

DOI: 10.51981/2588-0039.2022.45.034

СОЗДАНИЕ ОДНОРОДНОГО РЯДА СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ ТЕМПЕРАТУР ВОЗДУХА В АПАТИТАХ (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ) ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

В.И. Демин

ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты

Аннотация

Представлена процедура создания длинного ряда среднемесячных температур воздуха в Апатитах по данным нескольких ГМС. Статистическими тестами показана однородность созданного композитного ряда. Получены климатические нормы для основных климатических периодов. Среднесезонные температуры в Апатитах в начале XXI в. (2001-2021 гг.) выше аналогичных ПТВ преиндустриального периода на 2.5, 2.5, 1.2 и 1.9°C зимой, весной, летом и осенью соответственно. Среднегодовая температура воздуха повысилась с -1.7 до 0.3°C.

Введение

Гидрометеорологическая станция (ГМС) «Апатиты» работает в поселке Тик-Губа с сентября 1978 г. Из-за короткого периода наблюдений полученные на ней ряды метеорологических параметров в целом недостаточны для анализа даже современных изменений климата. Между тем метеорологические измерения в окрестностях Апатит начались еще в 1900 г. и соответствуют наиболее ранним сериям на территории Мурманской области. Однако выполнялись эти измерения в разные периоды времени на разных ГМС (рис. 1).

Целью данной работы является создание композитного и методически однородного ряда среднемесячных температур воздуха в Апатитах для оценок изменения климата на различных временных масштабах.



Рисунок 1. Схема расположения ГМС вблизи Апатит и периоды с доступными данными о температуре воздуха.

История метеорологических измерений в Апатитах

Метеорологические наблюдения вблизи Апатит начались 1 июня 1900 г. при почтово-телеграфной конторе в селении Хибины. Подробное описание местоположения метеорологической площадки не сохранилось, но известно, что в период 1900-1927 гг. она не переносилась. В издании [1] эти измерения представлены как данные ГМС «Имандра». Эти же самые данные в [2] фигурируют уже как ряды температуры по ГМС «Хибины, оп. поле». В действительности же ГМС «Хибины, оп. поле» была открыта на территории Хибинского сельскохозяйственного опорного пункта Института прикладной ботаники и селекции (ПОСВИР) только 15 мая 1924 г., причем до конца 1926 г. измерения проводились нерегулярно. После производства в течение 1927 г. параллельных измерений на ГМС «Хибины-Имандра» и «Хибины, оп. поле» первая из станций была закрыта. Таким образом, представленный в климатических архивах ряд по ст. «Хибины, оп. поле», начинающийся с 1900 г., является композитным. Очевидно, что такому объединению должна была предшествовать проверка на однородность. В 1978 г. с переездом ПОСВИР со ст. Хибины в пос. Тик-Губа ГМС «Хибины, оп. поле» прекратила свои наблюдения на старом месте и одновременно – с сентября 1978 г. – в Тик-Губе начала наблюдения новая ГМС, названная по месту нахождения ГМС «Апатиты».

С 15 июля 1932 г. метеорологические наблюдения проводились на территории совхоза «Индустрия», расположенного к западу от жд станции «Апатиты» (в справочнике [6] ГМС обозначена как «Апатиты, Индустрия»). 20 октября 1942 г. наблюдения были перенесены на территорию аэропорта, располагавшегося в пос. Тик-Губа, где еще с 1937 г. находилась авиационная метеорологическая станция (АМСГ). Ее данные в издании [6] представлены под именем «Апатиты», но, чтобы не путать ее с современной АМСГ «Апатиты» в аэропорту «Хибины» («Апатиты») и современной ГМС «Апатиты», далее в работе она будет обозначаться как АМСГ «Апатиты» (Тик-Губа). С началом работы аэропорта в Кировске аэропорт Тик-Губа прекратил свое существование, а АМСГ «Апатиты» была реорганизована в АМСГ «Кировск».

