

Гидрометеорология и экология. 2022. № 67. С. 207—220.
Hydrometeorology and Ecology. 2022; (67): 207—220.

METEOROLOGIA

Научная статья
УДК 551.582(470.1/.22)
doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-207-220

Анализ смены периодов климатической стабильности северной территории России

***К.Л. Восканян, Т.И. Иванова, А.Д. Кузнецов,
В.С. Никитина, О.С. Сероухова, Т.Е. Симакина***

Российский государственный гидрометеорологический университет,
kuznetsov1946@inbox.ru

Аннотация. В работе приводится анализ использования среднегодовой температуры воздуха в качестве индикатора климатических изменений. Регионом для проведения исследования была выбрана северная область Европейской территории Российской Федерации, преимущественно Заполярье. С использованием алгоритма, ранее апробированного авторами в других публикациях, определяются моменты времени смены параметров временных трендов (положение «точки бифуркации») температуры на 18 метеорологических станциях. Найденные «точки бифуркации» указывают на время наступления климатических изменений. Выделены две группы станций: в первой, состоящей из 12 станций, даты «точек бифуркации» наблюдались в 1940—1942 гг., во второй, включающей 6 станций, — после 1955 г.

Ключевые слова: изменение климата, индикаторы климатических изменений, точка бифуркации, тренд, среднегодовая температура воздуха.

Для цитирования: Восканян К.Л., Иванова Т.И., Кузнецов А.Д., Никитина В.С., Сероухова О.С., Симакина Т.Е. Анализ смены периодов климатической стабильности северной территории России // Гидрометеорология и экология. 2022. № 67. С. 207—220. doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-207-220.

METEOROLOGY

Original article

Analysis of the changes of periods of climatic stability in the northern territory of the Russian Federation

***K.L. Voskanyan, T.I. Ivanova, A.D. Kuznetsov,
V.S. Nikitina, O.S. Seroukhova, T.E. Simakina***

Russian State Hydrometeorological University, kuznetsov1946@inbox.ru

Summary. The paper provides an analysis of the use of the average annual air temperature as an indicator of climate change in the northern part of the Russian Federation. The northern region of the

European Russian Federation, mainly the Arctic, was chosen as the study area, since research in this region is significant for the economic and other sustainable development of the country. Using an algorithm previously tested by the authors in other publications, the time points of changing the parameters of time trends (position of the bifurcation point) of temperature at eighteen meteorological stations have been determined. The found bifurcation points indicate the time of onset of climate change. Also, the position of the bifurcation point indicates the nature of the change in the behavior of the climatic variable. A cluster analysis of the selected stations has been carried out according to the date of occurrence of the bifurcation points, showing the possibility of dividing the study area into regions with different behavior of the studied climatic characteristics. Such a division makes it possible to analyze in detail local climatic processes and the nature of the behavior of climatic characteristics synchronously with the behavior of these characteristics at neighboring observation points. Two groups of stations have been distinguished: the dates of the bifurcation points are observed in 1940—1942 in the first group, consisting of 12 stations, and after 1955 in the second, which includes 6 stations. Moreover, 7 stations, where climatic changes occur almost synchronously, have turned out to be located in the area of the Kola Peninsula, which may indicate synchronous climatic changes in this region. Regularities between the temporal course of average annual air temperatures and the geographical location of the observation point for the climatic value are studied, and recommendations are given on the use of the identified regularities in predicting climate change in the northern regions of the Russian Federation.

Keywords: climate change, climate change indicators, bifurcation point, trend, mean annual air temperature.

For citation: Voskanyan K.L., Ivanova T.I., Kuznetsov A.D., Nikitina V.S., Seroukhova O.S., Simakina T.E. Analysis of the changes of periods of climatic stability in the northern territory of the Russian Federation. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2022; (67): 207—220. [In Russian]. doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-207-220.

Введение

В настоящее время исследование временных рядов метеорологических величин имеет большую актуальность, поскольку позволяет анализировать изменение климата Земли в современный период и в более древние времена. Ввиду такой популярности, на сегодняшний день существует большое количество работ, например [1—5], посвященных анализу поведения трендов временных рядов на их отдельных участках.

