УДК 551.506.3
DOI: 10.24411/2658-4255-2020-12093

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РЯДА ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА РОССИЙСКОЙ СТАНЦИИ В ПОСЕЛКЕ «БАРЕНЦБУРГ» (ШПИЦБЕРГЕН)

Демин В.И.[1], Иванов Б.В.[2,3,4], Ревина А.Д.[2]

[1] Полярный геофизический институт, Апатиты
[2] Арктический и антарктический НИИ, Санкт-Петербург,
[3] Санкт-Петербургский государственный университет
[4] Институт Физики Атмосферы РАН, Москва.

✉ demin@pgia.ru; b_ivanov@aari.ru; nfennni@gmail.com

Самые продолжительные инструментальные метеорологические наблюдения на архипелаге Шпицберген получены в российском поселке Баренцбург, где первая метеорологическая станция (МС) появилась еще в 1932 г. Все тесты указывают на климатическую однородность рядов среднемесячной приземной температуры воздуха (ПТВ). Однако использование этих данных в исходном виде осложнено перерывом в наблюдениях, связанных со Второй Мировой войной.

Было осуществлено восстановление отсутствующих данных о ПТВ для периода 1941-1947 гг. на основании анализа регрессионной зависимости с норвежскими МС «Isfjord Radio» и «Longyearbyen». Для периодов, когда наблюдения на архипелаге не проводились вовсе (период Второй Мировой войны), данные восстановлены с использованием реанализа NOAA-CIRES-DOE 20CRv3. Восстановление данных до декабря 1911 г. произведено на основе измерений, выполненных на норвежской МС «Green Harbor». В 2013 - 14 гг. проводились параллельные измерения двумя автоматическим метеостанциями на историческом месте метеоплощадки МС «Green Harbor» и на современной метеоплощадке ГМО «Баренцбург», что позволило установить характер статистической связи между значениями ПТВ в этих двух пунктах. В результате получены композитные ряды среднемесячных значений ПТВ начиная с 1911 г. для МС «Баренцбург», которые могут быть использованы для корректных оценок долговременных изменений климата в регионе в различные сезоны года. При этом для периода с 1911 по 2018 гг. доля оригинальных (измеренных) значений ПТВ превышает 75 %, что является максимально возможным числом для любой другой реконструкции подобных рядов на Шпицбергене.

Ключевые слова: Шпицберген, приземная температура воздуха, временные ряды, проверка на однородность, заполнение пропусков, восстановление рядов.

RECONSTRUCTION OF AIR TEMPERATURE SERIES AT RUSSIAN STATION IN BARENTSBURG (SVALBARD)

Demin V.I.[1], Ivanov B.V.[2,3,4], Revina A.D.[2]

[1] Polar Geophysical Institute, Apatity
[2] Arctic and Antarctic Research Institute, Saint-Petersburg,
[3] Saint Petersburg State University
[4] Obukhov Institute of Atmospheric Physics of Russian Academy of Sciences, Moscow

The longest instrumental meteorological observations on the Svalbard archipelago were obtained in the Russian town Barentsburg, where the first meteorological station (MS) appeared back in 1932. All tests indicated homogeneous series of the monthly mean surface air temperature (SAT). The use of these data in its original form is complicated by the interruption in observations related to the World War II. Missing data on SAT were restored for the period 1941-1947 based on the regression analysis with the Norwegian MS “Isfjord Radio” and “Longyearbyen”. For periods when observations on the archipelago were not carried out at all (the period of World War II),

the data were restored using NOAA-CIRES-DOE 20CRv3 reanalysis. Data recovery from December 1911 was carried out on the basis of measurements made at the MS “Green Harbor”. In 2013 - 14 parallel measurements were carried out by two automatic weather stations at the historical site of the weather site MS “Green Harbor” and at the modern weather site GMO “Barentsburg”, which made it possible to establish the statistical relationship between the SAT values in these two points. As a result, composite series of average monthly SAT have been obtained since 1911 for the MS “Barentsburg”, and it can be used for correct estimates of long-term climate changes in the region in different seasons of the year. Moreover, for the period from 1911 to 2018 the proportion of original (measured) SAT values exceeds 75%, which is the maximum possible number among any other reconstruction of such series on Svalbard.

Keywords: Svalbard, surface air temperature, time series, homogeneity analyses, missing data imputation, time series recovery

Статья получена: 29.04.2020
Принята к публикации: 19.05.2020
Опубликована онлайн: 15.06.2020

Введение

Первые сведения об инструментальных метеорологических наблюдениях на архипелаге Шпицберген относятся к последней четверти XIX века. Эти эпизодические наблюдения осуществлялись во время научных и промысловых экспедиций и зимовок. Некоторые метеорологические станции (МС), открытые на архипелаге в первой половине XX века, до настоящего времени не сохранились, а время непрерывной работы существующих МС часто ограничено последними десятилетиями. В результате, несмотря на довольно продолжительную историю метеорологических наблюдений на архипелаге, отсутствуют ряды, которые можно было бы использовать для изучения долговременных климатических изменений. Например, в глобальной системе наблюдений за климатом (Global Climate Observing System) Шпицберген представлена МС «Svalbard Airport», которая приступила к работе только в августе 1975 г. Перечень МС, работавших на Шпицбергене в разные годы, описание их местоположения и периодов работы приведено в работах [1, 2].

Отсутствие длительных непрерывных серий инструментальных наблюдений вынуждает прибегать к созданию композитных рядов, опираясь на данные нескольких МС. Такая процедура всегда сопровождается появлением дополнительных ошибок и неопределенностей. Поэтому МС с наиболее длительными оригинальными (инструментальными) рядами наблюдений имеют очевидное преимущество.

