

DOI: 10.37614/2588-0039.2020.43.040

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЛИННЫХ РЯДОВ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В БАРЕНЦБУРГЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН

В.И. Демин¹, Б.В. Иванов^{2,3,4}

¹ФГБНУ "Полярный геофизический институт", Апатиты; e-mail: demin@pgia.ru

²Арктический и антарктический НИИ, Санкт-Петербург; e-mail: b_ivanov@aari.ru

³Санкт-Петербургский государственный университет

⁴Институт Физики Атмосферы РАН, Москва

Аннотация. Ряды среднемесячной температуры воздуха в Баренцбурге являются однородными и самыми длинными среди инструментальных рядов на Шпицбергене. Они продолжаются с 1932 года по настоящее время с перерывом в 1941-1947 гг. Отсутствующие в 1941-1947 гг. значения были рассчитаны по данным норвежских метеорологических станций «Isfjord Radio» и «Longyearbyen». В период, когда метеорологические наблюдения на Шпицбергене, не проводились, для расчета был использован реанализ NOAA-CIRES-DOE 20CRv3. Данный реанализ достоверно воспроизводит вариации температуры примерно с 1930-ых гг. Ряды были продолжены до декабря 1911 г. на основе измерений, выполненных на метеорологической станции «Green-Harbour». По данным приготовленного композитного ряда в период 1911-2020 гг. средние зимние, весенние, летние и осенние температуры повышаются со средними скоростями 0.53, 0.53, 0.12 and 0.28°/10 лет соответственно. Среднегодовая температура повышается со скоростью 0.36 °/10 лет. На более коротких периодах времени (порядка нескольких десятков лет) скорости изменений температуры могут существенно отличаться от долговременного тренда вплоть до знака.

Введение. Конец XX и начало XXI на архипелаге Шпицберген характеризуются выраженным потеплением климата. Так, например, уже за несколько месяцев до окончания 2020 г., когда будет возможен расчет «новой» климатической нормы (1991-2020 гг.), можно уверенно предполагать, что среднемесячные значения приземной температуры воздуха (ПТВ) в Баренцбурге, рассчитанные по этому «новому» периоду, окажутся выше нормы предшествующего тридцатилетнего периода (1980-2010 гг.) примерно на 1°C и на 2°C выше нормы «1961-1990 гг.» (зимой – более, чем на 3°C). Ансамбль моделей IPCC предполагает дальнейшее потепление климата, допуская повышение среднегодовой ПТВ к концу текущего века еще на 7-10°C [5].

Потепление на Шпицбергене (и возможный сценарий дальнейшего потепления), безусловно, выглядит очень масштабным явлением. Однако на больших временных интервалах изменения климата не происходили монотонно и однонаправлено, и тенденции последних десятилетий не всегда отражают долговременный процесс. Целью данной работы является выявление периода с наиболее надежными данными по ПТВ в Баренцбурге и оценка произошедших изменений климата.

Использованные данные. В работе использованы данные Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (ВНИИГМИ-МЦД, г. Обнинск), Арктического и антарктического научно-исследовательского института, Норвежского метеорологического института (г. Осло), данные реанализов NOAA-CIRES Twentieth-Century Reanalysis (20CRv3), ECMWF ERA20C и CERA20C.

Восстановление непрерывного ряда температуры воздуха в Баренцбурге

Регулярные метеорологические наблюдения в Баренцбурге (гидрометеорологическая обсерватория (ГМО) «Баренцбург») начались в августе 1932 г. Они были остановлены в период II Мировой войны в августе 1941 г. и возобновились в декабре 1947 г. Признаков методических неоднородностей в рядах среднемесячной, среднемесячной максимальной и минимальной ПТВ, в т.ч., из-за переносов метеорологической площадки в 1978 и 1984 гг. обнаружено не было [1]. Это является основанием для полномасштабного использования температурных рядов, полученных в ГМО «Баренцбург», для исследований климатических изменений на архипелаге Шпицберген.

