$ теплее, чем на верхней (рис. 2). При значениях PTB_{CM} ниже $-8 \dots -10^{\circ}C$, когда Ван-Майен-фьорд замерзает, соотношение (разность) меняет знак, а при $-10 \dots -15^{\circ}C$ на верхней МС теплее уже на $1 \dots 1,5^{\circ}C$.

Если предположить, что разность значений PTB_{CM} между ГН и ГМО (только по знаку) зависит от наличия или отсутствия льда в заливе Грён-фьорд, то придется признать, что получение поправок для приведения измерений на ГН к показаниям на ГМО по сериям современных параллельных измерений представляется маловероятным из-за продолжающегося потепления климата. Для иллюстрации, в 1911–1930 гг. средние зимние значения PTB на ГН составляли $-15,7^{\circ}C$ ($-20,4^{\circ}C$ для периода 1911–1918 гг.). В период 2001–2026 гг. средняя зимняя (календарная) PTB достигла значения $-8,5^{\circ}C$. Даже ее 5 % квантиль, который можно принять за границу экстремально низких значений, составил всего $-12,5^{\circ}C$.

Расчет микроклиматических поправок для приведения измерений на мысе Финнесет к показаниям в ГМО «Баренцбург»

В климатологии классическим приемом получения поправок при приведении данных одной МС к другой является метод разностей (см., например, [30]). Рассмотрим в качестве базовой ЛВ. В различные временные периоды она функционировала одновременно с ГН (1911–1930 гг.) и с ГМО (1932–1977 гг.). Для периода 1911–1930 гг. для каждого месяца можно определить среднюю разность ПТВ_{см} (Δ_1) между ГН (ПТВ_{см_ГН}) и ЛВ (ПТВ_{см_ЛВ}): $\Delta_1 = \text{ПТВ}_{\text{см_ГН}} - \text{ПТВ}_{\text{см_ЛВ}}$. Для периода 1932–1977 гг. находятся средние разности ПТВ_{см} (Δ_2) для ГМО (ПТВ_{см_ГМО}) и ЛВ: $\Delta_2 = \text{ПТВ}_{\text{см_ГМО}} - \text{ПТВ}_{\text{см_ЛВ}}$. Поправка для приведения показаний ГН к показаниям ГМО в каждом месяце рассчитывается, как $\Delta_K = \Delta_2 - \Delta_1$ (см. табл. 1). Несмотря на то, что параллельная работа пар ГН–ЛВ и ГМО–ЛВ происходила в разные периоды времени, можно считать, что изменения климата в районах, удаленных друг от друга на 35 км, происходят схожим образом и мало влияют на оценку Δ_K .

В период с мая по сентябрь поправки (Δ_K) отрицательные — на ГН теплее, чем на ГМО. Зимой соотношение меняется — на ГН холоднее. Как видим, в этом случае зимние соотношения ПТВ_{см} на ГН и ГМО другие по знаку, чем мы получили в ходе эксперимента 2013–2014 гг.

Таблица 2

Календарные (месячные) поправки для приведения значений ПТВ_{см} на МС “Green Harbor” к показаниям ГМО «Баренцбург»

Table 2

Calendar (month) corrections for converting the SAT_{mm} values at the Green Harbor weather station to those at the Barentsburg weather station

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Δ_K	1,3	2,1	1,9	0,8	–0,6	0,0	–0,2	–0,5	–0,4	0,4	1,2	2,0

В среднем для календарной зимы Δ_K составляет +1,8 °С, что близко к оценке, полученной в работе Nordli [10], согласно которой зимние ПТВ_{см} на ГМО в среднем на 2,2 °С выше, чем на ГН. Однако такой метод получения поправок, когда для каждого месяца ее величина и знак остаются постоянными, нам представляется не вполне корректным. Трудно предположить также, что на очень коротком расстоянии (позиции ГН и ГМО разделяет 1,5 км) различие в значениях среднесезонных ПТВ может быть настолько большим. Более вероятно, что такие заметные различия могут наблюдаться не в среднем (постоянно), а только в определенных условиях (отдельных годах или сезонах). Мы считаем, что положительная поправка может быть только в месяцы с наличием в заливе льда, в противном случае — она отрицательная.