Создание длинного ряда

Простое объединение рядов ГМС «Хибины, оп. поле» (06.1900-08.1978) и современной ГМС Апатиты (с 09.1978 г.) позволяет создать непрерывный длинный (с 1900 г.) ряд. Однако такая процедура не является корректной: район размещения современной ГМС «Апатиты» из-за особенностей окружающего микроклимата характеризуется более низкими приземными температурами воздуха (ПТВ), чем местоположение ГМС «Хибины оп. поле». Такой композитный ряд не проходит тесты на однородность.

Более перспективным представляется объединение рядов, полученных в 1942-1964 гг. на АМСГ «Апатиты» (Тик-Губа) и работающей в настоящее время в той же Тик-Губе ГМС «Апатиты»: обе измерительные площадки – действующей ГМС и бывшей АМСГ – расположены не только на небольшом расстоянии друг от друга (примерно 1 км – в пределах прямой видимости) и близких высотах (131-134 м н.у.м.), но и, что особо важно, практически в одинаковых микроклиматических условиях (обширный выровненный низменный участок на берегу озера Имандра).

Объединяя ряды АМСГ «Апатиты» (Тик-Губа) и ГМС «Апатиты» необходимо для непрерывности ряда найти значения ПТВ в период 1965-1978 гг.

Методика восстановления отсутствующих значений по данным ближайших ГМС (ГМС-аналог) приведена в ряде специальных работ (см., например, [3, 4]). Она предполагает нахождение для каждого месяца линейных регрессий, связывающих ПТВ на исследуемой ГМС и ГМС-аналоге в период их параллельной работы и нахождение по этим уравнениям отсутствующие значения по известным значениям на ГМС-аналоге. Для АМСГ «Апатиты» (Тик-Губа) ближайшим аналогом может быть ГМС «Хибины, оп. поле», удаленная примерно на 14 км к северу и имеющая с ней довольно продолжительный период параллельной работы: 1942-1964 гг. (у ГМС «Апатиты» временного перекрытия с ГМС «Хибины, оп. поле» нет).

Дополнение ряда АМСГ «Апатиты» (Тик-Губа) к 1932 г. данными ГМС «Апатиты, Индустрия» (1932-1942 гг.), несмотря на их очень близкое положение, нецелесообразно. После переноса наблюдений с территории совхоза «Индустрия» на территорию аэропорта в Тик-Губе однородность ряда нарушилась в сторону понижения средних месячных на 0.2-0.3°C и средних минимальных на 0.4-0.6°C [2] (сказывается более близкое положение АМСГ «Апатиты» (Тик-Губа) к обширной котловине Имандры, где из-за стока холодного воздуха происходит формирование «озера холода»). Потому отсутствующие на АМСГ «Апатиты» (Тик-Губа) ПТВ в период 1900-1942 придется рассчитать по данным ГМС «Хибины, оп. поле». Несколько пропусков ПТВ на ГМС «Хибины, оп. поле» в период 1915-1922 гг. были предварительно заполнены с использованием данных ГМС «Кандалакша» и «Кола».

Расчет значений ПТВ на АМСГ «Апатиты» (Тик-Губа) по ГМС «Хибины, оп. поле» позволяет получить ряд среднемесячных ПТВ по ГМС «Апатиты» с 1900 по 1978 г. Высокие (более 0.99) коэффициенты корреляции ПТВ на АМСГ «Апатиты» (Тик-Губа) и ГМС «Хибины, оп. поле» в период их параллельной работы предполагают надежность расчетных значений (табл. 1).

Таблица 1. Коэффициенты корреляции (r) среднемесячных ПТВ на АМСГ «Апатиты» (Тик-Губа) и «Хибины оп. поле», σ – стандартная ошибка уравнения регрессии; по данным 11.1942-1964 гг.

месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
r	0.993	0.998	0.996	0.997	0.997	0.997	0.996	0.997	0.991	0.998	0.996	0.998
σ	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.3	0.3

Как уже было сказано выше, ряд среднемесячных ПТВ на АМСГ «Апатиты, Тик-Губа» (1900-1978 гг.) предлагается объединить с рядом ПТВ современной ГМС «Апатиты». Для проверки однородности созданного композитного ряда в соответствии с принятой международной практикой был применен комбинированный статистический подход [5], при котором последовательно использовались четыре статистических теста: стандартный нормальный тест для проверки однородности (SNHT), тест Буишанда, непараметрический тест

Петита, отношение Фон-Ноймана. Ряд признавался однородным, если однородность на 1% уровне вероятности отрицало не более 1 теста.

В ряду разностей среднемесячных ПТВ между Апатитами и Мончегорском, который можно рассматривать как эталонный в период 1937-1990 гг. (с 1991 ГМС находится в другом месте) сдвиг вблизи 1978 г. была обнаружен только в ноябре. В ряду разностей ПТВ между Апатитами и Кандалакшей (гарантированно однороден с 08.1958) сдвигов вблизи 1978 г не обнаружено.

Созданный композитный ряд ПТВ (1900-2021 гг.) состоит из нескольких фрагментов: 1. 1900-1942 гг. – расчетные ПТВ по измерениям на ГМС «Хибины оп. поле»; 2. 1942-1964 гг. – данные прямых измерений на АМСГ «Апатиты» (Тик-Губа); 3. 1965-1978 гг. – расчетные ПТВ по измерениям на ГМС «Хибины оп. поле»; 4. с 1978 г. – прямые измерения на ГМС «Апатиты». В случае однородности его статистические характеристики, очевидно, не должны меняться на разных участках. Для проверки был проведен анализ полного ряда (1900-2021) в специальном пакете RHTests, работающем в программной среде R. В пакете используются пенализированный максимальный t- и F-тесты для поиска скачкообразных сдвигов в среднем [7]. Реализованный в нем алгоритм является в настоящее время одним из наиболее эффективных для обнаружения множественных сдвигов и широко применяется для выявления неоднородностей в многолетних рядах данных метеорологических элементов (RHTest предлагается Всемирной метеорологической организации в качестве программного продукта для гомогенизации рядов).

Работа RHTests в режиме «без эталонного», когда анализу подвергался полный ряд ГМС «Апатиты», 1900-2021 гг., не обнаружило сдвигов, причем не только вблизи границ стыковки отдельных фрагментов ряда, но и по всему ряду в целом (рис. 2, 3).

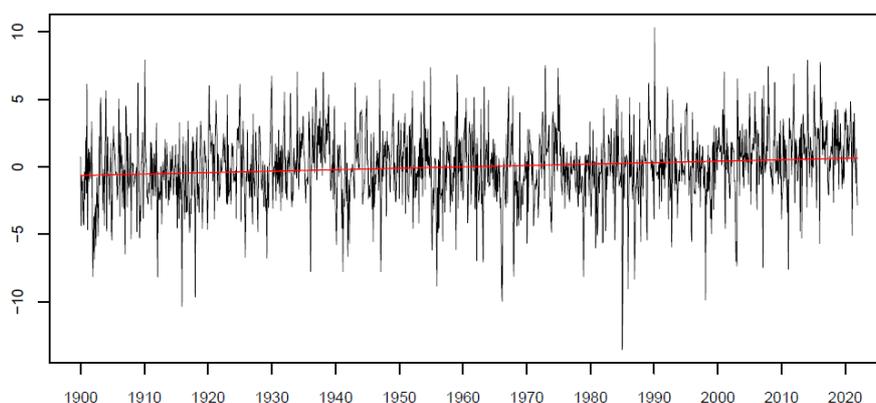


Рисунок 2. Базовый ряд аномалий среднемесячных ПТВ (аномалии относительно среднего годового цикла базового ряда) вместе с моделью многофазной регрессии, ГМС «Апатиты».