В климатологии существуют методы (см., например, [4, 6]), позволяющие рассчитать отсутствующие значения ПТВ по ее значениям на ближайших метеорологических станциях (МС). Такая процедура была выполнена и для рядов, полученных в ГМО «Баренцбург» [2]. Был сформирован непрерывный ряд среднемесячных значений ПТВ с декабря 1911 г. Причем доля непосредственно измеренных значений ПТВ

в этом композитном ряду превышает 75%, что является максимально возможным числом для любой другой реконструкции подобных рядов для МС Шпицбергена. Для сравнения: на МС «Svalbard Airport» оригинальные (измеренные) данные имеются только с августа 1975 г., все остальные – расчетные, в т.ч. с использованием измерений в Баренцбурге. Так как замена оригинальных значений расчетными всегда сопровождается ошибкой, ряды, полученные ГМО «Баренцбург», имеют очевидное преимущество при изучении долговременных изменений климата в регионе.

Продление ряда ПТВ в Баренцбурге до 12.1911, возможно, не является пределом. Для решения климатических задач сейчас активно используются всевозможные реанализы. Три из них (20CRv3, ERA20C и CERA20C) охватывают весь XX в., причем 20CRv3 доступен с 1836 г. Корреляции среднесезонных (календарных) ПТВ в Баренцбурге (использованы только прямые измерения с 1932 г.) с аналогичными температурами, полученными по данным указанных выше реанализов, приведены в таблице 1. Однако руководствоваться следует не только численными значениями коэффициентов корреляции, но и тем, насколько правдоподобно реанализ воспроизводит основные климатические тенденции в регионе, обнаруживаемые в период инструментальных измерений.

На рисунке 1 приведены аномалии сезонных температур в районе Баренцбурга по данным массива CRU Ts v. 4.04, составленного из данных метеорологических наблюдений на МС и аномалии по данным реанализов 20CRv3, ERA20C и CERA20C. Современное потепление воспроизводят все три реанализа. Однако реанализ CERA20C демонстрирует в начале века аномалии отрицательного знака вплоть до конца 1930-х гг., а реальные положительные аномалии температуры в период потепления 1920-1940-ых гг. существенно занижены по сравнению с данными наблюдений. В ERA20C потепление начинается уже в начале XX века. Из трех реанализов наиболее близкие к вариациям измеренных значений ПТВ показывает 20CRv3. Это очень важно, поскольку реанализ 20CRv3 начинается с 1836 г., а, значит, можно существенно удлинить ряды в Баренцбурге.

Таблица 1. Корреляции среднесезонных значений ПТВ в Баренцбурге (использованы только прямые измерения с 1932 г.) со значениями ПТВ полученными с помощью реанализов.

Реанализ	зима	Весна	лето	осень	год
20V3	0.880	0.861	0.818	0.954	0.899
ERA	0.862	0.781	0.589	0.940	0.858
CERA	0.888	0.823	0.604	0.804	0.830

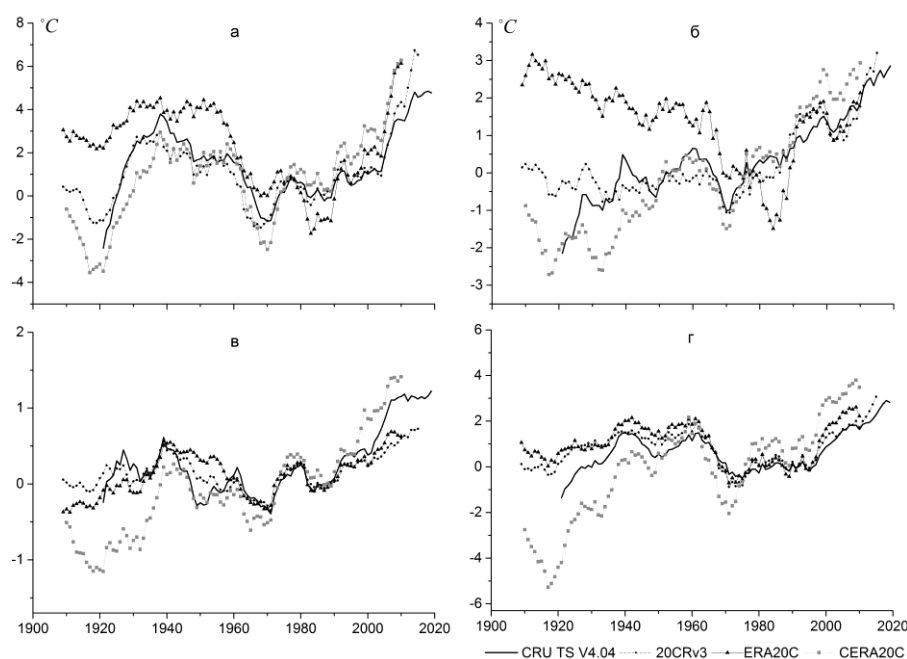


Рисунок 1. Аномалии сезонных температур в районе Баренцбурга (от средних в период 1961-1990 гг.) по данным массива CRU Ts v. 4.04 и реанализов 20CRv3, ERA20C и CERA20C: а – зима, б – весна, в – лето, г – осень; проведено сглаживание по 10-летнему периоду.