Для проверки данной гипотезы рассмотрим, как ведут себя разности в зависимости от значений ПТВ. На рис. 3 показана разность значений ПТВ_{см} между ГН и ЛВ и между ГМО и ЛВ в зависимости от ПТВ_{см} на ГН (первая пара сравниваемых МС) и от ПТВ_{см} на ГМО (вторая пара сравниваемых МС). Расчет проводился по 5-градусным градациям ПТВ_{см}. Так как очень низкие зимние ПТВ_{см}, которые наблюдались на ГН в 1910–1930 гг., в последующие десятилетия (в период измерений на ГМО) уже не встречались, были дополнительно привлечены среднесуточные значения ПТВ (ПТВ_{сс}), которые изменяются в более широком диапазоне по сравнению

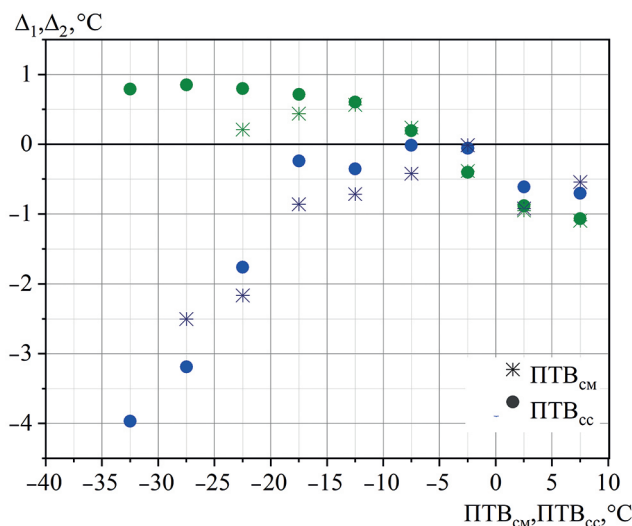


Рис. 3. Разности среднемесячных (PTB_{cm}) и среднесуточных (PTB_{cc}) температур воздуха на метеостанциях (МС) “Green Harbor” и “Longyearbyen” (Δ_1 , синие значки) в зависимости от среднемесячной и среднесуточной температуры на МС “Green Harbor” (1911–1930 гг.) и разности среднемесячных (PTB_{cm}) и среднесуточных (PTB_{cc}) температур воздуха на метеостанциях между ГМО «Баренцбург» и МС “Longyearbyen” (Δ_2 , зеленые значки) в зависимости от среднемесячной и среднесуточной температуры на ГМО «Баренцбург» (1932–1977 гг.)

Fig. 3. The differences in mean monthly (SAT_{mm}) and daily (SAT_{dm}) air temperature differences between Green Harbor and Longyearbyen (Δ_1 , blue symbols) relative to the Green Harbor 1911–1930 baseline, and between Barentsburg and Longyearbyen (Δ_2 , green symbols) relative to the Barentsburg 1932–1977 baseline

с PTB_{cm} . Мы предполагаем, что поправки, рассчитанные осреднением по рядам разностей PTB_{cc} , в первом приближении численно близки к соответствующим поправкам к PTB_{cm} . Рис. 3 подтверждает это предположение. Одновременно со средними значением разностей в каждой градации рассчитывались и их среднеквадратичные отклонения (СКО).

ГМО и LB расположены в схожих микроклиматических условиях. По этой причине разность $\Delta_2 = PTB_{cm_ГМО} - PTB_{cm_LB}$ отражает сезонные различия значений ПТВ между этими МС. Летом разность Δ_2 отрицательна — внутренние (удаленные от моря) участки суши нагреваются сильнее [31, 32]. Зимой разность Δ_2 положительна из-за близости ГМО к западному побережью архипелага, омываемого теплым Западно-Шпицбергенским течением.

