

УДК 551.506.3

DOI: 10.24412/2658-4255-2021-2-25-38

Для цитирования:

Карандашева Т.К., Демин В.И., Иванов Б.В., Ревина А.Д. Изменения температуры воздуха в Баренцбурге (Шпицберген) в XX-XXI вв. Обоснование введения новой климатической нормы // Российская Арктика. 2021 № 13. С. 25–38. DOI: 10.24412/2658-4255-2021-2-25-38

Получена: 04.07.2021

Принята: 20.07.2021





Опубликована: 22.07.2021



Статья распространяется в полнотекстовом формате на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0

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) и в соответствии с госзаданием Полярного Геофизического института (Апатиты) "Проведение стационарных наблюдений за магнитными и оптическими явлениями на архипелаге Шпицберген, исследование геофизических процессов в высокоширотной атмосфере Земли".

ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В БАРЕНЦБУРГЕ (ШПИЦБЕРГЕН) В XX-XXI ВВ. ОБОСНОВАНИЕ ВВЕДЕНИЯ НОВОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ НОРМЫ

Т. К. Карандашева¹ , В.И. Демин² , Б.В. Иванов^{1,3} ,
А.Д. Ревина¹ 

¹ Арктический и антарктический НИИ, Санкт-Петербург, Россия; tkarandasheva@gmail.com, nfennni@gmail.com

² Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия; demin@pgia.ru





³ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия; b_ivanov@aari.ru

Аннотация: В результате анализа среднемесячных значений приземной температуры воздуха (ПТВ) за весь период регулярных инструментальных наблюдений в 1911-2020 гг. в Баренцбурге определены климатические режимы, характеризующие временные интервалы устойчивого потепления/похолодания как для отдельных календарных сезонов, так и года в целом.

За исследуемый период для лета, осени и зимы выделены шесть климатических режимов, для весны – четыре, для года – восемь климатических режимов. Для всех сезонов самый холодный режим приходится на начало XX века, самый теплый режим – на последние годы XX – начало XXI века. Во всех сезонах, за исключением весеннего, для которого каждый последующий режим теплее предыдущего, отмечается похолодание в 1960-е годы. Для всего исследуемого периода тенденции изменений среднесезонных и среднегодовых значений ПТВ положительны. Для «современного» потепления (с началом в 1986 г.) скорости роста ПТВ для календарных сезонов и года в целом в 2-4 раза превосходят соответствующие характеристики для всего исследуемого периода. 30-летний «нормальный» период 1991-2020 гг. содержит устойчивую тенденцию к потеплению, объективно отражает современную специфику климата исследуемого региона и, следовательно, может считаться современной климатической нормой для Шпицбергена.

Ключевые слова: Арктика, Шпицберген, климатические режимы, современное потепление, климатические нормы

AIR TEMPERATURE CHANGES IN BARENTSBURG (SVALBARD) IN XX-XXI CENTURIES. JUSTIFICATION FOR INTRODUCING A NEW CLIMATE STANDARD

T.K. Karandasheva¹ , V.I. Demin² , B.V. Ivanov^{1,3} ,
A.D. Revina¹ 

¹ Arctic and Antarctic Research Institute, Saint-Petersburg, Russia; tkarandasheva@gmail.com, nfennni@gmail.com

² Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia; demin@pgia.ru

³ Saint Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia; b_ivanov@aari.ru

Abstract: As a result of the analysis of the monthly mean values of the surface air temperature (SAT) for the entire period of regular instrumental observations in 1911-2020 in Barentsburg, climatic regimes characterizing the time intervals of stable warming / cooling are determined both for individual calendar seasons and for the year as

a whole. During the study period, six climatic regimes were identified for summer, autumn and winter, four climatic regimes for spring, and eight climatic regimes for a year. For all seasons, the coldest regime occurs at the beginning of the XX century, the warmest regime - in the late XX - early XXI century. In all seasons, with the exception of the spring season, for which each subsequent regime is warmer than the previous one, there is a cooling in the 1960s. For the entire study period, the trends of changes in the seasonal and average annual SAT values are positive. For "recent" warming (with the beginning in 1986), the SAT growth rates for calendar seasons and the year as a whole are 2–4 times higher than the corresponding characteristics for the entire study period. 30-year reference period 1991-2020 contains a stable tendency to warming, objectively reflects the current specifics of the climate of the region under study and, therefore, can be considered the modern climatic norm for Svalbard.

Keywords: Arctic, Svalbard, climate regimes, recent warming, climatic standards

Введение

В настоящее время в многочисленных публикациях, посвященных исследованию прошлого и современного климата Шпицбергена, выполнен анализ данных, накопленных за весь период регулярных инструментальных наблюдений на всех метеорологических станциях (МС) архипелага. На основе этих исследований создаются композитные ряды данных, в разной степени сочетающие расчеты, выполненные по данным прямых метеорологических измерений на МС, расчеты по данным измерений на ближайших МС, расчеты по измерениям, выполненным отдельными экспедициями, и данные реанализов. Более чем столетние композитные ряды позволяют исследовать изменения климатических параметров на различных временных масштабах. Основное внимание уделяется сезонным оценкам приземной температуры воздуха (ПТВ), при этом в качестве сезонов приняты именно календарные сезоны, что дает возможность сопоставления сезонных изменений климата на разных территориях архипелага.

Настоящее исследование опирается на 110-летние композитные ряды среднемесячных значений ПТВ, которые более чем на 75% рассчитаны по данным инструментальных измерений, выполненных в гидрометеорологической обсерватории (ГМО) «Баренцбург» [1].