На рисунке 2 показаны разности среднегодовой температуры в Баренцбурге и данных реанализа 20CRv3. Разности достаточно стабильны с начала 1930-х гг. и неожиданно резко меняется в более ранний период. В рядах присутствуют сдвиги, обнаруживаемые статистическими тестами (в данном случае тестом для поиска смещения в значениях среднего, предложенным в работе [7]). Восстановление значений ПТВ в период 12.1911–12.1931 для ГМО «Баренцбург» следует признать достаточно надежным [2]. Оно было выполнено в основном по измеренным значениям ПТВ на МС «Green Harbor», находящейся всего в 1.5 км от ГМО «Баренцбург» (в пределах прямой видимости). Поэтому причиной сдвигов могут быть ошибки упомянутого реанализа в период, когда сеть МС на Шпицбергене (и в Арктике в целом) была крайне редкой или МС отсутствовали вовсе.

Из-за выявленных сдвигов при восстановлении рядов появляются значительные неопределенности. Таким образом, продление рядов среднемесячных значений ПТВ в Баренцбурге, полученных преимущественно по данным прямых инструментальных измерений, на период, предшествующий 12.1911 г. с использованием только реанализа 20CRv3 едва ли можно считать обоснованным.

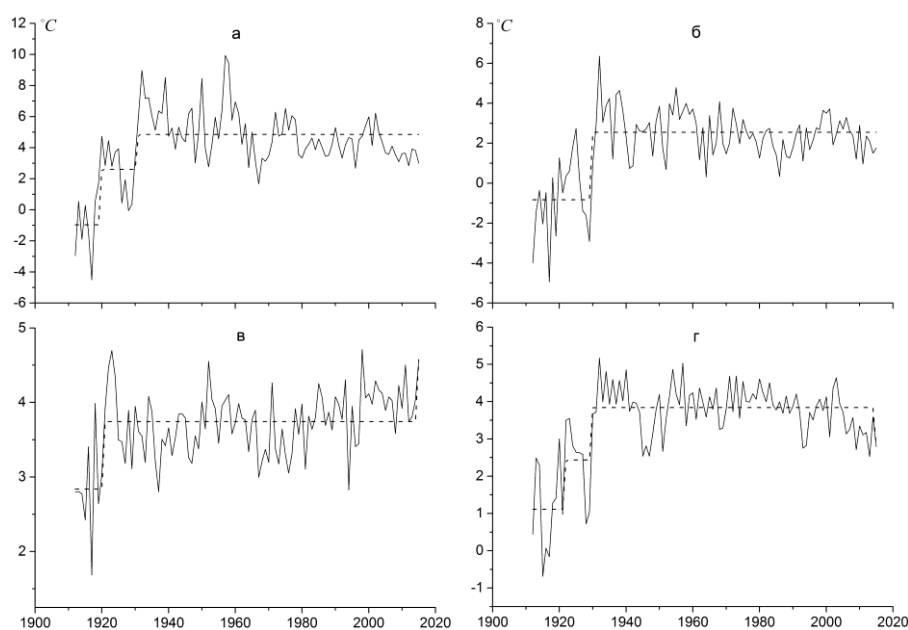


Рисунок 2. Разности среднесезонных ПТВ в Баренцбурге с данными реанализа 20CRv3: а – зима, б – весна, в – лето, г – осень.

Изменение температуры воздуха в Баренцбурге в 1911–2020 гг.

В ежегодных «Докладах об особенностях климата на территории РФ» изменения термического режима приземного слоя атмосферы принято рассматривать, начиная с 1976 г. Эта дата выбрана в качестве условного начала «современного потепления», так как во временных рядах среднегодовых аномалий ПТВ, осредненных по территории России, как и для глобальных временных рядов, период после 1976 г. характеризуется наиболее интенсивным потеплением.