Разность $\Delta_1 = PTB_{cm_GH} - PTB_{cm_LB}$ зимой ведет себя иначе. При температурах воздуха ниже -7 – -8 °C она уменьшается, что может быть связано с замерзанием залива Грён-фьорд.

Значения $PTB_{cm_ГМО}$ можно представить в виде суммы значений PTB_{cm_GH} и микроклиматической поправки Δ . Значение Δ можно найти по разности величин Δ_2 и Δ_1 .

Разность величин Δ_2 и Δ_1 , принятая нами за поправку Δ к значениям PTB_{cm} на GH для приведения их к показаниям PTB_{cm} на ГМО, представлена на рис. 4. При значениях PTB_{cm} выше -5 °C поправка Δ отрицательна и по своему среднему

значению ($-0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$) близка к той, что получена ранее методом разностей для календарных месяцев (см. табл. 2). При значениях $\text{ПТВ}_{\text{см}}$ ниже $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ поправка Δ становится положительной и увеличивается с понижением $\text{ПТВ}_{\text{см}}$. В простейшем случае это увеличение можно представить в виде линейной функции. Если обозначить $\text{ПТВ}_{\text{см_ГН}}$ как t , то математически поправку Δ можно представить в следующем виде:

$$\Delta = \begin{cases} -0,3\text{ }^{\circ}\text{C} & \text{при } t \geq -5\text{ }^{\circ}\text{C} \\ -0,17t - 1,1 & \text{при } t < -5\text{ }^{\circ}\text{C} \end{cases}$$

Рост поправки Δ с понижением $\text{ПТВ}_{\text{см}}$ может объясняться двумя причинами. Во-первых, с понижением $\text{ПТВ}_{\text{см}}$ возрастает вероятность того, что поверхность залива Грэн-фьорд замерзает (частично и полностью). Во-вторых, сами по себе очень низкие ПТВ в сложном рельефе обусловлены стоком холодного воздуха в понижения рельефа и его последующим радиационным выхолаживанием.

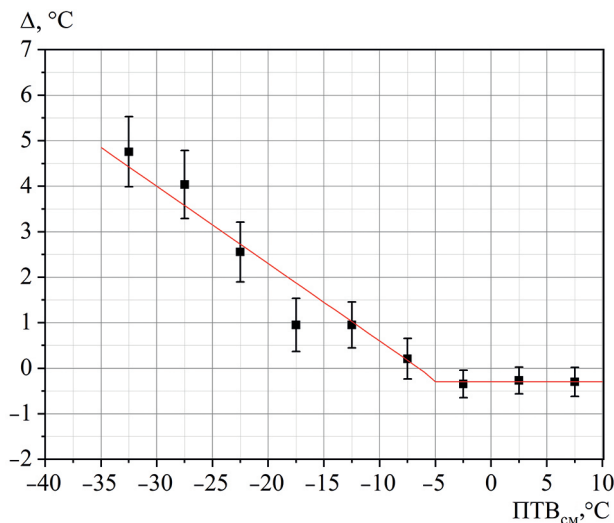


Рис. 4. Величина поправки (Δ) и ее стандартная ошибка для приведения показаний МС “Green Harbor” к показаниям ГМО «Баренцбург» в зависимости от значений $\text{ПТВ}_{\text{см}}$ на МС “Green Harbor”

Fig. 4. Adjustment magnitude (Δ) and associated standard errors for converting Green Harbor observations to Barentsburg references, plotted against SAT_{mm} at Green Harbor

На рис. 4 указана также стандартная ошибка значения поправки. Она рассчитывалась по значениям среднеквадратичных отклонений разностей $\text{ПТВ}_{\text{сс}}$ ($\text{ПТВ}_{\text{сс_ГМО}} - \text{ПТВ}_{\text{сс_ЛБ}}$ и $\text{ПТВ}_{\text{см_ГН}} - \text{ПТВ}_{\text{см_ЛБ}}$) в выбранных 5-градусных градациях, уменьшенных в $n^{1/2}$ раз, где n — число дней в месяце (в среднем принято, что $n = 30$).