На архипелаге Шпицберген самые продолжительные инструментальные метеорологические наблюдения получены в российском шахтерском поселке Баренцбург, где первая МС появилась еще в 1932 г. Однако использование этих данных в исходном виде осложнено перерывом в наблюдениях с августа 1941 по ноябрь 1947 гг. В то же время в непосредственной близости от Баренцбурга (на 1,5 км южнее на мысе Финнесет) с 1911 по 1930 гг. функционировала норвежская метеорологическая станция «Шпицберген Радио» («Green Harbor»).

Цель данной работы – восстановить отсутствующие данные о приземной температуре воздуха (ПТВ) в поселке Баренцбург и создать непрерывный ряд среднемесячных значений искомой величины, начиная с 1911 г., который можно использовать для объективных оценок климатических изменений на архипелаге в XX веке.

Использованные данные.

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

© В.И. Демин, Б.В. Иванов, А.Д. Ревина
Статья представлена в открытом доступе в полнотекстовом формате по лицензии Creative Commons 4.0

История метеорологических наблюдений в Баренцбурге.

Регулярные метеорологические наблюдения в Баренцбурге начались в августе 1932 г., после их переноса из рудника Грумант-Сити (залив Ис-фьорд), и проводились там по сентябрь 1933 г. по программе II Международного Полярного года, а после его окончания станция начала функционировать как гидрометеорологическая обсерватория (ГМО) «Баренцбург» в системе Гидрометслужбы СССР. Метеорологическая площадка располагалась тогда на северо-восточной окраине посёлка у подножья горы на высоте около 70 м над уровнем моря (н.у.м.) в 400–450 м от восточного берега залива Грен-фьорд. Во время II Мировой войны, в августе 1941 г. МС была законсервирована, персонал эвакуирован. Наблюдения возобновились только в декабре 1947 г. С 1 июня 1978 г. площадка перенесена на узкую прибрежную террасу с отметкой 22 м н. у. м. в 70–80 м от залива. Третий (последний) перенос площадки произошёл в феврале 1984 г. С этого момента и по настоящее время метеорологические наблюдения проводятся на южной окраине посёлка на расстоянии ~330 м от залива и на высоте 74 м н. у. м. Положение метеорологических площадок в разные годы показано на рис. 1 и 2.

Проверка климатической однородности.

Переносы метеорологической площадки в Баренцбурге в 1978 и 1984 гг. могли привести к появлению в рядах метеорологических данных неоднородностей методического характера. Для выявления указанных неоднородностей к имеющимся рядам среднемесячных значений ПТВ были применены известные тесты: SNHT, Буишанда, Петтитта и Фон-Ноймана [3,4]. В соответствиие с существующими правилами ряд считается однородным, если не выполняется только один из использованных тестов. В случае, когда два теста отрицают однородность на 1% уровне вероятности, ряд считается сомнительным. Если наличие неоднородности ряда подтверждается тремя или четырьмя тестами, ряд считается неоднородным. Результаты проверки по указанным тестам подробно рассмотрены в работе [5]. Так, для периода декабрь 1947 - январь 1984 гг., внутри которого произошел перенос площадки в 1978 г., тесты не показали нарушений однородности в рядах ПТВ, причём как в комплексе, так и каждый в отдельности. В период 1978 - 2018 гг., включающего в себя перенос площадки в 1984 г., статистические тесты показывают на присутствие сдвигов в отдельные месяцы, но позже 1995 г. Так как после 1984 г. переносов метеорологической площадки не было, и методика измерений не менялась,

Рисунок 1 – Посёлок Баренцбург (фото Владимира Арнаутова); отмечены положения метеорологической площадки ГМО:
1 – 1932-1978 гг.,
2 – 1978-1984 гг.,
3 – с 1984 г.,
4 – МС на мысе Финнесет

это следует рассматривать как реакцию тестов на современное потепление климата [3]. Ряды ПТВ в период 1978 - 2018 гг. также можно считать однородными. С учётом того, что измерения, выполненные в 1932–1941 гг., фактически являются дополнением ряда 1947–1978 гг., можно говорить об однородности рядов температуры и за весь период наблюдений с 1932 г.

Отсутствие признаков методической неоднородности является основанием для использования рядов ПТВ, полученных в ГМО «Баренцбург», для объективных исследований климатических изменений на архипелаге Шпицберген.

Восстановление пропущенных значений для периода 1941-1947 гг.

Для создания непрерывной серии с 1932 г. необходимо заполнить пропуски в период с августа 1941 по ноябрь 1947 г., вызванные отсутствием наблюдений.

В климатологии существуют различные методы, позволяющие рассчитать отсутствующие значения температуры воздуха по ее значениям на ближайших МС [6]. Один из возможных методов заключается в нахождении коэффициентов линейной регрессии, связывающих ПТВ на изучаемой МС с ПТВ на МС-аналоге в период их совместной (параллельной) работы. Далее по полученному уравнению регрессии выполняется расчёт отсутствующих значений ПТВ на искомой МС по известным значениям ПТВ на МС-аналоге.

Ближайшая к Баренцбургу МС – МС «Isfjord Radio», расположенная ~14 км к западу на мысе Kappe Linne (норв.). Регулярные измерения здесь выполнялись с 1934 по 1976 г. и были возобновлены только в 1996 г. Вторая аналогичная МС – МС «Longyearbyen» (~37 км на северо-северо-восток) находилась на территории норвежского поселка Лонгйир и работала там с перерывами с 1916 по 1977 г. Их положение показано на рисунке 3. История наблюдений, оценка качества данных и подготовка гомогенизированных рядов для этих МС выполнена специалистами Норвежского Метеорологического института [7-10]. Периоды параллельной работы ГМО «Баренцбург» с МС «Isfjord Radio» и «Longyearbyen» составляют десятки лет: 46-48 лет в зависимости от месяца для пары ГМО «Баренцбург» – МС «Isfjord Radio» и 24-28 лет для пары ГМО «Баренцбург» – МС «Longyearbyen». Таким образом, характеристики регрессий получены по большим выборкам.