Цель настоящего исследования – выявление внутренней структуры многолетних изменений ПТВ в Баренцбурге (оценка климатических режимов, характеризующих периоды устойчивого потепления/похолодания), а также определение временного интервала, наиболее объективно отражающего современное состояние климата Шпицбергена, который предлагается рассматривать в качестве современной климатической нормы для данного региона.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использованы данные Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (ВНИИГМИ-МЦД, г. Обнинск, www.meteo.ru), Норвежского Метеорологического института (Осло, www.met.no) и Арктического и антарктического научно-исследовательского института (г. Санкт-Петербург, www.aari.ru).

Самая продолжительная серия регулярных инструментальных метеорологических наблюдений на Шпицбергене имеется для российского шахтерского поселка Баренцбург. Она получена в гидрометеорологической обсерватории (ГМО) «Баренцбург», начиная с сентября с 1932 г. с пропуском в период II Мировой войны (08.1941–11.1947 гг.). Переносы метеорологической площадки в 1978 и 1984 гг. происходили в пределах поселка и не сказались на однородности рядов [1].

Ряды ПТВ в Баренцбурге были экстраполированы до декабря 1911 г. на основе измерений, выполненных в 1911–1929 гг. на мысе Финнесет в заливе Грен-фьорд – примерно в 1,5 км южнее ГМО (в пределах прямой видимости). Обоснованность применения такого подхода подробно обсуждалось в предыдущих работах авторов [1, 2], в которых подтверждено высокое качество реконструкции среднемесячных значений ПТВ на ГМО «Баренцбург» по данным МС «Green Harbor».

Целесообразность этой процедуры вызвана тем, что данная норвежская метеорологическая станция (МС), имевшая название «Грин-Харбор» или «Шпицберген-Радио», является фактически единственной МС на Шпицбергене, зарегистрировавшей «первое» потепление Арктики в первой половине XX в. [3,4]. Объединение российских и норвежских рядов позволяет наиболее корректно сравнить особенности «современного» и «первого» потеплений.

Для создания непрерывного ряда отсутствующие в отдельные годы значения ПТВ в Баренцбурге были рассчитаны по данным ближайших норвежских МС («Isfjord Radio» и «Longyearbyen – Svalbard Airport»), расположенных, соответственно, в 14 и 37 км от Баренцбурга. При полном отсутствии данных инструментальных наблюдений на архипелаге (08.1941–08.1947) привлекались данные реанализа NOAA-CIRES Twentieth-Century Reanalysis (20CRv3) [2], которые доступны с 1836 г. Отмечается высокая (значимая) корреляция среднесезонных (календарных) ПТВ в Баренцбурге (использованы только прямые измерения с 1932 г.) с аналогичными температурами, полученными по данным реанализа [2]. Использованный реанализ правдоподобно воспроизводит и основные климатические тенденции в регионе, обнаруживаемые в период инструментальных измерений, по сравнению с некоторыми другими видами реанализа ERA20C и CERA20C [2]. Это очень важно, поскольку реанализ 20CRv3 начинается с 1836 г., а, значит, можно существенно удлинить ряды ПТВ в Баренцбурге.

Доля среднемесячных значений ПТВ, рассчитанных по

данным инструментальных измерений, в этом композитном ряду превышает 75%, что является максимально возможным числом для любой другой реконструкции подобных рядов на Шпицбергене. Для сравнения: на МС «Svalbard Airport», которая считается базовой для изучения изменений климата на Шпицбергене, оригинальные данные имеются только с августа 1975 г. Все остальные – расчетные, в т.ч. с использованием измерений в Баренцбурге [5]. Так как замена оригинальных значений расчетными всегда сопровождается определенными ошибками, ряды, полученные ГМО «Баренцбург», имеют очевидное преимущество.

По среднемесячным значениям ПТВ рассчитаны осредненные оценки для календарных сезонов и года в целом. Зимний сезон включает декабрь предыдущего года. Среднегодовые значения относятся к календарному году, т.е. к интервалу времени с января по декабрь рассматриваемого года.

Для выявления долговременных тенденций изменения ПТВ, временные ряды сезонных и среднегодовых значений сглажены с помощью фильтров Гаусса и скользящего среднего, характеристики которых подробно описаны в работе [6].

Выявление климатических режимов (временных интервалов устойчивого потепления/похолодания) осуществлялось по статистически значимому изменению средней температуры воздуха по отношению к предшествующему периоду по методике, предложенной в работе [7].

Количественный анализ многолетних изменений ПТВ осуществлен путём расчета линейных трендов. В качестве числовых характеристик линейного тренда принималась его величина (угол наклона « a », град/год), коэффициент детерминации, выражающий в % долю дисперсии исходного ряда, описываемую полученным трендом, и уровень статистической значимости выявленного тренда [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Структура многолетних изменений ПТВ (периоды потепления/похолодания)

За исследуемый период в изменениях значений ПТВ (средних для календарных сезонов и среднегодовых) прослеживаются несколько периодов потепления и похолодания (рис. 1).