Задача оптимального построения трендов на заданном отрезке временного ряда достаточно сложна и не имеет однозначного решения, поскольку по одному и тому же набору данных можно построить множество трендов. Также нельзя не учитывать, что конкретный вид трендов во многом будет зависеть от методики выбора моментов времени во временном ряду, определяющих границы интервалов с устойчивой тенденцией изменений [4, 6].

Основной целью данной работы является исследование региональной особенности изменчивости среднегодовой температуры воздуха, которая в данной работе используется в качестве индикатора климатических изменений. Регионом исследования выбрана северная область Российской Федерации, преимущественно Заполярье. Однако, для сравнения сходства и отличий в тенденциях изменения среднегодовой температуры воздуха также рассматривались станции, лежащие в соседних с Полярным кругом регионах.

К динамике климата данного региона в последние годы приковано внимание авторов многих публикаций [7—10]. Несмотря на достаточно низкие

среднегодовые температуры воздуха, именно здесь в последние десятилетия потепление климата происходило быстрее и масштабнее, чем в среднем по Земному шару. Так, согласно данным Росгидромета [6], скорость современного роста глобальной температуры составила за последние 40 лет около $0,17\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 10 лет. Температура на территории России повышалась за тот же срок на $0,45\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 10 лет, особенно быстрый рост наблюдается в Арктике — $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 10 лет.

Изучение вопроса климатических изменений в большинстве публикаций основано на анализе многолетних временных рядов метеорологических параметров с помощью моделей монотонного изменения в виде тренда или цикла и ступенчатых изменений, характеризующих переходы от одного стационарного состояния к другому [10]. Если рассмотреть имеющиеся в литературе оценки временной изменчивости среднегодовой температуры, то большинство авторов останавливается лишь на оценке знака и скорости наблюдаемых климатических изменений в целом за весь период исследований, без анализа их «тонкой» структуры. При описании глобальной температуры воздуха по всему земному шару использование монотонного тренда оправдано, поскольку такая температура имеет большую временную инерцию. Климатические изменения среднегодовой температуры для определенной территории с конкретными местными особенностями имеют меньшую временную инерционность и требуют другого подхода [2]. Таким образом, характер выявляемых климатических изменений может зависеть от пространственного масштаба обобщения данных.

Цель данной работы — определить, в какой момент времени наступает смена характера протекания климатических процессов в ряде пунктов на северной территории России. В качестве индикатора климатической изменчивости были использованы временные ряды среднегодовой температуры воздуха. С использованием такого индикатора определение дат осуществлялось по методике, изложенной в работе [2].

Исходные материалы и методика исследования

Для анализа поведения значений среднегодовой температуры воздуха использовались данные 18 станций за период 1940—2005 гг. [11]. Географическое расположение станций представлено на рис. 1.

Разделение временного ряда метеорологической величины на отдельные участки подразумевает под собой процесс нахождения моментов резкого изменения параметров временных трендов, такие моменты условно названы «точками бифуркации» (ТБ) [2]. Момент изменения характера климатических процессов можно выявить с помощью рассматриваемого в работах [2—3] алгоритма. Такой подход позволяет исследовать региональную изменчивость климата, используя среднегодовую температуру воздуха как индикатор такой изменчивости.

В основе примененного алгоритма определения положения «точки бифуркации» лежит деление временного ряда на отрезки и замена отрезков временного ряда их математическими моделями. В качестве таких моделей могут использоваться полиномы разных степеней (начиная с нулевой степени и т.д.). При таком



Рис. 1. Географическое расположение станций, выбранных для исследования:
 1 — Кандалакша; 2 — Кемь; 3 — Веребье; 4 — Вытегра; 5 — Онега; 6 — Архангельск;
 7 — Койнас; 8 — Усть-Цильма; 9 — Бисер; 10 — Няксимволь; 11 — Березово; 12 — остров
 Диксон; 13 — Енисейск; 14 — Красноярск; 15 — Минусинск; 16 — Хатанга; 17 — Аян;
 18 — остров Врангеля.