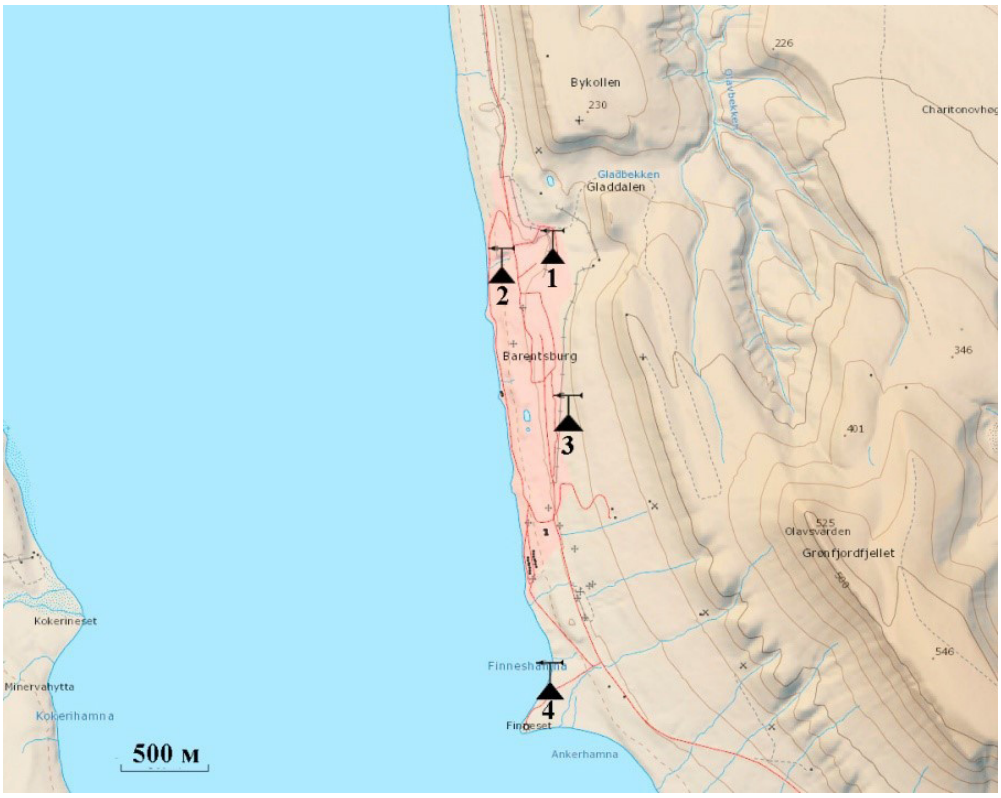

Рисунок 2 – Топографическая карта Баренцбурга и его окрестностей; отмечены положения метеорологической площадки в разные годы (номера соответствуют подписям к рис. 1)

© В.И. Демин, Б.В. Иванов, А.Д. Ревина
Статья представлена в открытом доступе в полнотекстовом формате по лицензии Creative Commons 4.0

Более сложная ситуация с заполнением пропущенных значений возникает для двух периодов: август 1941 – ноябрь 1941 и июль 1942 – август 1945 гг. В это время регулярные инструментальные наблюдения на всем архипелаге полностью отсутствовали, а ближайшие МС оказались удаленными на 900-1000 км. Только в короткий период с декабря 1941 по июнь 1942 гг. в поселке Longyearbyen функционировала немецкая автоматическая станция (www.met.no). Для заполнения пропусков в указанные периоды воспользуемся реанализом «NOAA-CIRES-DOE 20th Century Reanalysis V3» [11]. Корреляция среднемесячных значений ПТВ в ГМО «Баренцбург» с данными реанализа хуже, чем между данными ГМО «Баренцбург» и МС «Isfjord Radio» и «Longyearbyen» соответственно (табл. 1). Однако данная мера в нашем случае представляется неизбежной.

Мы выполнили исследования ряда среднемесячных значений ПТВ в Баренцбурге для периода 1932 - 2018 гг., в котором отсутствующие значения с августа 1941 г. по ноябрь 1947 г. заменены расчетными. Основная цель - обнаружение сдвигов средних значений по методу, представленному в работе [12]. Выберем временной шаг, равный 7 годам, что соответствует продолжительности периода с наибольшей неопределенностью (1941-1947 гг.). Вариации средних значений ПТВ с указанием границ, когда происходит изменение среднего значения (для p=0.05 и 0.01), приведены на рис. 4. Сдвигов на границах исследуемого периода (вблизи 1941 и 1947 гг.), где отсутствующие значения ПТВ заменены расчетными по реанализу, обнаружено не было. Есть сдвиги в другие годы, вызванные, очевидно, естественными изменениями климата. В частности, хорошо заметно смещение среднего в начале XXI веке, вызванного современным потеплением.