Проверка однородности композитного ряда $\text{ПТВ}_{\text{см}}$ в Баренцбурге для периода 1911–1941 гг.

В отсутствие эталонного ряда единственным вариантом проверки однородности ряда $\text{ПТВ}_{\text{см}}$ может быть только так называемое абсолютное тестирование. Главная сложность применения такого тестирования заключается в том, что изменения значений $\text{ПТВ}_{\text{см}}$ происходят не только по причинам методического характера (перенос

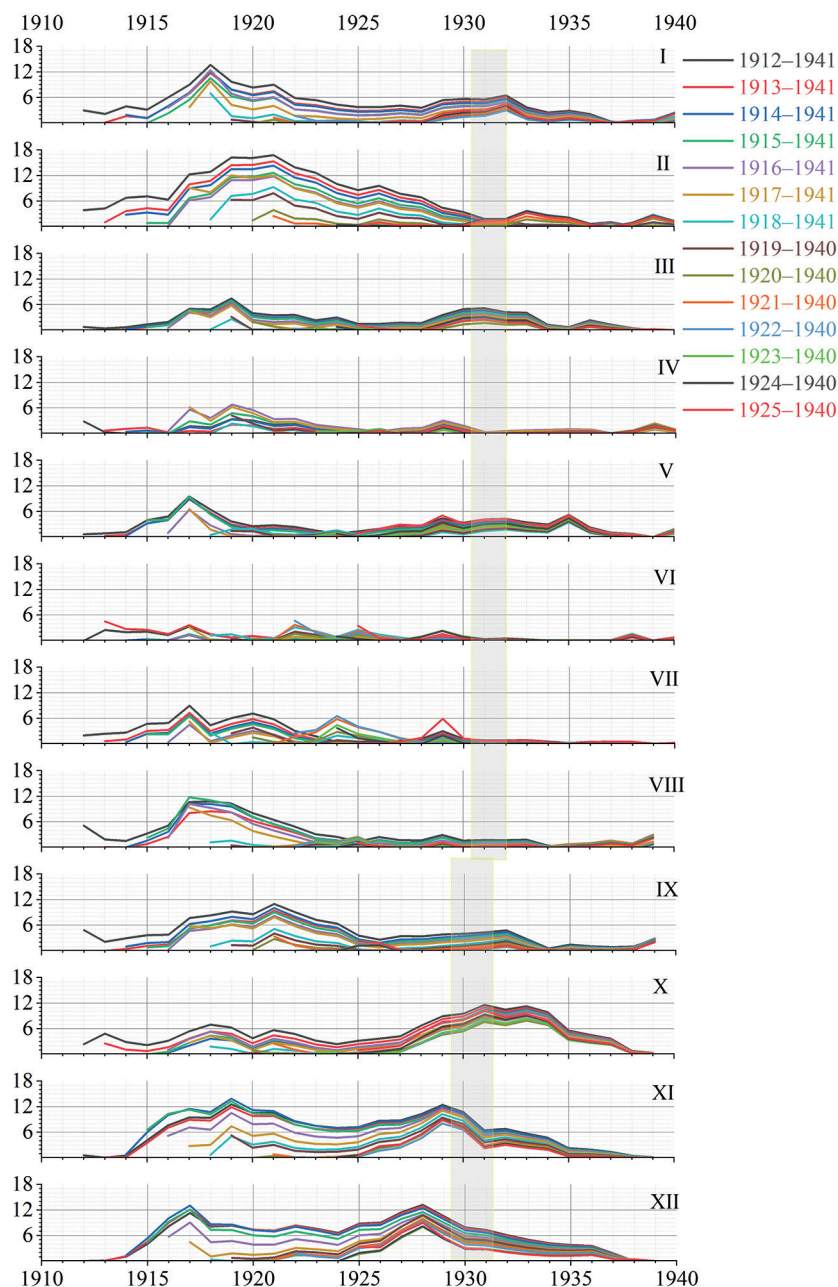


Рис. 5. Вариации параметра Грөн-фьорд (тест SNHT) в композитном ряду ПТВ_{см} в Баренцбурге. Серой заливкой выделен период, когда ПТВ_{см} в Баренцбурге рассчитывались по данным МС “Longyearbyen”

Fig. 5. Variations in the *Grönfjord* parameter (SNHT test) in the composite series of SAT_{mm} in Barentsburg.