В Баренцбурге в период с 1976 г., повышение ПТВ идет со средними скоростями 1.5–2.1°C/10 лет в зимние месяцы и 0.3–0.5°C/10 лет летом; повышение среднегодовых значений ПТВ происходит со средней скоростью почти 1°C/10 лет. Для сравнения: средняя скорость роста среднегодовой ПТВ воздуха на территории России в 1976–2019 гг. составила 0.47°C/10 лет, а рост глобальной ПТВ за тот же период всего 0.18°C/10 лет [3].

При привлечении к анализу более ранних (до 1976 г.) данных картина существенно меняется. В вариациях ПТВ в Баренцбурге хорошо прослеживаются два выраженных периода интенсивного потепления, разделенных периодом похолодания (рис. 3). При этом только в конце XX века максимальные температуры смогли превысить уровень значений, зафиксированных в период предыдущего («первого») потепления. Скорости потепления, рассчитанные, начиная с 1976 г., оказались большими, поскольку начало расчетного периода приходится на относительно холодный период. Эти скорости, безусловно, не отражают долговременных тенденций. Включение в расчеты «теплых» 1920–40-х гг. сильно снижает масштабы изменений, произошедших за последние 100 лет. Тем не менее, композитный ряд среднемесячных значений ПТВ с 1911 г. подтверждает долговременную тенденцию к потеплению климата в Баренцбурге, хотя и с меньшей скоростью. В период с декабря 1911 г. повышение сезонных температур происходит со средними

скоростями 0.53, 0.53, 0.12 и 0.28°C/10 лет (зима, весна, лето и осень соответственно), а среднегодовой – 0.36°C/10 лет.

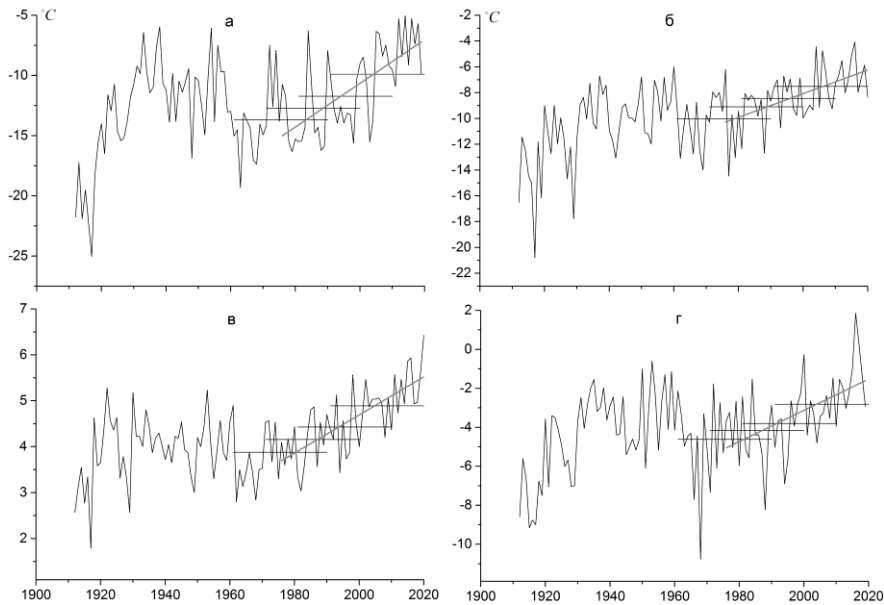


Рисунок 3. Вариации среднесезонных и среднегодовых температур в Баренцбурге: а – зима, б – весна, в – лето, г – осень; горизонтальными линиями отмечены средние значения для периодов 1961-1990, 1971-2000, 1981-2010, 1991-2020 гг., для периода 1976-2020 гг. показан линейный тренд.

На коротких временных интервалах (порядка несколько десятилетий) скорости изменений температуры могут заметно варьировать даже по знаку, предположительно, в зависимости от доминирующих макроциркуляционных процессов (макроциркуляционные эпохи). Для иллюстрации на рисунке 4 показано, что в XX-XXI вв. обнаруживается немало периодов, когда температура по данным за предыдущие 10–30 лет снижалась при ее общем положительном долговременном тренде. Можно предположить также, что появление и в ближайшие десятилетия отрицательного тренда в какие-то месяцы или даже сезоны не обязательно будет свидетельствовать о переломе в долговременной тенденции. Неравнозначные изменения температуры на коротких и длинных периодах времени существуют и в глобальном масштабе. Данный факт необходимо учитывать, так как выбор периода, за который осуществляется расчет климатических тенденций, часто остается только за исследователем, а в зависимости от длины ряда картина может оказаться качественно разной (похолодание или потепление).