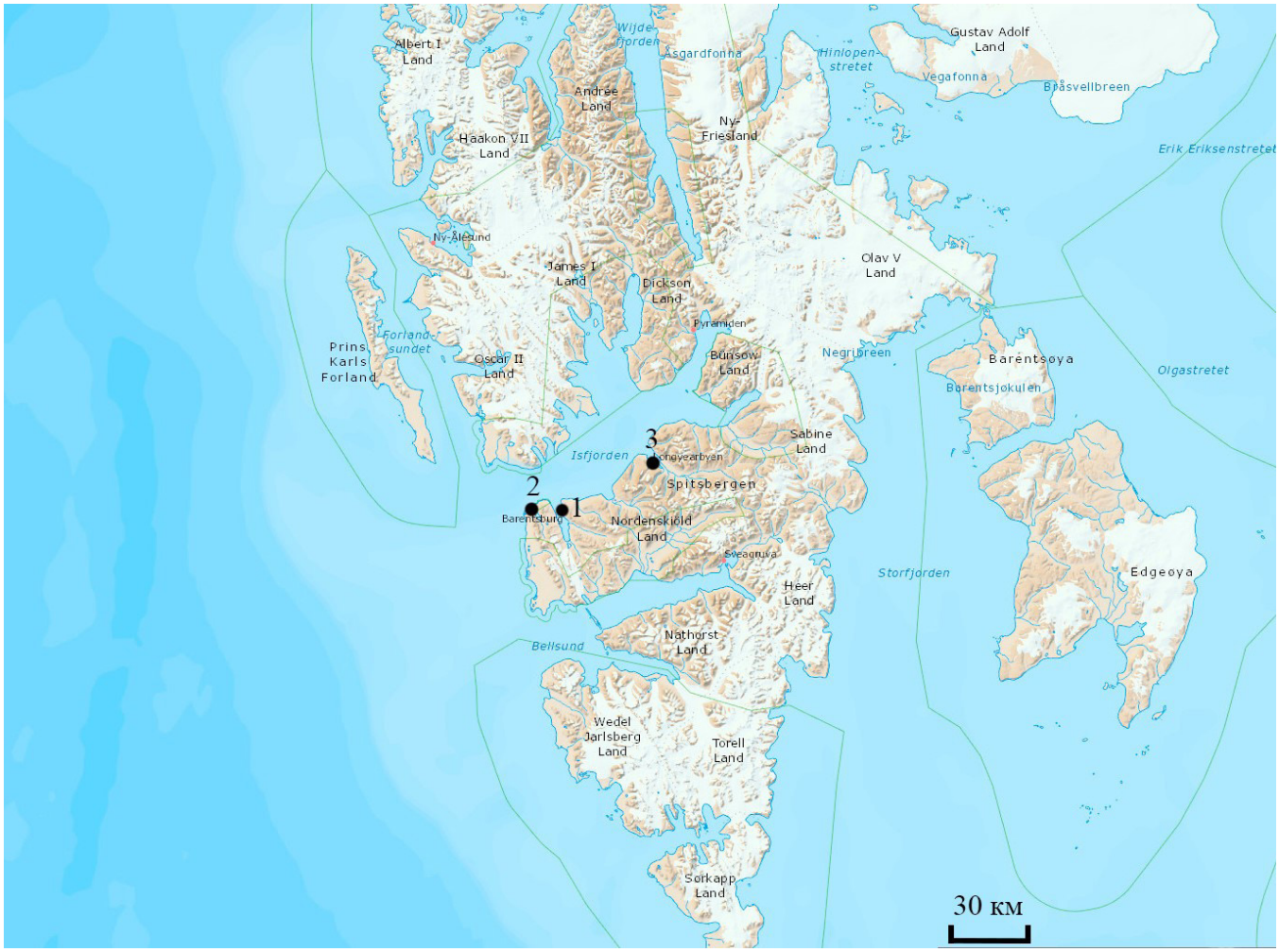

Рисунок 3 – Положение ГМО «Баренцбург» (1), МС «Isfjord Radio» (2), МС «Longyearbyen» (3)

Таблица 1

Коэффициенты корреляции (r) между среднемесячными значениями ПТВ ГМО «Баренцбург» и данными МС «Isfjord Radio», «Longyearbyen» и реанализа 20CRv3 соответственно, а также значения стандартной ошибки полученных уравнений линейных регрессий **(δ)**

Месяц	«Isfjord Radio»		«Longyearbyen»		Реанализ 20CRv3	
	R	**Δ**	**r**	δ	R	δ
январь	0,997	0,347	0,992	0,682	0,883	2,217
февраль	0,994	0,437	0,986	0,576	0,829	2,130
март	0,994	0,450	0,985	0,784	0,892	1,790
апрель	0,989	0,400	0,970	0,646	0,845	1,591
май	0,989	0,263	0,973	0,363	0,870	0,746
июнь	0,947	0,307	0,942	0,308	0,766	0,609
июль	0,873	0,493	0,940	0,259	0,579	0,696
август	0,954	0,270	0,944	0,232	0,732	0,580
сентябрь	0,981	0,273	0,973	0,279	0,945	0,466
октябрь	0,996	0,245	0,995	0,334	0,968	0,602
ноябрь	0,997	0,293	0,985	0,601	0,941	1,186
декабрь	0,997	0,315	0,993	0,550	0,926	1,589