The gray shading indicates the period when SAT_{mm} in Barentsburg were calculated using the Longyearbyen data

станции, смена приборов, изменение количества сроков наблюдений и методик измерений и т. д.), но и в силу естественных изменений климата. Измерения на ГН выполнены в холодную климатическую эпоху, в то время как начало измерений на ГМО пришлось уже на теплый период [19]. Статистические тесты могут отреагировать на естественное повышение $ПТВ_{см}$ так же, как и на перенос метеоплощадки в более «теплое» место.

Одно из решений этой проблемы заключается в разделении всей серии наблюдений на более короткие ряды. При этом мы исходим из того, что положения точек неоднородности, обусловленных изменениями климата, будут смещаться с изменением выбранного для тестирования временного интервала. При этом пик параметра Tk окажется в широком временном диапазоне, в то время как пик, обусловленный переносом МС, всегда будет привязан к определенной дате. В данной работе мы последовательно тестировали на однородность ряды $ПТВ_{см}$ для периодов 1912–1941, 1913–1941, ..., 1925–1941 гг. Так как на коротких выборках резко снижается надежность тестов, минимальной по длине ряда стала серия 1925–1941 гг. Между закрытием ГН и открытием ГМО имеется перерыв в наблюдениях (сентябрь 1930 г. — июль 1932 г.). Отсутствующие значения $ПТВ_{см}$ для ГМО в этот период были заменены расчетными оценками, полученными по данным наблюдений на метеостанции LB [22]. Результаты тестирования всех выбранных подсерий $ПТВ_{см}$ приведены на рис. 5.

Критические значения функции $Гр\ddot{e}н-фьорд_{кр}$ зависят от длины ряда. Для 30-летнего ряда оно равно 7,8, для 20-летнего ряда снижается до 7,1, а для 15-летнего — до 6,7 [11, 12]. Практически во все месяцы ряды $ПТВ_{см}$ неоднородны на длинных сериях. Превышения $Гр\ddot{e}н-фьорд$ значений $T(k)_{кр}$ имели место в конце 1910-х и начале 1920-х гг. и связаны с потеплением климата в регионе [19]. Превышение $Гр\ddot{e}н-фьорд_{кр}$ вблизи момента объединения рядов наблюдается только в октябре (1931 г.), ноябре (1929 г.) и декабре (1928 г.). Неоднородность ряда $ПТВ_{см}$ в октябре появилась на фоне общего повышения октябрьских $ПТВ_{см}$, которое началось еще до объединения рядов, расчетных и измеренных $ПТВ_{см}$, и продолжилось позже, поскольку мы видим широкий пик $T(k)$. В ряду декабрьских значений $ПТВ_{см}$ произошел резкий скачок $T(k)$ на рубеже 1928–1929 гг. Это событие случилось еще во время работы ГН и также вызвано изменением климата. Неоднородность, которую можно было бы отнести к методической, наблюдается только в ноябре 1929 г. Однако неоднородность, присутствующая только в одном месяце, не позволяет говорить о методической неоднородности всего ряда.