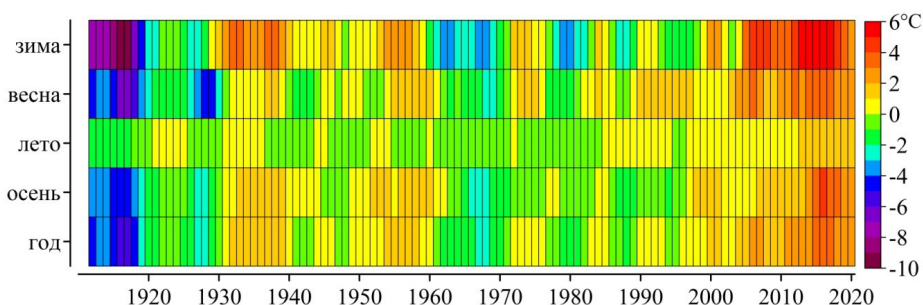


Рисунок 1 – Аномалии сезонных значений ПТВ (относительно средних значений за 1912-2020 гг.), сглаженные фильтром Гаусса по 11-точкам.

1910-е годы были аномально холодными во всех сезонах (за исключением лета) и в среднем за год. В 1920-х годах наступает некоторое потепление, особенно заметное в летние сезоны и достигающее максимума в 1930-х годах («первое» потепление). После двух десятилетий относительной стабильности во всех сезонах и в среднем за год наступает похолодание 1960-х годов, а в конце XX века – «современное» потепление. Периоды потепления и похолодания наиболее ярко проявляются в зимние календарные сезоны.

Границы периодов потепления/похолодания (рис. 2) установлены по статистически значимому (для $p = 0,10$) смещению среднего значения ПТВ по отношению к предшествующему периоду [7]. Минимальная длина такого периода – 10 лет, на краях ряда – 5 лет.

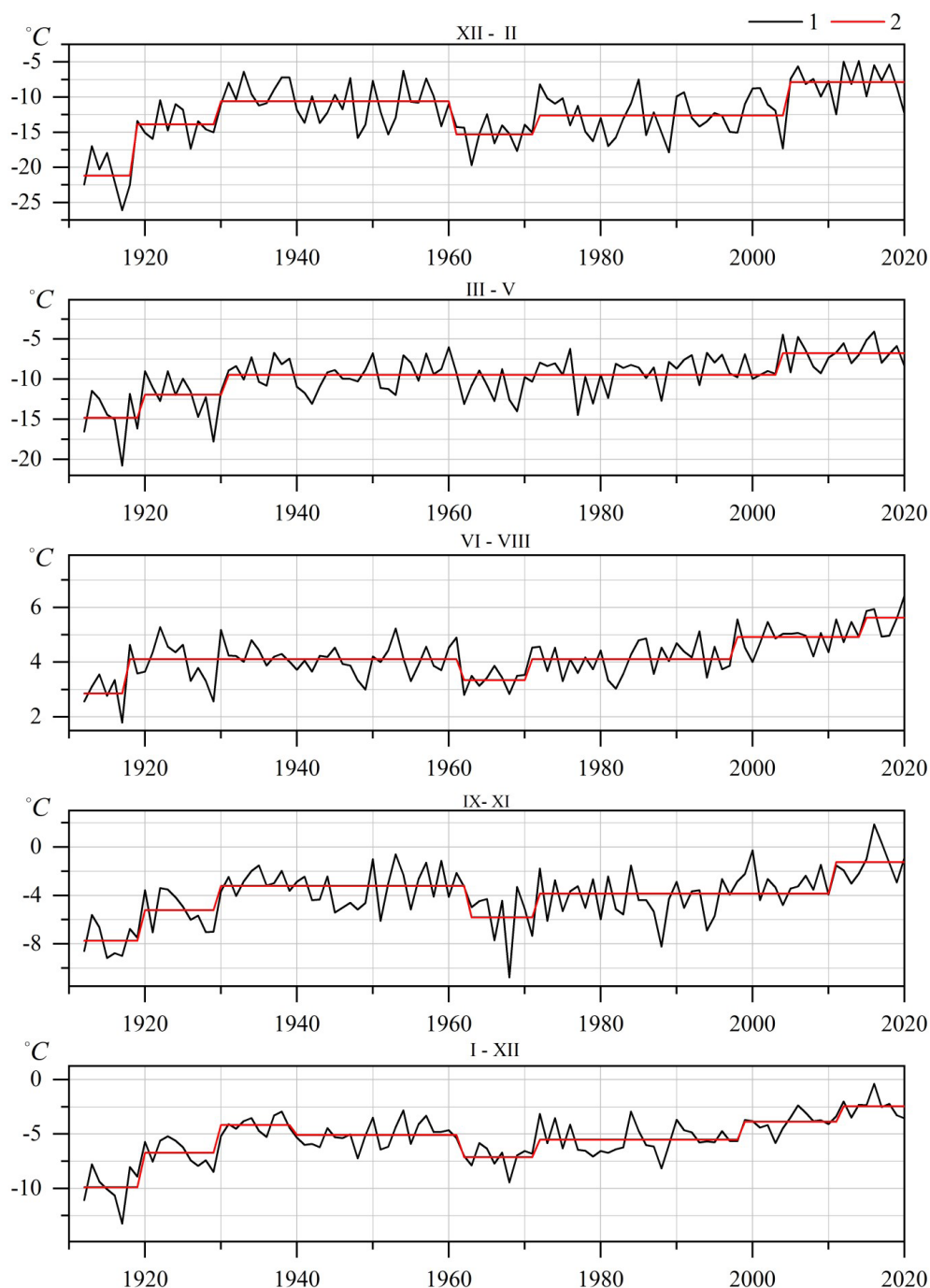


Рисунок 2 – Среднесезонные и среднегодовые значения ПТВ в Баренцбурге (1); средние значения ПТВ для периодов похолодания/потепления (2).