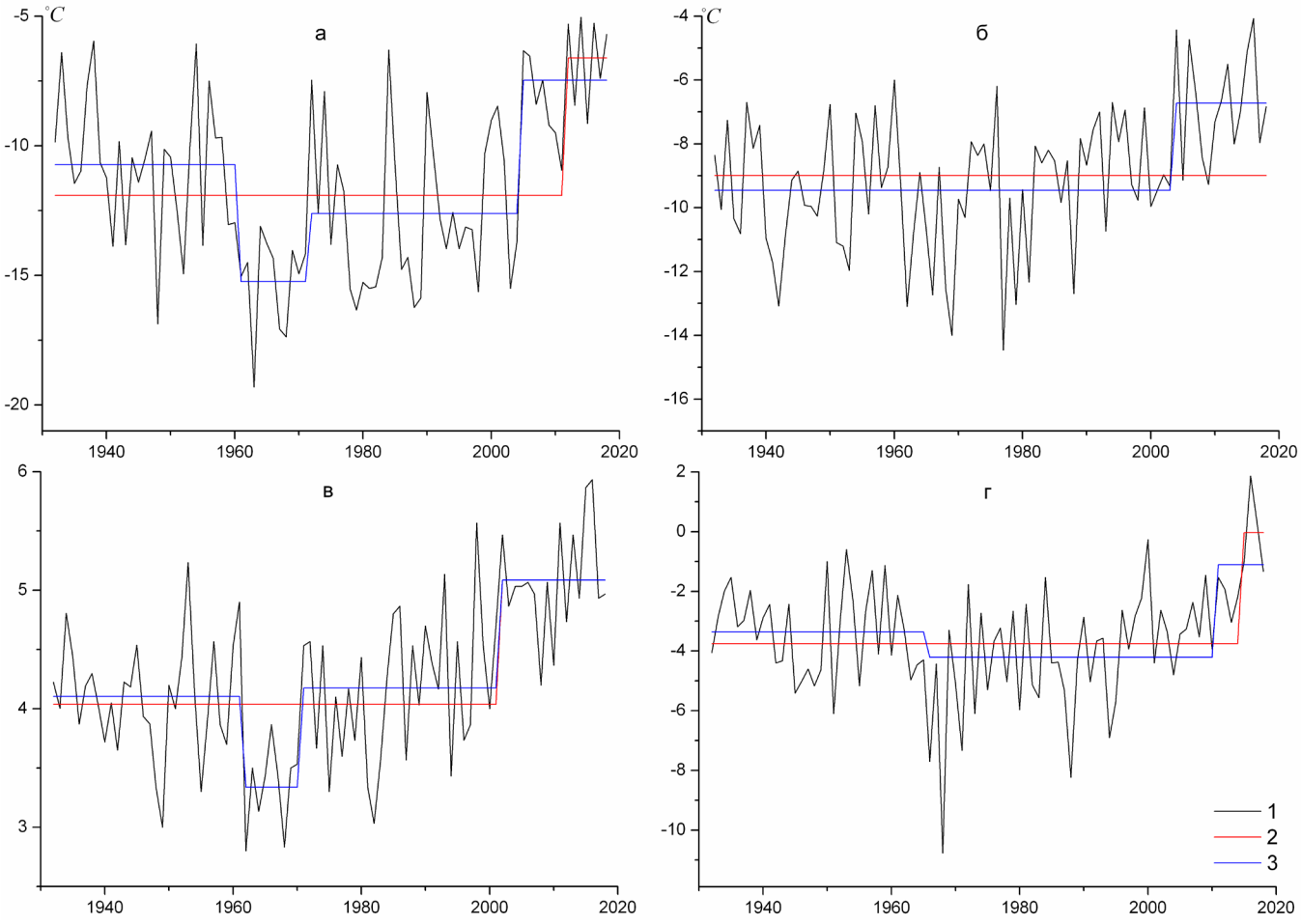

Рисунок 4 – Вариации сезонных значений температур воздуха в ГМО «Баренцбург» (1) и смещения среднего значения (шаг 7 лет) для p = 0.01 (2) и 0.05(3)
а – зима, б – весна, в – лето, г – осень

© В.И. Демин, Б.В. Иванов, А.Д. Ревина
Статья представлена в открытом доступе в полнотекстовом формате по лицензии Creative Commons 4.0

Характер изменения разностей между средними сезонными значениями ПТВ в ГМО «Баренцбург» и ближайшими МС с однородными рядами («Бухта Тихая», Земля Франца-Иосифа и «Вардо», Норвегия) расположенными, соответственно, в 760 и 990 км от Баренцбурга, не меняется в период 1941-1947 гг. по сравнению с предыдущими и последующими годами (см. рис. 5). Таким образом, значения ПТВ, рассчитанные с помощью реанализа, представляются нам вполне корректными, поскольку не содержат явных выбросов.

Восстановление ряда для ГМО «Баренцбург» с 1911 г.

С декабря 1911 по август 1930 гг. на мысе Финнесет в заливе Грен-фьорд на базе норвежской радиостанции «Шпицберген Радио» проводились регулярные инструментальные метеорологические наблюдения. Расстояние между современным положением метеорологической площадки ГМО «Баренцбург» и местом, где ранее находилась метеоплощадка на мысе Финнесет всего около 1,5 км – в пределах прямой видимости (см. рис. 1-2). Данные норвежской МС, получившей название Green Harbor, можно использовать для продления созданного нами ряда для Баренцбурга (1932-2018 гг.) на более ранний период, а именно, на период 1911-1931 гг. Такое продление представляет очевидный интерес в связи с имеющимися попытками сравнения масштабов «первого» потепления (1920-40 гг.) и «современного» и по данным МС «Longyearbyen» [13]. МС «Green Harbor» является фактически единственной МС на Шпицбергене, зарегистрировавшей «первое» потепление. МС «Longyearbyen» даже с учетом первых инструментальных наблюдений, выполненных немецко-австрийской научной экспедицией в 1911 г., содержит много пробелов и неопределенностей в рядах данных именно в этот период.

Метеорологические наблюдения на МС «Green Harbor» закончились, примерно, за 2 года до открытия ГМО «Баренцбург». В 2013 - 14 гг. на мысе Финнесет в месте, в историческом месте расположения метеорологической площадки МС «Green Harbor» в 1911-1930 гг., была установлена автоматическая МС (АМС), на высоте, порядка, 8 м н.у.м. и, примерно, в 35 м от