Заключение

Предложен метод для приведения значений $ПТВ_{см}$ на метеорологической станции “Green Harbor” в период ее работы в 1911–1929 гг. к показаниям, полученным на ГМО «Баренцбург». Величины поправок к значениям $ПТВ_{см}$ метеорологической станции “Green Harbor” зависят от температуры воздуха. При $ПТВ_{см}$ выше $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ поправки небольшие и отрицательные ($-0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$). Это обусловлено тем обстоятельством, что в месте расположения МС “Green Harbor” теплее, чем в районе ГМО «Баренцбург» из-за обогревающего влияния залива Грэн-фьорд. При температурах воздуха ниже $-5\ldots-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ поправки становятся положительными (в районе МС “Green Harbor” холоднее, чем в районе ГМО «Баренцбург»). Появление положительных поправок происходит из-за формирования устойчивого снежно-ледяного покрова (припая) в за-

ливе Грён-фьорд. В таких условиях поток тепла из океана в атмосферу практически отсутствует, а поверхность фьорда и прилегающие к нему низменные участки суши становятся естественной площадкой для накопления стекающего с окружающих склонов гор холодного воздуха. С понижением $ПТВ_{см}$ до $-20...-30$ °C величина поправки увеличивается до 2–3 °C.

Введение предложенных поправок в значения $ПТВ_{см}$, полученных на МС “Green Harbor”, позволяет создать непрерывный композитный ряд $ПТВ_{см}$ для Баренцбурга для периода декабрь 1911 г. — июль 1941 г. Он состоит из значений, рассчитанных по измерениям, выполненным на МС “Green Harbor” (декабрь 1911 г. — август 1930 г.), МС “Longyearbyen” (сентябрь 1930 г. – июль 1932 г.), и собственно значений $ПТВ_{см}$, полученных на ГМО «Баренцбург» начиная с августа 1932 г. Применение статистических тестов (SNHT) не показало в данном ряду методической неоднородности, которая могла появиться на границе объединения рядов, составленных из рассчитанных и измеренных значений $ПТВ_{см}$.

Измерения на ГМО «Баренцбург» в 1932–1941 гг. были продолжены после перерыва в декабре 1947 г. Ряд $ПТВ_{см}$ с 1932 г. по настоящее время является однородным [17]. С учетом однородности композитного ряда $ПТВ_{см}$ в период 1911–1941 гг. можно говорить об однородности всего ряда $ПТВ_{см}$ в Баренцбурге начиная с декабря 1911 г.

Конфликт интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Финансирование. Работа выполнена в рамках раздела 5.1.4 «Мониторинг состояния и загрязнения природной среды, включая криосферу, в Арктическом бассейне и районах научно-исследовательского стационара “Ледовая база Мыс Баранова”, Гидрометеорологической обсерватории Тикси и Российского научного центра на архипелаге Шпицберген» (проект 24 НИТР/ОПР Росгидромета).

Competing interests. No conflict of interests.

Funding. The work was carried out within the framework of section 5.1.4 “Monitoring the state and pollution of the natural environment, including the cryosphere, in the Arctic basin and areas of the research station “Ice base Mys Baranova”, the Tiksi Hydrometeorological Observatory and the Russian scientific center on the Spitsbergen archipelago” (project 24 NITR/OPR Roshydromet).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Delworth T.L., Knutson T.R. Simulation of early 20th century global warming. *Science*. 2000;287(5461):2246–2250. <https://doi.org/10.1126/science.287.5461.2246>
2. Johannessen O.M., Bengtsson L., Miles M.W., Kuzmina S.I., Semenov V.A., Alekseev G.V., Nagurnyi A.P., Zakharov V.F., Bobylev L.P., Pettersson L.H., Hasselmann K. Arctic climate change: observed and modeled temperature and sea-ice variability. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*. 2004;56(4):328–341. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v56i4.14418>
3. Thompson D.M., Cole J.E., Shen G.T., Tudhope A.W., Meehl G.A. Early twentieth-century warming linked to tropical Pacific wind strength. *Nature Geoscience*. 2015;8(2):117–121. <https://doi.org/10.1038/NGEO2321>
4. Bengtsson L., Semenov V.A., Johannessen O.M. The early twentieth-century warming in the Arctic — a possible mechanism. *J. Climate*. 2004;17:4045–4057. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017<4045:TETWIT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<4045:TETWIT>2.0.CO;2)
5. Yamanouchi T. Early 20th century warming in the Arctic: a review. *Polar science*. 2011;5(1):53–71. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2010.10.002>
6. Hegerl G.C., Brönnimann S., Schurer A., Cowan T. The early 20th century warming: Anomalies, causes, and consequences. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*. 2018;9(4):e522. <https://doi.org/10.1002/wcc.522>