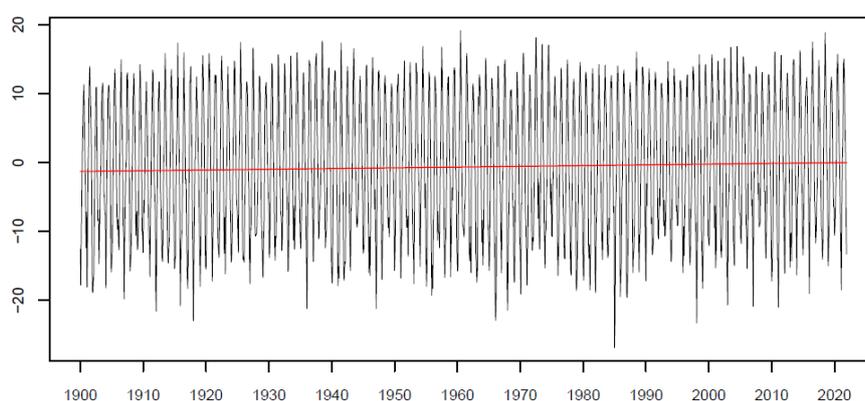


Рисунок 3. Базовый ряд среднемесячных ПТВ и линейный тренд, определенный RHTests (без сдвигов), ГМС «Апатиты».

При использовании эталонных рядов результат RHTests оказался неоднозначным. По отношению к рядам ГМС «Мончегорск», «Кандалакша» обнаруживался сдвиг примерно на 0.2°C – величина, на которую в процессе гомогенизации следовало бы уменьшить измеренные на АГМС «Апатиты» (Тик-Губа) ПТВ. Но по отношению к другим, причем более длинным эталонным рядам, – «Умба», «Мурманск» и «Полярный» (единственный ряд, полностью соответствующий длине созданного композитного ряда), сдвигов обнаружено

не было. Неоднозначная реакция тестов, позволяет признать коррекцию измеренных значений нецелесообразной и оставить композитный ряд в исходном виде как однородный. Последнее представляется тем более важным, что нестрогое обоснованные действия по исправлению старых значений в пользу их понижения нередко служат поводом для обвинений в применении манипулятивных процедур с целью «усилить» скорость современного потепления.

При оценке изменений климата в Апатитах можно не ограничиваться 1900 г. В серии справочников по климату СССР [6] приведены климатические нормы 1881-1960 гг. Для ГМС с недостаточной продолжительностью измерений выполнялось приведение к длинному ряду методом разностей. Для ГМС «Апатиты» такое приведение возможно по данным ГМС «Кола», работавшей с 1878 г., – единственной ГМС региона, полностью захватившей весь расчетный период 1881-1960 гг. При привлечении измерений в норвежском Вардэ и шведском Торнедалене существует возможность удлинения рядов в Апатитах до 1840 г. и даже до 1803 г (только по данным Торнедален). Точность такой реконструкции из-за использования более удаленных ГМС значительно снижается. Например, стандартная ошибка восстановления среднемесячных ПТВ по данным ГМС «Хибины, оп. поле» составляет 0.1-0.3°C, по данным ГМС «Кола» увеличивается до 0.5-1.0°C, а при реконструкции по Торнедалену и Вардэ – до 0.6-2°C. Однако, если интересует не точное значение среднемесячной ПТВ конкретного года, а среднее многолетние, например, климатическая норма, которая рассчитывается за десятки лет (не менее 30) – точность остается вполне допустимой: среднеквадратичное отклонение арифметического среднего за n лет в \sqrt{n} раз меньше ошибки одного восстановления.

Климатические нормы среднемесячной ПТВ для ГМС «Апатиты» для разных периодов, используемых в климатологии, приведены в табл. 2. Приведены также средние многолетние ПТВ начала XXI в. (2001-2021 гг.). Среднее за период 1850-1900 г. принято считать за характеристику климата т.н. преиндустриального периода.

Повышение климатических норм, а также то, что характерные средние для конца XX – начала XXI в. ПТВ являются наиболее высокими за весь исследуемый период, наглядно иллюстрируют современное потепление климата.