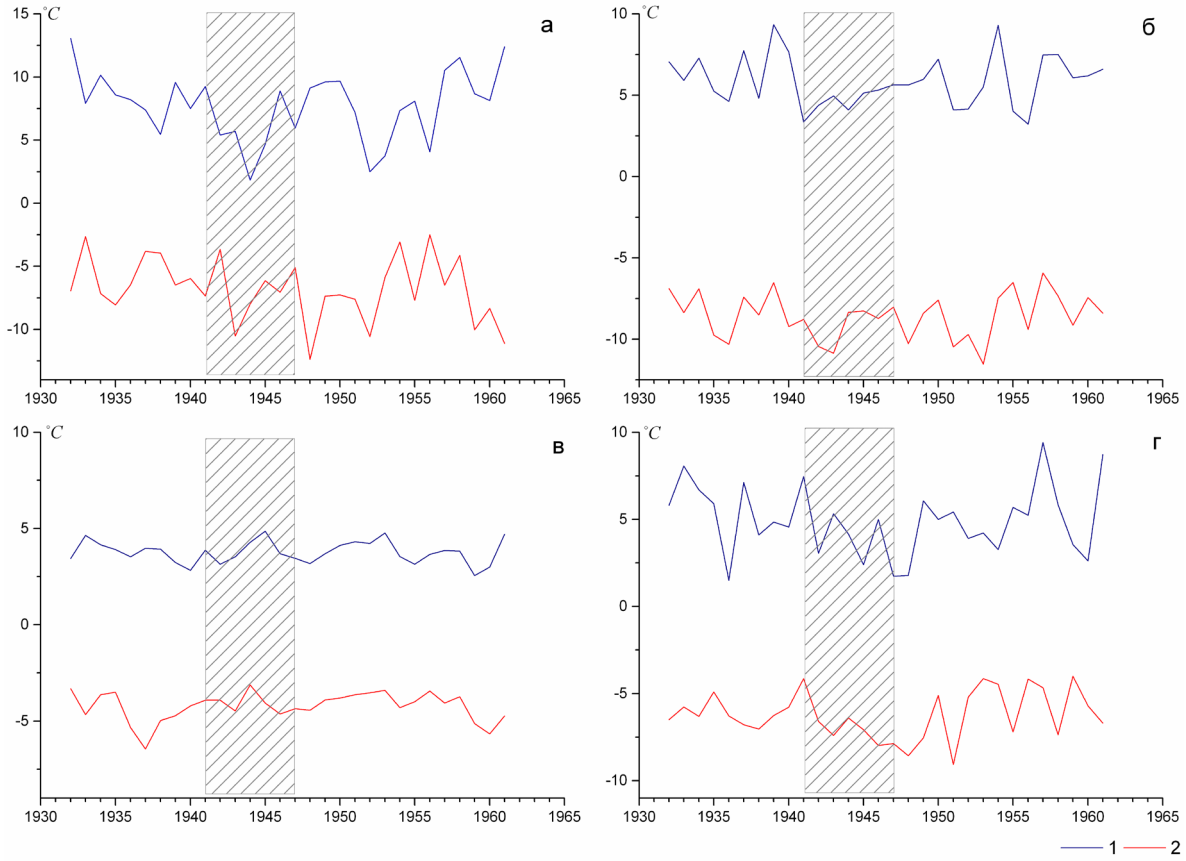

Рисунок 5 – Разности среднесезонных значений ПТВ в ГМО «Баренцбург» и МС «Бухта Тихая» (1) и «Вардо» (2): а – зима, б – весна, в – лето, г – осень; заштрихован период с расчетными значениями для ГМО «Баренцбург»

уреза воды. Вторая такая же АМС была размещена на метеорологической площадке ГМО «Баренцбург». Эти параллельные измерения позволили установить характер статистической связи между значениями ПТВ в этих двух пунктах. Коэффициент корреляции между значениями ПТВ, наблюденными в основные синоптические сроки (0, 3, 6, 9,12, 15, 18 и 21 час UTC), оказался равным 0,996. ПТВ на мысе Финнесет оказалась, примерно, на 0,4 градуса выше, чем на площадке ГМО «Баренцбург», что, по всей видимости, вызвано отепляющим влиянием залива в зимний период года. Поскольку температуры воздуха и воды в летнее время различаются незначительно, охлаждающее влияние залива в этот период года зафиксировано не было.

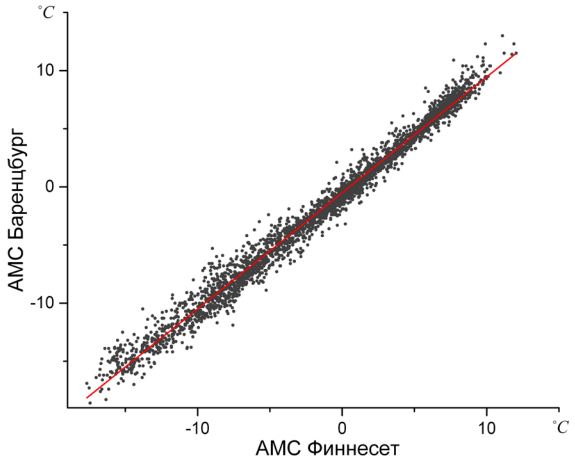

Рисунок 6 – Связь значений ПТВ в основные синоптические сроки на площадке ГМО «Баренцбург» и на мысе Финнесет, 2013-2014 гг.

Так как продолжительность параллельных измерений на ГМО «Баренцбург» и на мысе Финнесет лишь немного превышала один год, было получено общее уравнение регрессии (см. рис.6). Такой прием позволяет учесть разную повторяемость по месяцам погодных условий, благоприятных для проявления микроклиматических различий сравниваемых участков. Коэффициент корреляции между среднемесячными значениями ПТВ на площадке ГМО и на мысе Финнесет составил 0,994, а стандартная ошибка расчета среднемесячных значений ПТВ на ГМО по данным наблюдений на мысе Финнесет равна 0,146 °C. Это предполагает высокое качество реконструкции среднемесячных значений ПТВ на ГМО «Баренцбург» по данным МС «Green Harbor».

Наконец, для полного заполнения отсутствующих значений среднемесячной ПТВ в Баренцбурге для периода сентябрь 1930 – декабрь 1931 гг. (промежуток времени между закрытием МС «Green Harbor» и открытием МС «Баренцбург»), были заменены расчетными оценками, полученными по данным наблюдений на МС «Longyearbyen». В таблице 2 представлены периоды, для которых было проведено восстановление среднемесячных значений ПТВ для МС «Баренцбург» с указанием использованных для этого рядов.

Таблица 2

Периоды с отсутствием данных инструментальных наблюдений на МС «Баренцбург» и использованные для их восстановления источники данных.