7. Bokuchava D.D., Semenov V.A. Mechanisms of the early 20th century warming in the Arctic. *Earth-Science Reviews*. 2021;222:103820. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103820>
8. Li F., Semenov V.A., Keenlyside N.S., Aldonina T.A., Ha K.J., Chung E.S., Yang X.Q. Unveiling the role of sea-ice loss in early-20th-century Arctic warming. *Geophysical Research Letters*. 2026;53:e2025GL121178. <https://doi.org/10.1029/2025GL121178>
9. Demin V.I., Ivanov B.V., Karandasheva T.K., Revina A.F., Antsiferova A.R. Testing the homogeneity of climate series of surface air temperature in Barentsburg (Svalbard). *Czech Polar Reports*. 2024;14(2):281–296. <https://doi.org/10.5817/CPR2024-2-17>
10. Nordli Ø., Hanssen-Bauer I., Førland E.J. Homogeneity analysis of temperature and precipitation series from Svalbard and Jan Mayen. *MET Norway Rep. 16/1996*. Oslo: Norwegian Meteorological Institute; 1996. 41 p.
11. Alexandersson H. A homogeneity test applied to precipitation data. *J. Climatol.* 1986;6:661–675. <https://doi.org/10.1002/joc.3370060607>
12. *European Climate Assessment & Dataset (ECA&D). Algorithm theoretical basis document (ATBD). Version: 10.7*. Project team ECA&D. Project number: EPJ029135. Royal Netherlands Meteorological Institute KNMI; 2013. Available at: <https://www.ecad.eu/documents/atbd.pdf> (accessed: 02.03.2026).
13. Isaksen K., Nordli Ø., Ivanov B., Køltzow M.A. Ø., Aaboe S., Gjeltén H.M., Mezghani A., Eastwood S., Førland E., Benestad R.E., Hanssen-Bauer I., Brækkan R., Sviashchennikov P., Demin V., Revina A., Karandasheva T. Exceptional warming over the Barents area. *Scientific Reports*. 2022;12(9371). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-13568-5>
14. Rantanen M., Karpechko A.Y., Lipponen A., Nordling K., Hyvärinen O., Ruosteenoja K., Vihma T., Laaksonen A. The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979. *Communications Earth Environment*. 2022;3:168. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00498-3>
15. Карандашева Т.К., Иванов Б.В., Демин В.И., Ревина А.Д., Ильющенко И.А., Анциферова А.Р. Современные тенденции приземной температуры воздуха в регионе Баренцева и Карского морей. *Российская Арктика*. 2024;6(3):55–64. <https://doi.org/10.24412/2658-4255-2024-3-55-64>
Karandasheva T.K., Ivanov B.V., Demin V.I., Revina A.D., Ilyushchenko I.A., Antsiferova A.R. Current trends in surface air temperature changes in the Barents and Kara Seas region. *Russian Arctic*. 2024;6(3):55–64. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2658-4255-2024-3-55-64>
16. Nørdli Ø. The Svalbard airport temperature series. *Bulletin of Geography. Physical Geography Series*. Online. 1 December 2010. 2010;3:5–25. <https://doi.org/10.2478/bgeo-2010-0001>
17. Nørdli Ø., Przybylak R., Ogilvie A.E.J., Isaksen K. Long-term temperature trends and variability on Spitsbergen: the extended Svalbard airport temperature series, 1898–2012. *Polar Research*. 2014;33(1):21349. <https://doi.org/10.3402/POLAR.V33.21349>
18. Birkeland B.J. Spitsbergens klima. (The climate of Spitsbergen.). *Naturen*. 1920;44(9–10):278–288.
19. Demin V., Ivanov B., Karandasheva T., Revina A. Determining the breaking points of the trend in long-term changes of air temperature in Barentsburg (Svalbard). *Czech Polar reports*. 2023;13(2):197–209. <https://doi.org/10.5817/CPR2023-2-16>
20. Иванов Б.В., Журавский Д.М. Ледовые условия в заливе Грён-фьорд (Шпицберген) в течение 1974–2008 гг. *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2010;2(85):27–31.
Ivanov B.V., Zhuravskiy D.M. Ice conditions in Grønfjorden (Svalbard) during 1974–2008. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. 2010;2(85):27–31. (In Russ.).
21. Иванов Б.В., Павлов А.К., Андреев О.М., Журавский Д.М., Священников П.Н. Исследования снежно-ледяного покрова залива Грён-фьорд (арх. Шпицберген): исторические данные, натурные исследования, моделирование. *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2012;2(92):43–54.