Fig. 1. Geographic location of the stations selected for research:

1 — Kandalaksha; 2 — Kem; 3 — Verebye; 4 — Vytegra; 5 — Onega; 6 — Arkhangelsk; 7 — Koinas;
 8 — Ust-Tsilma; 9 — Biser; 10 — Nyaksimvol; 11 — Berezovo; 12 — Dixon Island; 13 — Yeniseisk;
 14 — Krasnoyarsk; 15 — Minusinsk; 16 — Khatanga; 17 — Ayan; 18 — Wrangel Island.

способе каждая степень полинома определяет геометрическую форму отрезков временного ряда от одной ТБ до другой [2—3].

Сумма отклонений реальных значений температуры от модельных для отрезков до и после «точки бифуркации» определяет параметр SS :

$$SS = \sum_{i=1}^{n_1} (a_{01} + a_{11}i - Y_i)^2 + \sum_{i=n_1+1}^{n_2} (a_{02} + a_{12}i - Y_i)^2,$$

где a_{01} , a_{11} и a_{02} , a_{12} — коэффициенты линейного временного тренда двух отрезков [от 1 до n_1] и [от n_1+1 до n_2] внутри исследуемого временного ряда общей длиной n_2 ; Y_i — i -ое значение временного ряда.

Параметр SS вычисляется для всех возможных разбиений временного ряда. Минимальное значение SS соответствует положению «точки бифуркации». Значимость использования данной метрики более подробно описана в работах [2—3].

Применение методики поиска «точки бифуркации» для временных рядов среднегодовых температур воздуха

Временной ход среднегодовой температуры воздуха на станции Кандалакша и графическая визуализация временного хода метрики SS представлены на

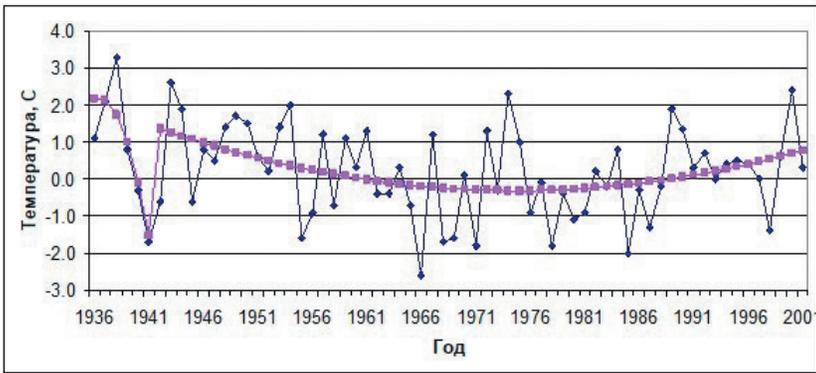


Рис. 2. Временной ход среднегодовых значений температуры воздуха на станции Кандалакша и его аппроксимация полиномами второй степени.

Fig. 2. Time variation of mean annual temperature values at Kandalaksha station and its approximation by polynomials of the second degree.

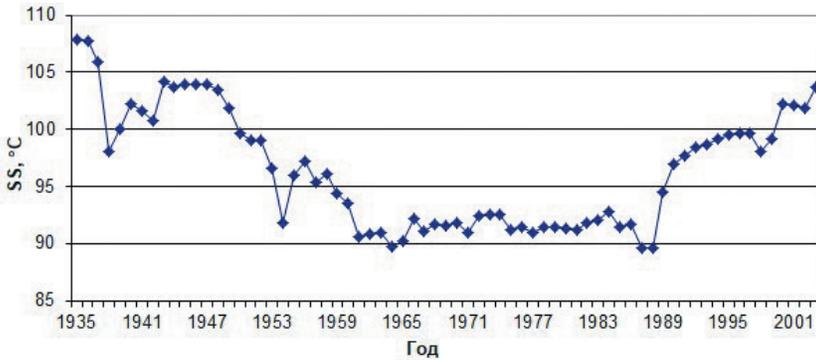


Рис. 3. Распределение метрики SS для станции Кандалакша (использован полином первой степени).