За период 1912-2020 гг. в климате Баренцбурга по средне-годовым значениям ПТВ отмечается восемь различных режимов (рис. 2). Первый, и самый холодный режим завершается в конце 1910-х годов, затем следует теплый режим 1920-х годов, и еще более теплый – режим 1930-х годов. В начале 1940-х годов среднегодовые температуры несколько снижаются и этот, относительно теплый, режим сохраняется вплоть до конца 1990-х годов, за исключением «холодного десятилетия» (1960-е годы). С конца 1990-х годов наблюдается, так называемое, «современное» потепление, которое усиливается в начале 2010-х годов. Последний период – с начала 2010-х годов – самый теплый за весь исследуемый период.

По средним сезонным значениям ПТВ для календарных лета, осени и зимы выделяются шесть режимов, для весны – четыре. Для всех сезонов самый холодный режим приходится на начало XX века, а самый теплый режим – на последние годы XX - начало XXI века. Во всех сезонах, за исключением весеннего сезона, для которого каждый последующий режим теплее предыдущего, в 1960-е годы отмечается похолодание.

Временные интервалы климатических режимов, выделенных по средним сезонным и среднегодовым значениям ПТВ, согласуются между собой. Для всех сезонов и года в целом самый холодный режим приходится на 1910-е годы. С 1920-х годов начинается потепление и этот относительно теплый режим сохраняется практически до конца XX века (для осени – до 2010-х годов), за исключением похолодания в 1960-е годы, когда средние сезонные (за исключением весны) и среднегодовые температуры существенно понизились.

Самый теплый период «первого» потепления (1930-е годы) не выделяется в отдельный режим ни в одном из сезонов года. Однако по совокупности оно (потепление) хорошо заметно в целом за год. Самым теплым режимом за весь исследуемый период является режим «современного» потепления (рис. 1, 2 и табл. 1).

Если рассматривать стандартные 30-летние «нормальные» периоды, исторически используемые в климатологии, то период 1931-1960 гг., частично включающий «первое»

Таблица 1

Среднесезонные и среднегодовые значения ПТВ (°С) для некоторых климатических режимов, установленных по тестам Родионова.

Климатические режимы (условное название)	XII – II	III – V	VI – VIII	IX – XI	I – XII
Холодные 1910-е	-20,8	-14,8	2,9	-7,7	-9,9
«Первое» потепление 1930-е	-10,6	-9,5	4,1	-3,2	-4,2
Холодные 1960-е	-14,9	-9,5	3,3	-5,8	-7,1
Самый теплый режим 2010-е	-7,9	-6,8	5,6	-1,3	-2,5

потепление Арктики, в Баренцбурге был относительно теплым (среднегодовая ПТВ равнялась $-4,8^{\circ}\text{C}$).

Следующий период 1961-1990 гг. (официальная норма Всемирной Метеорологической организации – ВМО), включающий холодные 1960-е, был относительно холодным (среднегодовая ПТВ равна $-6,1^{\circ}\text{C}$), последний период 1991-2020 гг., включающий «современное» потепление, оказался самым теплым (среднегодовая ПТВ равна $-3,8^{\circ}\text{C}$).

О «современном» потеплении

Начало «современного» потепления, установленное по тестам Родионова (рис. 2), можно отнести для зимы и весны – к середине 2000-х годов, для лета несколько ранее – ко второй половине 1990-х, для осени позднее – к началу 2010-х годов, для года в целом – к концу 1990-х годов.

В ежегодных «Докладах об особенностях климата на территории РФ» в качестве условного начала «современного» потепления берется 1976 г. Это обусловлено тем обстоятельством, что во временных рядах среднегодовых аномалий ПТВ, осредненных для территории России, как и для глобальных временных рядов, период с 1976 года характеризуется наиболее интенсивным потеплением [8].

По сглаженным среднегодовым значениям ПТВ интенсивное и стабильное потепление в Баренцбурге начинается несколько позже 1976 г. (рис. 3). Фильтр Гаусса по сравнению со сглаживанием исходного ряда скользящим средним более чувствителен к заметным аномалиям ПТВ, но в целом по обеим сглаженным кривым можно заключить, что «современное» потепление в Баренцбурге началось в середине 1980-х годов.