Таблица 2. Климатические нормы среднесезонных ПТВ на ГМС «Апатиты» в разные периоды.

Период	Зима (XI-III)	Весна (IV-V)	Лето (VI-VIII)	Осень (IX-X)	год
1850-1900	-11.9	-0.4	11.5	2.4	-1.7
1881-1960	-10.6	0.2	11.8	2.9	-1.0
1961-1991	-11.2	0.5	11.9	3.2	-1.1
1981-2010	-10.4	1.0	12.0	3.7	-0.6
1991-2020	-9.5	1.5	12.4	4.0	0.0
2001-2021	-9.4	2.1	12.7	4.3	0.3

Заключение

Метеорологические наблюдения в районе Апатит начались в 1900 г. В последующие годы они не прекращались (за исключением отдельных месяцев периода 1915 – 1922 гг.), но выполнялись в разное время на разных ГМС. Наиболее длинные серии получены на ГМС «Хибины» (1900-1978 гг.) и ГМС «Апатиты» (с 1978 г.). Объединение рядов температуры воздуха данных ГМС в один длинный не представляется возможным ввиду возникающей неоднородности, вызванной различными микроклиматами в местах расположения ГМС.

В работе предложена схема создания однородного композитного ряд ПТВ в Апатитах, в которой объединяются ряды АГМС «Апатиты», работавшей на территории аэропорта в поселке Тик-губа в 1942-1964 гг., и современной ГМС «Апатиты», расположенной в том же поселке. Отсутствующие данные для периодов 1900-1942 и 1965-1978 гг. рассчитываются по данным ГМС «Хибины, оп. поле». Статистическими тестами показано отсутствие в созданном ряду среднемесячных ПТВ структурных сдвигов, что позволяет считать его методически однородным и использовать для оценок долговременных изменений климата.

Привлекая ряды измерений в г. Кола (1878-1983 гг.), а также данные измерений Вардэ (Норвегия) и Торнедален (Швеция) можно получить климатические нормы как для периода 1881-1960 гг., так и нормы т.н. преиндустриального периода (1850-1900 гг.).

На примере повышения среднесезонных ПТВ показано потепление климата. Среднесезонные температуры в Апатитах начала XXI в. (2001-2021 гг.) выше аналогичных ПТВ преиндустриального периода на 2.5, 2.5, 1.2 и 1.9°C зимой, весной, летом и осенью соответственно. Среднегодовая ПТВ повысилась на 2°C, перейдя от отрицательных значений к положительным.

Список литературы

1. Климат СССР. Часть 1. Температура воздуха. Выпуск 1. Среднемесячные температуры воздуха в европейской части СССР за отдельные годы. А: С севера до 55 с.ш., Ленинград, 1929 г. 180 с.
2. Климатологический справочник СССР. Выпуск 1. Метеорологические данные за отдельные годы. Часть 1. температура воздуха». Л., гидрометеорологическое издательство, 1956 г. 562 с.
3. Лобанов В.А., Жильцова Е.Л., Лемешко Н.А. Восстановление многолетних рядов температуры воздуха на европейской территории России // Метеорология и гидрология. 2005. № 2. с. 5-14.
4. Рубинштейн Е.С. Однородность метеорологических рядов во времени и пространстве в связи с исследованием изменения климата. Л., Гидрометеоиздат, 1979 г., 80 с.
5. Руководство по специализированному обслуживанию экономики климатической информацией, продукцией и услугами. / Под редакцией д-ра геогр. наук, профессора Н.В. Кобышевой. – СПб., 2008 г. 336 с.
6. Справочник по климату СССР. Выпуск 2. часть 1. Температура воздуха и почвы., Л. Гидрометеорологическое изд. 1965 г. 144 с.
7. Wang X.L. Accounting for autocorrelation in detecting mean-shifts in climate data series using the penalized maximal t or F test // J. Appl. Meteor. Climatol. 2008. V. 47. p. 2423-2444.