Fig. 3. Distribution of the SS metric for the Kandalaksha station (a polynomial of the first degree was used).

рисунках 2 и 3. Кривая распределения метрики SS не позволяет однозначно определить «точку бифуркации». Из рис. 3 видно, что существуют промежутки на кривой, где параметр SS на протяжении какого-то временного периода сохраняет почти постоянное значение и имеет несколько локальных минимумов, каждый из которых может являться предполагаемой «точкой бифуркации». Следовательно, корректный вывод о дате смены господствующего процесса на данной станции сделать нельзя.

Чтобы разрешить вышеописанную проблему и четко определить дату наступления ТБ на данной станции необходимо провести аппроксимацию временного

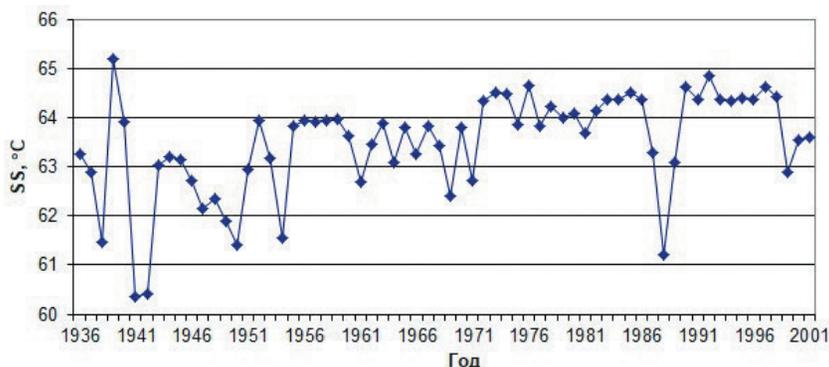


Рис. 4. Распределение метрики SS для станции Кандалакша (использован полином второй степени).

Fig. 4. Distribution of the SS metric for the Kandalaksha station (a polynomial of the second degree was used).

хода значений среднегодовых температур полиномом второй степени. В таком случае кривая распределения метрики SS (рис. 4) имеет четкий минимум в 1941 г., который будет являться переломным в межгодовой изменчивости температуры воздуха. Результат аппроксимации среднегодовой температуры воздуха на станции Кандалакша полиномом второй степени также представлен на рис. 2 фиолетовой кривой.

Отметим, что до наступления «точки бифуркации» температура на данной станции понижалась, однако, после 1941 г. процесс убывания пошел гораздо медленнее и вскоре сменился на противоположный — приблизительно с 1976 г. значения температуры начали возрастать с небольшой скоростью, что свидетельствует о потеплении в районе этой станции.

Учитывая пример, описанный выше, следует отметить, что в некоторых случаях использование полинома первой степени не является целесообразным, поскольку не дает достаточной информации о предполагаемых «точках бифуркации» метеорологических процессов. Однако, такие случаи редки и легко обнаруживаются с помощью анализа метрики SS как функции рассматриваемого временного промежутка. Это подтверждается анализом даты наступления ТБ на станции Кемь. Использование как линейного, так и квадратичного полинома дает аналогичный результат — минимум метрики SS приходится на 1942 г. (рисунки 5 и 6).

Таким образом, созданный авторами математический аппарат позволяет не только определить дату наступления «точек бифуркации» в той или иной области, но также выделить ряд «подозрительных» точек, которые при более углубленном исследовании также могут оказаться дополнительными «точками бифуркации».