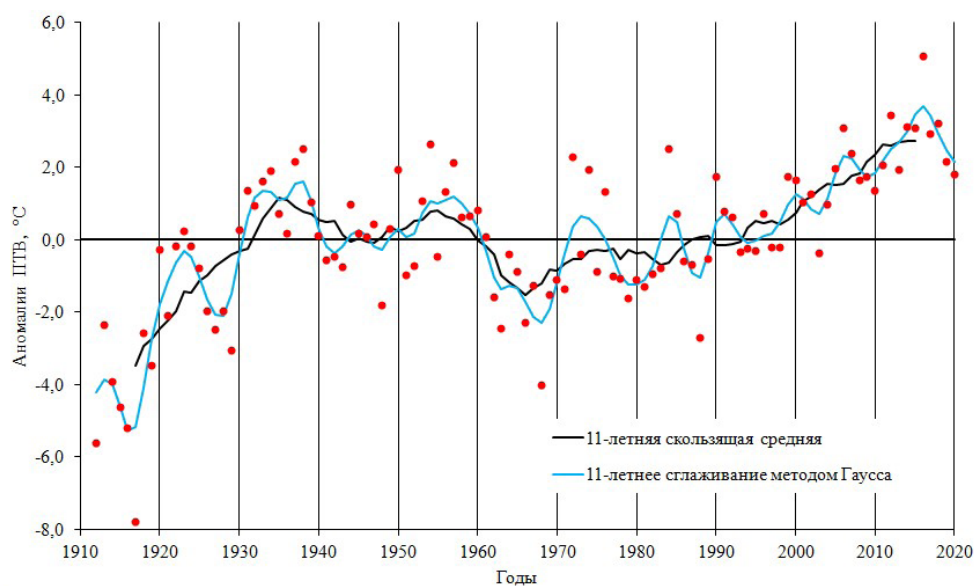


Рисунок 3 – Аномалии среднегодовых значений ПТВ, рассчитанные относительно среднего значения за весь период 1912-2020 гг. (красные точки); аномалии, рассчитанные с помощью фильтра 11-летнего скользящего среднего (черная кривая); аномалии сглаженные фильтром Гаусса по 11 точкам (синяя кривая).

В структуре многолетней изменчивости среднесезонных и среднегодовой ПТВ в Баренцбурге чередуются периоды потепления и похолодания, но при этом общая тенденция изменения среднесезонных и среднегодовой ПТВ за весь исследуемый период 1912-2020 гг. остается положительной (табл. 2).

Таблица 2

Характеристики линейных трендов ПТВ для календарных сезонов и года, рассчитанных по исходным данным: a – линейный коэффициент ($^{\circ}\text{C}/\text{год}$); R^2 – коэффициент детерминации; все тренды статистически значимы на уровне $P < 0,01$.

Сезоны и год	1912-2020		1976-2020		1986-2020	
	a	R^2	a	R^2	a	R^2
Зима XII-II	0,052	0,163	0,173	0,402	0,222	0,409
Весна III-V	0,052	0,341	0,092	0,301	0,089	0,237
Лето VI-VIII	0,013	0,267	0,040	0,514	0,041	0,401
Осень IX-XI	0,029	0,177	0,082	0,322	0,131	0,463
Год I-XII	0,036	0,309	0,096	0,581	0,121	0,630

Численные значения характеристик сезонных и годового трендов для периода «современного» потепления, с условным началом в 1976 г., в 2-3 раза превышают соответствующие оценки для всего исследуемого периода. Для периода 1986-2020 гг. коэффициенты линейных трендов для весны и лета близки к соответствующим характеристикам, рассчитанным для периода 1976-2020 гг.; но для осени, зимы и года в целом превышают соответствующие характеристики периода 1976-2020 гг. Коэффициенты линейных трендов для периода «современного» потепления с началом в 1986 г. более точно отражающим начало стабильного потепления в Баренцбурге, в 2-4 раза превышают соответствующие характеристики для всего исследуемого периода. Следует отметить высокую статистическую значимость ($P < 0,01$) линейных трендов для всех трех рассматриваемых периодов.

ОБСУЖДЕНИЕ

Сопоставление внутренней структуры многолетних изменений ПТВ и времени начала «современного» потепления с результатами предшествующих исследований

Оценка внутренней структуры многолетних изменений температуры в Баренцбурге в основном совпадает с известной оценкой для Svalbard-airport, приведенной в работе [9]. Сдвиги режимов композитных рядов Баренцбурга и Svalbard-airport, обнаруженные с помощью теста Родионова, согласуются между собой. А именно, самый холодный режим

отмечается в 1910-е годы, самый теплый – режим последних десятилетий. Так как композитный ряд для Svalbard-airport начинается (1898 г.) и заканчивается (2012 г.) ранее, чем аналогичный ряд для Баренцбурга, то в ряде для Svalbard-airport выделяется условно «теплый» режим (1900-е годы), а в ряде для Баренцбурга самые «теплые» 2010-е годы.

В нашем исследовании принят более низкий уровень значимости ($p = 0,10$) для определения существенности различий двух последующих режимов, чем в работе [9] ($p = 0,05$), поэтому картина климатических режимов для Баренцбурга более детализирована, чем для Svalbard-airport [9]. Период 1920-1960 гг. для Svalbard-airport характеризуется как один теплый режим, в то время как для Баренцбурга в этом периоде выделяются три климатических режима, и в том числе самый теплый период в режиме «первого» потепления – 1930-е годы. Холодные 1960-е годы в Баренцбурге отмечаются во все сезоны (кроме весны) и в среднем за год, в Svalbard-airport – только для среднегодовых значений ПТВ. В работе [9] при проверке данных о ПТВ по тесту Родионова отмечается подобная близость получаемых результатов при разных значениях уровня значимости p (0,10; 0,05; 0,01). В частности, для зимнего сезона при сопоставлении результатов тестирования с $p = 0,10$ и $p = 0,05$ отмечалось единственное отличие: при $p = 0,10$ холодные 1960-е годы выделились как отдельный режим, а при $p = 0,05$ мягкий режим 1930-1950-х годов сразу перешел в один холодный режим, продолжающийся 44 года. В работе [10] в исходных данных ПТВ (Svalbard-airport) с помощью специальных процедур уменьшены посторонние влияния, и при проверке по тесту Родионова с теми же установками (минимальная длина периода 10 лет, $p = 0,05$) количество режимов сократилось до четырех. За весь исследуемый период холодные и теплые режимы в Svalbard-airport чередовались: 1899–1929 гг. были холодными, 1930–1961 гг. теплыми, 1962–1998 гг. холодными и 1999–2018 гг. были теплыми. Для среднегодовых значений ПТВ последний холодный режим был на $1,0^{\circ}\text{C}$ теплее первого холодного, а последний теплый режим был на $1,7^{\circ}\text{C}$ теплее предыдущего теплого.