Период с отсутствующими данными на ГМО «Баренцбург»	Источник данных для восстановления
Декабрь 1911– август 1930 гг.	МС «Green Harbor»
Сентябрь 1930 – декабрь 1931 гг.	МС «Longyearbyen»
Январь 1934 г.	МС «Longyearbyen»
Август 1941– ноябрь 1941 гг.	Реанализ 20CRv3
Декабрь 1941– июнь 1942 гг.	МС Longyearbyen
Июль 1942 – август 1945 гг.	Реанализ 20CRv3
Сентябрь 1945 – август 1946 гг.	МС «Longyearbyen»
Сентябрь 1946 – ноябрь 1947 гг.	МС «Isfjord Radio»

© В.И. Демин, Б.В. Иванов, А.Д. Ревина
Статья представлена в открытом доступе в полнотекстовом формате по лицензии Creative Commons 4.0

Сравнение рядов температуры воздуха на ГМО «Баренцбург» и МС «Svalbard Airport»

В настоящее время базовым рядом для оценок климатических изменений на Шпицбергене является композитный ряд среднемесячных значений температуры воздуха для МС «Svalbard Airport». МС «Svalbard Airport» - это пункт наблюдений, расположенный в непосредственной близости от взлетно-посадочной полосы аэропорта в норвежском поселке Лонгйир.

Измерения температуры воздуха собственно на МС «Svalbard Airport» проводятся только с 1975 г. Все остальные данные, которые продлены («восстановлены») до 1898 г. являются расчетными [10]. Они получены по данным других МС (в т.ч. и по данным ГМО «Баренцбург») по соответствующим уравнениям регрессии.

Представляет интерес сравнить ряды среднемесячной температуры воздуха на МС «Баренцбург» и МС «Svalbard Airport» в период 1911-2018 гг. Обе МС демонстрируют одинаковые тенденции, а коэффициент корреляции среднемесячных значений температуры воздуха для 1911-2018 гг. составляет величину 0.93 - 0.98. Однако есть факты, которые требует требуют более внимательного рассмотрения.

Западная часть архипелага Шпицбергена омывается теплым Западным Шпицбергенским течением. Зимние температуры воздуха, как правило, понижаются при продвижении от западных районов архипелага в его центральную часть [14]. Теоретически, должно выполняться следующее соотношение между средними зимними значениями ПТВ:

$$T_{\text{Isfjord Radio}} > T_{\text{Green Harbour}} > T_{\text{Баренцбург}} > T_{\text{Svalbard Airport}}$$

Первые два неравенства выполняются, а последнее – только на части ряда (см. рис. 7).

Выявить физические причины, по которым на МС «Svalbard Airport» зимы 1911-1930 гг. оказались примерно такими же и даже теплее, чем на МС «Green Harbor», довольно трудно. Можно предположить, что восстановленные для этого периода значения ПТВ на МС «Svalbard Airport» несколько завышены из-за более частой реконструкции этого ряда. На МС «Svalbard Airport» доля оригинальных (измеренных) значений ПТВ для периода 1911-2018 гг., не превышает 40 %, причем все значения до августа 1975 г. являются восстановленными. Для сравнения, в аналогичном (с 1911 г.) композитном ряду для МС «Баренцбург» доля оригинальных значений превышает 75%. Так как всякое восстановление сопровождается определенными ошибками, ряд, полученный для МС «Баренцбург», должен иметь очевидное преимущество в климатологических задачах.

Выводы

Ряды среднемесячных значений ПТВ, полученные для МС «Баренцбург», являются методически однородными и самими продолжительными среди всех МС на архипелаге Шпицбергене.

С помощью данных ближайших МС и реанализа восстановлены отсутствующие значения среднемесячной ПТВ для периода 1941-1947 гг. Ряды продлены до декабря 1911 г. на основе измерений, выполненных на МС «Green Harbor», которая находилась в 1,5 км от современной метеорологической площадки в поселке Баренцбург.

Созданные композитные ряды среднемесячных значений ПТВ для МС «Баренцбург» могут быть использованы для корректных оценок долговременных изменений климата в регионе в различные

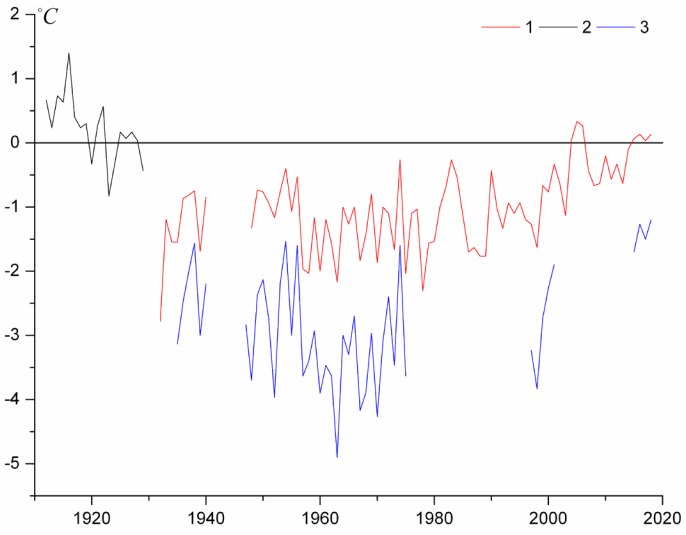

Рисунок 7 – Разности средних зимних значений ПТВ между МС «Svalbard Airport» и «Баренцбург»(1), «Шпицберген Радио» (2) и «Isfjord Radio» (3) соответственно

сезоны года. При этом для периода с 1911 по 2018 гг. доля оригинальных (измеренных) значений ПТВ превышает 75 %, что является максимально возможным числом для любой другой реконструкции подобных рядов на Шпицбергене.

Статья подготовлена в рамках плана НИТР/ОПР Росгидромета (проект 24, раздел 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».

Данные о приземной температуре воздуха в поселке Баренцбург для периода 1941-1947 гг. были обработаны при финансовой поддержке гранта РФФИ №18-05-60291 «Адаптация Арктических лимносистем к быстрым изменениям климата» (рук. Федорова И.А.), обработка данных норвежских метеостанций была выполнена при финансовой поддержке российско-норвежского проекта "«Сотрудничество в области анализа климатических данных и данных по морскому льду в северной части Баренцева моря" (рук. Иванов Б.В.).