Для поиска ТБ в рядах температур воздуха на остальных станциях использовалась аппроксимация только полиномом первой степени, поскольку метрика SS

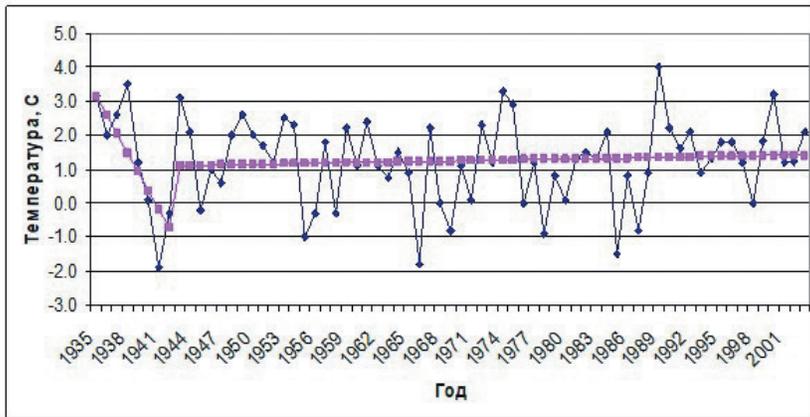


Рис. 5. Временной ход среднегодовых значений температуры на станции Кемь и кривая его аппроксимации полиномом первой степени.

Fig. 5. Time variation of mean annual temperature values at Kem' station and curve of its approximation by a polynomial of the first degree.

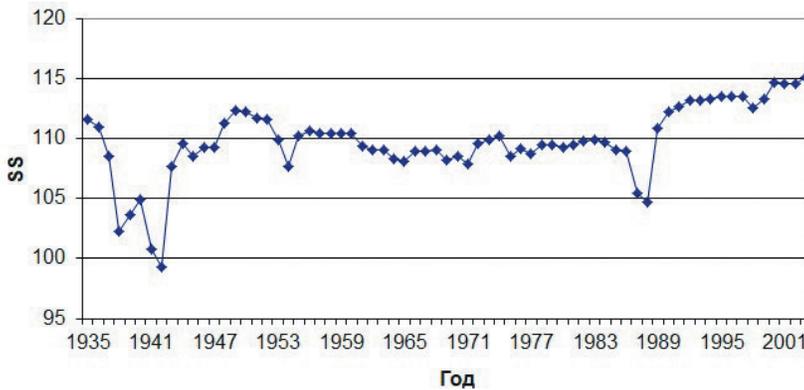


Рис. 6. Распределение метрики SS для станции Кемь (использован полином второй степени).

Fig. 6. Distribution of the SS metric for the Kem' station (a polynomial of the second degree was used).

на этих станциях имела четкий минимум и, тем самым, давала однозначный ответ. На рис. 7 представлены результаты аппроксимации временных рядов температуры воздуха для остальных станций.

Даты наступления «точек бифуркации» для всех станций рассматриваемого региона представлены в табл. 1. Здесь же даны параметры двух трендов, описывающих тенденции до ТБ и после. Второй коэффициент представляет собой скорость изменения температуры на соответствующем отрезке.