В нашем исследовании по сравнению с работами [9, 10], как уже отмечалось выше, принят более низкий уровень значимости, и в результате смена режимов в Баренцбурге более детализирована. Для среднегодовых значений ПТВ холодный режим 1960-х был на $2,8^{\circ}\text{C}$ теплее холодного режима 1910-х годов, а теплый режим 2010-х годов был на $1,7^{\circ}\text{C}$ теплее первого теплого режима 1930-х годов. Начало «современного» потепления в Баренцбурге и Svalbard-airport [9, 10] для зимнего и весеннего сезонов (середина 2000-х) и года в целом (конец 1990-х годов) совпадает. «Современное» потепление в Баренцбурге для летнего сезона (вторая половина 1990-х) начинается несколько раньше, чем в Svalbard-airport (2001 г.), а для осеннего сезона (начало 2010-х) – значительно позже, чем в Svalbard-airport (1996 г.).

Сопоставление оценок скоростей «современного» потепления с предшествующими данными

Скорости «современного» потепления (с условным началом в 1976 г.) в Баренцбурге хорошо согласуются со статистически значимыми трендами, полученными для других станций архипелага для периодов 1975-2011, 1979-2015 гг. [11,12].

Среднее многолетнее значение ПТВ в Баренцбурге составляет $-5,4^{\circ}\text{C}$, и целесообразно сопоставить скорости потепления на Шпицбергене с соответствующими характеристиками для территории Российской Федерации (РФ), которая по климатическим условиям является самой холодной страной в мире. Средняя годовая ПТВ в РФ составляет $-4,1^{\circ}\text{C}$ [13]. Скорости роста сезонных значений ПТВ в Баренцбурге выше аналогичных значений для РФ в целом: для зимы более чем в 3 раза, для весны и осени в 1,5 раза (табл. 3). Летом сезонные скорости роста ПТВ в Баренцбурге близки к скоростям летнего потепления для РФ в целом.

Рост среднегодовой ПТВ в Баренцбурге за период 1976-2020 гг. в два раза больше скорости роста среднегодовой температуры на территории РФ и в пять раз больше скорости роста глобальной температуры, которая составляет $0,18^{\circ}\text{C}/10$ лет [8].

Таблица 3

Скорости изменения среднесезонных и среднегодовых значений ПТВ ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) за период 1976-2020 гг.

Регион	Период				
	XII-II	III-V	VI-VIII	IX-XI	год
Баренцбург	1,73	0,92	0,40	0,82	0,96
Россия	0,48	0,66	0,39	0,50	0,51

Примечание: все линейные тренды статистически значимы на уровне $p < 0,01$ (данные по России [8]).

30-летние «нормы» и структура многолетних изменений ПТВ

В качестве стандартного периода («нормы») для оценивания климатических переменных, характеризующих текущий или современный климат, по рекомендации Всемирной Метеорологической Организации (ВМО) используется период в 30 лет. В настоящее время период 1961 – 1990 гг. продолжают использовать в качестве базового периода. Термин «норма» означает среднее значение переменной величины именно за указанный период, а отклонение этой величины от «нормы» называется «аномалией» [14]. Однако, в последнее время, в связи с наблюдаемыми изменениями климата, активно высказывается мнение о целесообразности приближения базового периода к текущему моменту [15, 16]. В настоящее время, по мере накопления новых данных, появилась возможность проводить структурирование временных рядов

ПТВ по формальным 30-летним периодам вплоть до 2020 г.

В работе [9] отмечается, что для композитного ряда Svalbard-airport первый «нормальный» период (1901-1930 гг.) был самым холодным (среднегодовая ПТВ равнялась $-7,4^{\circ}\text{C}$), следующий (1931-1960 гг.) исключительно теплым (среднегодовая ПТВ равнялась $-5,4^{\circ}\text{C}$), а последний (1961-1990 гг.) снова был холодным (среднегодовая ПТВ равнялась $-6,7^{\circ}\text{C}$). Для Баренцбурга средние значения ПТВ для «нормальных» периодов 1931-1960 и 1961-1990 гг. выше аналогичных значений для Svalbard-airport на $0,6^{\circ}\text{C}$ каждое.

В применении к конкретным регионам с различными климатическими условиями сложно ожидать, что 30-летние «нормальные» периоды отражают объективную картину смены климатических режимов. В настоящем исследовании установлено, что за период 1912-2020 гг. в климате Баренцбурга по среднегодовым значениям ПТВ выделяются восемь различных режимов (при уровне значимости $p = 0,10$), что не укладывается в формальную картину тридцатилетних норм. В работе [10] для района Западного Шпицбергена (1899-2018 гг.) выделено четыре последовательных климатических режима. При использовании уровня значимости равного 0,05, это холодный режим 1899-1929 гг., теплый 1930-1961 гг., холодный 1962-1998 гг. и теплый 1999-2018 гг. Первые два климатических режима практически совпадают с тридцатилетними «нормальными» периодами (1901-1930 и 1931-1960 гг.), но последние два климатических режима значительно расходятся с «нормальными» периодами.