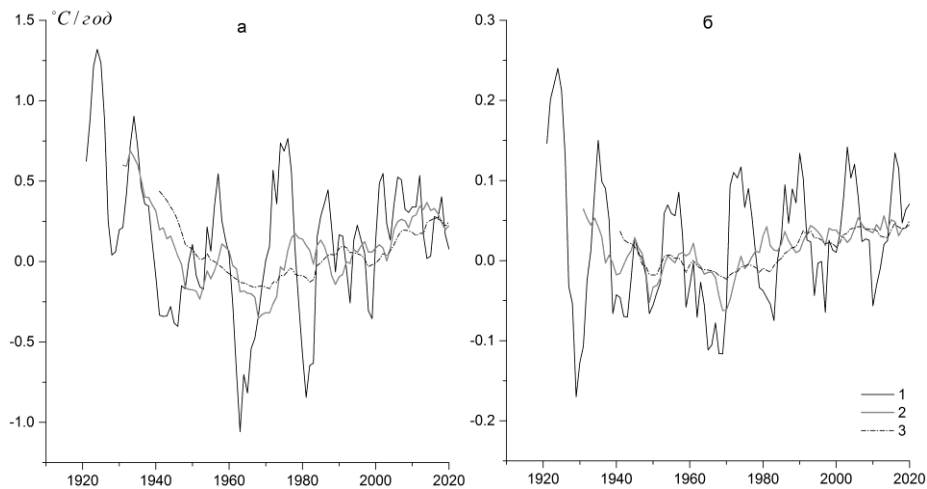


Рисунок 4. Вариации угла наклона линейного тренда температуры в Баренцбурге (средняя скорость изменений), рассчитанного по предыдущему 10 (1), 20 (2) и 30 (3)-летнему периоду; а – зима, б – лето.

Заключение

Создан композитный ряд среднемесячных значений ПТВ в Баренцбурге, начинающиеся с декабря 1911 г. Отсутствующие значения для периода 08.1941-11.1947 гг. рассчитаны по данным ближайших МС и реанализа 20CRv3. Ряд дополнен до 12.1911 г. на основе измерений, выполненных на МС «Green Harbor», которая находилась в 1.5 км от современного положения метеорологической площадки в Баренцбурге.

Среди трех реанализов, охватывающих весь XX век (NCEP/NOAA 20th Century Reanalysis - 20CRv3, ECMWF ERA 20C и CERA 20C), наиболее близкие результаты к измеренным данным, полученным на ГМО «Баренцбург», показывает реанализ 20CRv3. Однако связь температуры в Баренцбурге с 20CRv3 не остается постоянной, что не позволяет его использовать для реконструкции рядов ранее начала 1930-х гг.

В период с декабря 1911 г. повышение сезонных температур происходит со средними скоростями 0.53, 0.53, 0.12 и 0.28°C/10 лет (зима, весна, лето и осень соответственно), а среднегодовой – 0.36°C/10 лет. На более коротких периодах времени (порядка нескольких десятков лет) скорости изменений температуры могут существенно отличаться от долговременного тренда вплоть до знака.

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 г. 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.
3. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 г. Москва, Росгидромет. 2020. 97 с.
4. Рубинштейн Е.С. Однородность метеорологических рядов во времени и пространстве в связи с исследованием изменения климата. Л., Гидрометеиздат, 1979. 80 с.
5. Hanssen-Bauer I., Førland E.J., Hisdal H., Mayer S., Sandø A.B. and Sorteberg A. (eds.). Climate in Svalbard 2100 - a knowledge base for climate adaptation. NCCS report 1/2019 // <https://bora.uib.no/handle/1956/19136>
6. Nordli Ø. The Svalbard Airport temperature series // Bulletin of Geography, Physical Geography Series. 2010. 3. pp. 5 -25.
7. Rodionov S.N. A sequential algorithm for testing climate regime shifts // Geophys. Res. Lett. 2004. 31. L09204, doi:10.1029/2004GL019448.