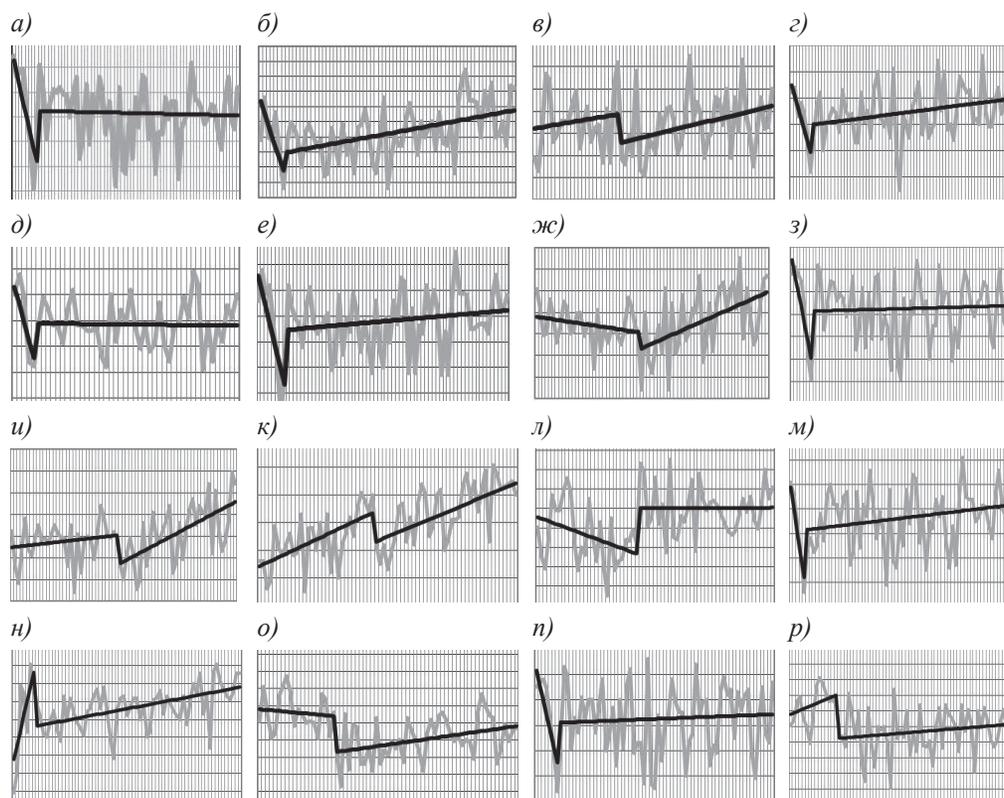


Рис. 7. Временной ход среднегодовых значений температуры воздуха и его аппроксимация полиномами первой степени на станциях:

а) Архангельск; *б)* Аян; *в)* Берёзово; *г)* Бисер; *д)* Веребье; *е)* Вытегра; *ж)* Енисейск; *з)* Койнас; *и)* Красноярск; *к)* Минусинск; *л)* Няксимволь; *м)* Онега; *н)* остров Врангеля; *о)* остров Диксон; *п)* Усть-Цильма; *р)* Хатанга.

Fig. 7. Time variation of mean annual air temperatures and its approximation by polynomials of the first degree at the stations (from left to right and from top to bottom):

a) Arkhangelsk; *b)* Ayan; *v)* Berezovo; *g)* Biser; *d)* Verebye; *e)* Vytegra; *zh)* Yeniseisk; *z)* Koinas; *u)* Krasnoyarsk; *k)* Minusinsk; *l)* Nyaksimvol; *m)* Onega; *n)* Wrangel Island; *o)* Dixon Island; *p)* Ust-Tsilma; *r)* Khatanga.

Результаты, представленные в табл. 1, позволяют провести разделение станций на две группы по дате ТБ: 1940-е годы и позже 1956-го. На схеме, представленной на рис. 8, станции первой группы, где ТБ произошла в 40-е годы прошлого века, представлены квадратами красного цвета, второй группы — ТБ после 1956 г. — отмечены кружками синего цвета.

На схеме расположения станций видно, что можно выделить три области — западную и восточную, в которых смена климатических процессов произошла в 1940-е годы, и центральную — с более поздней датой ТБ.

Таблица 1

Даты наступления «точек бифуркации» для выбранных станций
 Dates of occurrence of bifurcation points for selected stations

Название станции	Год наступления ТБ	Коэффициенты полинома	
		до ТБ (a_{01}, a_{11})	после ТБ (a_{02}, a_{12})
Архангельск	1942	4,40; -0,60	1,30; 0,00
Аян	1941	-1,10; -0,40	-3,70; 0,02
Березово	1962	-3,80; 0,03	-5,50; 0,04
Бисер	1941	1,30; -0,40	-1,20; 0,02
Веребье	1941	6,70; -0,70	3,90; 0,00
Вытегра	1942	5,80; -0,60	2,30; 0,01
Енисейск	1965	-1,10; -0,02	-5,00; 0,07
Кандалакша	1941	1,30; -0,04	-0,20; 0,01
Кемь	1942	4,20; -0,60	1,04; 0,01
Койнас	1941	2,90; -0,70	-0,90; 0,00
Красноярск	1967	0,40; 0,02	-3,10; 0,08
Минусинск	1965	-0,70; 0,06	-1,60; 0,06
Няксимволь	1941	-12,30; -0,07	-12,00; 0,00
Онега	1941	4,70; -0,90	1,04; 0,02
остров Врангеля	1941	-15,90; 0,80	-12,70; 0,04
остров Диксон	1956	-10,10; -0,02	-13,40; 0,03
Усть-Цильма	1941	1,40; -0,60	-1,90; 0,01
Хатанга	1956	-12,40; 0,09	-14,00; 0,02