Так совпало, что первый «нормальный» период включает в себя самые холодные за всю историю наблюдений 1910-е годы и заметное похолодание конца 1920-х годов, поэтому первый «нормальный» период (1901-1930 гг.) был самым холодным. Второй «нормальный» период включает в себя «первое» потепление и последовавшие за ним относительно теплые годы, поэтому второй «нормальный» период (1931-1960 гг.) был значительно теплее. Таким образом, первые два формально назначенные «нормальные» периоды были в значительной степени однородны по процессам похолодания/потепления, что обусловило практическое совпадение с первыми двумя климатическими режимами, выделенными для района Западного Шпицбергена [10].

«Нормальный» период 1961-1990 гг. включает сильное похолодание 1960-х годов и начало «современного» потепления, «нормальный» период 1991-2020 гг. отражает устойчивую тенденцию к потеплению. Таким образом, из четырех формально назначенных 30-летних «нормальных» периодов (1901-1930, 1931-1960, 1961-1990, 1991-2020 гг.) только один (1961-1990 гг.) не отличается однородностью процессов потепления/похолодания. Последний «нормальный» период 1991-2020 гг. характеризует современную устойчивую тенденцию к потеплению для исследуемого региона и может рассматриваться, как новая климатическая «норма» отражающая современное состояние климата архипелага Шпицберген.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа многолетних изменений приземной температуры воздуха за период 1911-2020 гг. в Баренцбурге установлено:

1. Для календарных лета, осени и зимы выделяются шесть климатических режимов, для весны – четыре, для года в целом – восемь режимов. Для всех календарных сезонов и года в целом самый холодный режим приходится на 1910-е годы, с 1920-х годов начинается потепление и этот относительно теплый режим сохраняется практически до конца XX века (для осени – до 2010-х годов), за исключением похолодания в 1960-е годы. Самым теплым режимом за весь исследуемый период является режим «современного» потепления.
2. В структуре многолетних изменений ПТВ чередуются периоды потепления и похолодания, но при этом тенденции изменений среднесезонных и среднегодовых значений ПТВ за весь исследуемый период положительны. Коэффициенты линейных трендов среднесезонных и среднегодовых значений ПТВ для современного периода потепления (начало в 1986 г.) в 2-4 раза превышают соответствующие характеристики для всего исследуемого периода.
3. Три 30-летних «нормальных» периода (1901-1930, 1931-1960 и 1991-2020 гг.) в значительной степени однородны по процессам потепления/похолодания, один период 1961-1990 гг. не отличается однородностью, и включает сильное похолодание 1960-х годов и начало «современного» потепления. Последний «нормальный» период 1991-2020 гг. содержит устойчивую тенденцию к потеплению и объективно отражает современную специфику климата исследуемого региона и может рассматриваться в качестве современной климатической нормы для Шпицбергена.

Список литературы:

1. Демин В.И., Иванов Б.В. Проверка климатической однородности рядов температуры воздуха в Баренцбурге (Шпицберген) // Труды XVI Всероссийской научной школы. «Математические методы в естественных науках» - Апатиты, Геологический институт КНЦ РАН, 2019, с. 134-150.
2. Демин В.И., Иванов Б.В., Ревина А.Д. Восстановление ряда приземной температуры воздуха на Российской станции в поселке «Баренцбург» (Шпицберген) // Российская Арктика. 2020, № 9, с. 30-40. URL: <https://russian-arctic.info/upload/iblock/03e/Демин.pdf> (Дата обращения: 02.07.2021).
3. Ivanov B.V. Comparing the «earlier» and the «modern» warming in West Arctic on example of Svalbard // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Turbulence, Atmosphere and Climate Dynamics, 2019, vol. 231. 012023. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/231/1/012023/pdf> (Дата обращения: 02.07.2021).

4. Малинин В.Н., Вайновский П.А. О причинах первого потепления Арктики в XX столетии // Ученые записки РГГМУ, 2018, №53, с. 34-55.
5. Nordli Ø. The Svalbard Airport temperature series // Bulletin of Geography, Physical Geography Series, 2010, vol. 3. pp. 5-25.
6. Рожков В.А. Теория и методы статистического оценивания вероятностных характеристик случайных величин и функций с гидрометеорологическими примерами // Кн. 2. СПб.: Гидрометеоиздат, 2002. 780 с.
7. Rodionov, S.N. A sequential algorithm for testing climate regime shifts. Geophys. Res. Lett. 2004. 31. L09204, doi:10.1029/2004GL019448.
8. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год // Москва: Росгидромет. 2021. 104 с. URL: http://www.meteor.ru/upload/pdf_download/doklad_klimat2020.pdf
9. Nordli 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, vol. 33. 21349. <http://dx.doi.org/10.3402/polar.v33.21349>
10. Nordli, Ø., Wyszynski, P., Gjelten, H. M., Isaksen, K., Łupikasza, E., Niedźwiedz, T., & Przybylak, R. Revisiting the extended Svalbard Airport monthly temperature series, and the compiled corresponding daily series 1898–2018 // Polar Research, 2020, vol. 39. <https://doi.org/10.33265/polar.v39.3614>
11. Førland, E. J., Benestad R., Hanssen-Bauer I., Haugen J. and Skaugen T. // Temperature and Precipitation Development at Svalbard 1900–2100 // Advances in Meteorology, 2011, vol. 2011. doi:10.1155/2011/893790.
12. Gjelten, H. M., Nordli, Ø., Isaksen, K., Førland, E. J., Sviashchennikov, P. N., Wyszynski, P., Prokhorova, U. V., Przybylak, R., Ivanov, B. V., & Urazgildeeva, A. V. 2016. Air temperature variations and gradients along the coast and fjords of western Spitsbergen. Polar Research, vol. 35. <https://doi.org/10.3402/polar.v35.29878>
13. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации // Том 1. Изменения климата. Москва: Росгидромет. 2008. 227 с. http://climate2008.igce.ru/v2008/pdf/resume_ob.pdf.
14. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха // Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2012. 194 с. URL: <https://climate.copernicus.eu/new-decade-reference-period-change-climate-data> (Дата обращения: 02.07.2021)
15. URL: <https://public.wmo.int/en/media/news/updated-30-year-reference-period-reflects-changing-climate> (Дата обращения: 02.07.2021)
16. URL: <https://public.wmo.int/en/media/news/updated-30-year-reference-period-reflects-changing-climate> (Дата обращения: 02.07.2021)