- Ivanov B.V., Pavlov A.K., Andreev O.M., Zhuravskiy D.M., Svyashchennikov P.N. Investigation of snow and ice cover in Grøn fjorden (Spitsbergen): historical data, in situ observations and modeling. *Problemy Arktiki i Antarkтики*. 2012;2(92):43–54. (In Russ.).
22. Демин В.И., Иванов Б.В., Ревина А.Д. Восстановление ряда приземной температуры воздуха на Российской станции в поселке «Баренцбург» (Шпицберген). *Российская Арктика*. 2020;2(8):30–40. <https://doi.org/10.24411/2658-4255-2020-12093>
- Demin V.I., Ivanov B.V., Revina A.D. Reconstruction of air temperature series at Russian station in Barentsburg (Svalbard). *Rossiyskaya Arktika*. 2020;2(8):30–40. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/2658-4255-2020-12093>
23. Гольцберг И.А. (ред.). *Микроклимат СССР*. Л.: Гидрометеиздат; 1967. 286 с.
24. Демин В.И., Иванов Б.В. Проверка климатической однородности рядов температуры воздуха в Баренцбурге (Шпицберген). *Математические исследования в естественных науках. Труды XVI Всероссийской научной школы*. Апатиты; 2019:134–150.
25. Мищенко З.А. *Биоклимат дня и ночи*. Л.: Гидрометеиздат; 1984. 280 с.
26. Романова Е.Н., Мосолова Г.И., Берсенева И.А. *Микроклиматология и ее значение для сельского хозяйства*. Л.: Гидрометеиздат; 1983. 246 с.
27. Benestad R.R., Hanssen-Bauer I., Skaugen T.E., Førland E.J. Associations between sea-ice and the local climate on Svalbard. *DNMI-Rapport 07/02 Klima*. Oslo: Norwegian Meteorological Institute; 2002. 15 p.
28. Kristensen L., Christiansen H., Caline F. Temperatures in coastal permafrost in the Svea area, Svalbard. *Proceedings of the Ninth International Conference on Permafrost*. 29 June — 3 July 2008, University Fairbanks, Alaska. 2008;1:1005–1010.
29. Dahlke S., Hughes N.E., Wagner P.M., Gerland S., Wawrzyniak T., Ivanov B., Maturilli M. The observed recent surface air temperature development across Svalbard and concurring footprints in local sea ice cover. *International Journal of Climatology*. 2020;40(12):5246–5265. <https://doi.org/10.1002/joc.6517>
30. Рубинштейн Е.С. *Однородность метеорологических рядов во времени и пространстве в связи с исследованием изменения климата*. Л.: Гидрометеиздат; 1979. 80 с.
31. Przybylak R., Arażny A., Nordli Ø., Finkelnburg R., Kejna M., Budzik T., Migala K., Sikora S., Puczko D., Rymer K., Rachlewicz G. Spatial distribution of air temperature on Svalbard during 1 year with campaign measurements. *Int. J. Climatol*. 2014;34:3702–3719. <https://doi.org/10.1002/joc.3937>
32. Przybylak R. *The climate of the Arctic*. Cham: Springer; 2015. 287 p.