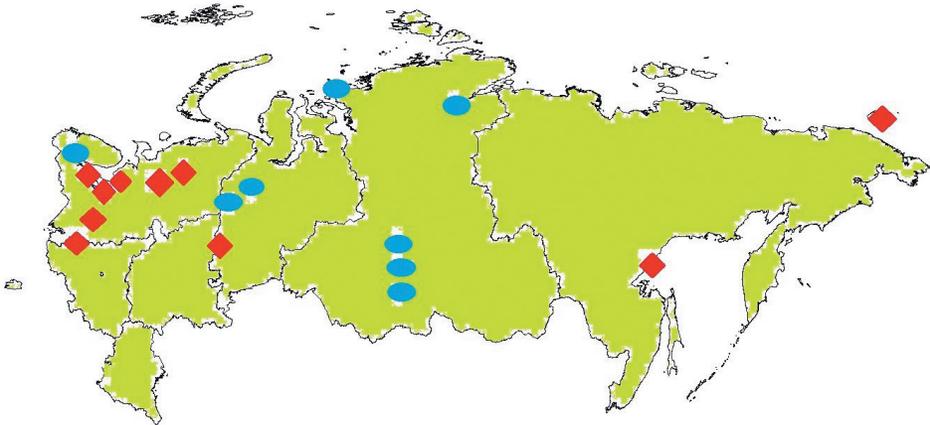


Рис. 8. Географическое расположение станций согласно дате наступления «точки бифуркации».

Fig. 8. Geographical location of stations according to the date of the “bifurcation point”.

Обсуждение результатов

Исследуя первую группу станций, сформированную по дате наступления смены характера климатических процессов, можно отметить, что на трех из них — в Кандалакше, Веребье и Усть-Цильме — до даты наступления «точки бифуркации» в 1941 г. наблюдалась тенденция к понижению среднегодовой температуры воздуха. Однако, после смены господствующих климатических процессов, ситуация изменилась. Так, на станциях Кандалакша и Усть-Цильма среднегодовая температура воздуха стала повышаться, в то время как на станции Веребье — понижение данной климатической характеристики продолжилось.

На станциях Кемь, Онега и Архангельск «точка бифуркации» наступает в 1942 г. До даты наступления ТБ характер изменения среднегодовой температуры воздуха одинаков для всех станций — наблюдалось устойчивое понижение, однако, далее процессы меняются. На станциях Кемь и Онега начинается повышение значений среднегодовых температур, а на станции Архангельск — существенное понижение.

Станции Няксимволь, Берёзово, остров Диксон характеризуются датой наступления «точки бифуркации» после 1955 г. На станциях Няксимволь и острове Диксон поведение среднегодовой температуры воздуха идентично как до, так и после наступления «точки бифуркации» — сначала устойчивое падение, затем устойчивый рост. Однако, на станции Берёзово ситуация противоположная — здесь после ТБ наблюдается устойчивый рост значений среднегодовых температур.

Такие различия в поведении исследуемого климатического параметра внутри каждого кластера могут быть объяснены наличием вблизи каждого из пунктов наблюдения местных особенностей. Например, станции Кандалакша, остров Диксон и Кемь находятся вблизи водных объектов, что значительно влияет на временной ход всех климатических характеристик в данных пунктах. Также нельзя недооценивать антропогенный фактор — например, увеличение количества заводов в Архангельске или рост численности населения в пункте Берёзово.