References:

1. Demin V.I., Ivanov B.V. 2019. Proverka klimaticheskoy odnorodnosti ryadov temperatury vozduha v Barenburge (Shpicbergen) [Checking the climatic uniformity of air temperature series in Barentsburg (Spitsbergen)] // Trudy XVI Vserossijskoj nauchnoj shkoly. «Matematicheskie metody v estestvennyh naukah» [Proceedings of the XVI All-Russian Scientific School "Mathematical methods in natural sciences"]. Apatity, 2019, pp. 134-150. (In Russian).
2. Demin V.I., Ivanov B.V., Revina A.D. Vosstanovlenie ryada prizemnoj temperatury vozduha na Rossijskoj stancii v poselke «Barenburg» (Shpicbergen) [Reconstruction of a series of surface air temperatures at the Russian station "Barentsburg" (Spitsbergen)] // Rossijskaya Arktika [Russian Arctic], 2020, vol. 9, pp. 30-40. (In Russian). Available at: <https://russian-arctic.info/upload/iblock/03e/Демин.pdf> (accessed: 02.07.2021)
3. Ivanov B.V. Comparing the «earlier» and the «modern» warming in West Arctic on example of Svalbard. IOP Conference Series: Earth

- and Environmental Science. Turbulence, Atmosphere and Climate Dynamics, 2019, vol. 231. 012023. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/231/1/012023/pdf> (accessed: 02.07.2021)
4. Malinin V.N., Vainovskiy P.A. O prichinah pervogo potepleniya Arktiki v XX stoletii [The reasons of first warming of Arctic in XX century] // Uchenue zapiski RGGMU [Science scraps of RSHU], 2018, №53, pp. 34-55.
 5. Nordli Ø. The Svalbard Airport temperature series // Bulletin of Geography, Physical Geography Series, 2010, vol. 3. pp. 5-25
 6. Rodionov, S.N. A sequential algorithm for testing climate regime shifts // Geophys. Res. Lett. 2004. 31. L09204, doi:10.1029/2004GL019448.
 7. Rozhkov V.A. Teoriya i metody statisticheskogo ocenivaniya veroyatnostnykh harakteristik sluchajnykh velichin i funktsij s gidrometeorologicheskimi primerami. Kn. 2. [Theory and methods of statistical estimation of the probabilistic characteristics of random variables and functions with hydrometeorological examples. Book. 2] // St. Petersburg, Gidrometeoizdat, 2002, 780 p. (In Russian).
 8. Doklad ob osobennostyah klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2020 god [Report on the climate features at the territory of the Russian Federation for 2020] // Moscow, Roshydromet, 2021, 104 p. Available at: http://www.meteor.ru/upload/pdf_download/doklad_klimat2020.pdf
 9. Nordli 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, vol. 33. 21349. <http://dx.doi.org/10.3402/polar.v33.21349>
 10. Nordli, Ø., Wyszynski, P., Gjelten, H. M., Isaksen, K., Łupikasza, E., Niedźwiedz, T., & Przybylak, R. Revisiting the extended Svalbard Airport monthly temperature series, and the compiled corresponding daily series 1898–2018 // Polar Research, 2020, vol. 39. <https://doi.org/10.33265/polar.v39.3614>
 11. Førland E. J., Benestad R., Hanssen-Bauer I., Haugen J. and Skaugen T. Temperature and Precipitation Development at Svalbard 1900–2100 // Advances in Meteorology, 2011, vol. 2011. doi:10.1155/2011/893790.
 12. Gjelten, H. M., Nordli, Ø., Isaksen, K., Førland, E. J., Sviashchennikov, P. N., Wyszynski, P., Prokhorova, U. V., Przybylak, R., Ivanov, B. V., & Urazgildeeva, A. V. Air temperature variations and gradients along the coast and fjords of western Spitsbergen. Polar Research, 2016, vol. 35. <https://doi.org/10.3402/polar.v35.29878>
 13. Ocenochnyj doklad ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii. Tom 1. Izmeneniya klimata. [Assessment report on climate changes and their consequences on the territory of the Russian Federation. Vol. 1. Climate change] // Moscow, Rosgidromet, 2008, 227 p. Available at: http://climate2008.igce.ru/v2008/pdf/resume_ob.pdf
 14. Gruza G., Ran'kova E. Nablyudaemye i ozhidaemye izmeneniya klimata Rossii: temperatura vozduha [Observed and expected climate changes in Russia: air temperature] // Obninsk, FGBU «VNIIGMI-MCD» [FSBI "RRHMI-WDC"], 2012, 194 p.
 15. Available at: <https://climate.copernicus.eu/new-decade-reference-period-change-climate-data> (accessed: 02.07.2021)
 16. Available at: <https://public.wmo.int/en/media/news/updated-30-year-reference-period-reflects-changing-climate> (accessed: 02.07.2021)