Список литературы:

1. Nordli Ø., Hanssen-Bauer I. & Førland E.J. 1996. Homogeneity analyses of temperature and precipitation series from Svalbard and Jan Mayen. Klima 16/96. Oslo: Norwegian Meteorological Institute.
2. Vikhamar-Schuler D, Førland E.J., Lutz J. and Gjelten H.M. 2019 Evaluation of downscaled reanalysis and observations for Svalbard - Background-report for Climate in Svalbard 2100. NCCS-report 4/2019. URL: www.klimaservicesenter.no.
3. Руководство по специализированному обслуживанию экономики климатической информацией, продукцией и услугами 2008. / Под редакцией д-ра геогр. наук, профессора Н.В. Кобышевой. – СПб.,– 336 с..
4. European Climate Assessment & Dataset (ECA&D). 2013. Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)// ECA&D: Project number: EPJ029135. Royal Netherlands Meteorological Institute KNMI. Version: 10.7. URL: https://www.ecad.eu/documents/atbd.pdf
5. Демин В.И., Иванов. Б.В. 2019. 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.
6. Рубинштейн Е.С. Однородность метеорологических рядов во времени и пространстве в связи с исследованием изменения климата. Л., Гидрометеоиздат, 1979, 80 с.
7. Nordli Ø., Hanssen-Bauer I. & Førland E.J. 1996. Homogeneity analyses of temperature and precipitation series from Svalbard and Jan Mayen. Klima 16/96. Oslo: Norwegian Meteorological Institute.
8. Nordli Ø. The Svalbard Airport temperature series. //Bulletin of Geography, Physical Geography Series. 2010. 3. pp. 5 -25
9. Nordli O. and Isaksen K. Long–term climate variations on Svalbard using early instrumental observations // Geophysical Research Abstract (EGU2010 – 9122, 2010). Vol. 12, 2012.
10. 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
11. NOAA-CIRES-DOE 20th Century Reanalysis V3 URL: https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.20thC_ReanV3.html
12. Rodionov, S.N., 2004: A sequential algorithm for testing climate regime shifts. Geophys. Res. Lett., 31, L09204, doi:10.1029/2004GL019448.
13. 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. 231 (2019) 012023 doi:10.1088/1755-1315/231/1/012023 URL: https://iopscience.iop.org/issue/1755-1315/231/1
14. Przybylak, R. et al. Spatial distribution of air temperature on Svalbard during1 year with campaign measurements // Int. J. Climatol.34: 3702–3719 (2014)

© *В.И. Демин, Б.В. Иванов, А.Д. Ревина*
Статья представлена в открытом доступе в полнотекстовом формате по лицензии Creative Commons 4.0

References:

1. Nordli Ø., Hanssen-Bauer I. & Førland E.J. 1996. Homogeneity analyses of temperature and precipitation series from Svalbard and Jan Mayen. Klima 16/96. Oslo: Norwegian Meteorological Institute.
2. Vikhamar-Schuler D, Førland E.J., Lutz J. and Gjelten H.M. 2019 Evaluation of downscaled reanalysis and observations for Svalbard - Background-report for Climate in Svalbard 2100. NCCS-report 4/2019. URL: www.klimaservicesenter.no.
3. Rukovodstvo po specializirovannomu obsluzhivaniyu ekonomiki klimaticheskoj informaciej, produkciej i uslugami 2008. [Guidelines for specialized services to the economy with climate information, products and services 2008.] / / Edited by Dr. geogr. sciences, professors N.V. Kobysheva. – Saint Petersburg,– 336 p. (in Russian)
4. European Climate Assessment & Dataset (ECA&D). 2013. Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)// ECA&D: Project number: EPJ029135. Royal Netherlands Meteorological Institute KNMI. Version: 10.7. URL: https://www.ecad.eu/documents/atbd.pdf
5. Demin V.I., Ivanov. B.V. 2019. Proverka klimaticheskoj odnorodnosti ryadov temperatury vozduha v Barencburge (Shpicbergen) [Checking the climatic uniformity of the air temperature series in Barentsburg (Spitsbergen)] // Proceedings of the 16th All-Russian Scientific School “Mathematical methods in the natural sciences” - Apatity, Geological Institute, KSC RAS, 2019, p. 134-150 (in Russian)
6. Rubinshtejn E.S. Odnorodnost' meteorologicheskih ryadov vo vremeni i prostranstve v svyazi s issledovaniem izmeneniya klimata. [Homogeneity of meteorological series in time and space in connection with the study of climate change], Leningrad., Gidrometeoizdat, 1979, 80 p. (in Russian)
7. Nordli Ø., Hanssen-Bauer I. & Førland E.J. 1996. Homogeneity analyses of temperature and precipitation series from Svalbard and Jan Mayen. Klima 16/96. Oslo: Norwegian Meteorological Institute.
8. Nordli Ø. The Svalbard Airport temperature series. //Bulletin of Geography, Physical Geography Series. 2010. 3. pp. 5 -25
9. Nordli O. and Isaksen K. Long–term climate variations on Svalbard using early instrumental observations // Geophysical Research Abstract (EGU2010 – 9122, 2010). Vol. 12, 2012.
10. 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
11. NOAA-CIRES-DOE 20th Century Reanalysis V3. URL: https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.20thC_ReanV3.html
12. Rodionov, S.N., 2004: A sequential algorithm for testing climate regime shifts. Geophys. Res. Lett., 31, L09204, doi:10.1029/2004GL019448.
13. 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. 231 (2019) 012023 doi:10.1088/1755-1315/231/1/012023 URL: https://iopscience.iop.org/issue/1755-1315/231/1
14. Przybylak, R. et al. Spatial distribution of air temperature on Svalbard during1 year with campaign measurements // Int. J. Climatol.34: 3702–3719 (2014)