Представляет интерес сравнить поведение среднегодовой температуры воздуха на двух островных станциях — о. Врангеля и о. Диксон. До наступления «точки бифуркации» на станции остров Диксон наблюдалось падение температуры и рост на станции остров Врангеля. После того как произошел переломный момент в климатической циркуляции, поведение величины среднегодовой температуры воздуха стало идентичным — в обоих случаях наблюдается ее устойчивый рост.

Станции, располагающиеся в Южной Сибири (Енисейск, Красноярск и Минусинск), также целесообразно анализировать вместе ввиду достаточно близкого географического расположения. В случае Красноярска и Минусинска до наступления «точки бифуркации» наблюдался рост значений среднегодовых температур. Здесь следует отметить, что на станции Минусинск рост данной характеристики был более выражен, что может объясняться более южным положением станции. После наступления «точки бифуркации» рост среднегодовых температур на

данных станциях продолжился приблизительно с одинаковой скоростью. В случае Енисейска до наступления «точки бифуркации» среднегодовая температура характеризовалась тенденцией к небольшому уменьшению значений, но после наступления переломного момента, также как и на двух предыдущих станциях, здесь начался плавный рост значений среднегодовых температур из года в год. Несоответствие характера поведения данной метеорологической величины до наступления «точки бифуркации» на станции Енисейск со станциями Минусинск и Красноярск может быть вызвано различным расположением станций по долготе и, следовательно, различиями в местной атмосферной циркуляции в данных районах.

Метеорологическая станция Хатанга расположена в северной Сибири за Полярным кругом. До смены характера процесса наблюдался медленный рост температур воздуха, который после даты «точки бифуркации» продолжился, но более медленными темпами. Тем не менее, здесь все-таки можно говорить о грядущем потеплении. Похожий характер изменений наблюдался в ряде станций южной Сибири, а также на станции Берёзово.

Станции Вытегра и Бисер имеют различное географическое положение, однако, в результате анализа, было выявлено сходство в характере поведения метеорологических процессов, происходящих в данных областях. На станции Вытегра 1942 г. характеризуется наступлением «точки бифуркации». До переломного момента значения среднегодовой температуры воздуха претерпевали резкое падение, а далее после смены характера преобладающего процесса началось плавное возрастание температуры. Практически та же самая картина отмечается при анализе поведения среднегодовой температуры на станции Бисер — «точка бифуркации» наблюдается в 1941 г., до ее наступления значения среднегодовых температур резко понижаются, а далее, после перехода через «точку бифуркации», происходит рост температуры. Следовательно, в обоих случаях можно говорить о потеплении в данных областях, которое может быть вызвано рядом причин, уже упомянутых выше.

Станция Аян расположена в Хабаровском крае непосредственно у побережья Охотского моря, которое, безусловно, должно влиять на метеорологические параметры, в том числе на температуру в данном регионе. До смены господствующих процессов наблюдалось резкое падение среднегодовой температуры воздуха, тогда как после наступления «точки бифуркации» поведение температуры изменилось — наблюдался ее достаточно быстрый устойчивый рост. Подобный характер распределения среднегодовых температур был отмечен также на станциях Усть-Цильма, Онега, Вытегра и Бисер и, вероятно, может быть объяснен теми же причинами.

Заключение

В ходе данного исследования был создан архив данных среднегодовой температуры воздуха для исследуемых регионов, проработаны существующие методики, позволяющие оценить наличие изменений климата, а также определить

момент наступления данных изменений. С помощью созданной авторами компьютерной программы была выбрана метрика, наилучшим образом определяющая момент наступления «точки бифуркации». Анализируя распределение по территории дат наступления «точки бифуркации» в рядах среднегодовой температуры воздуха, можно отметить, что характер долговременной тенденции температуры на 11 станциях изменился в период 1940—1942 гг., а на 7 станциях — после 1955 г. Если же рассматривать непосредственно приполярные и заполярные регионы Европейской части территории Российской Федерации, то можно сказать, что на 6 станциях (Кандалакша, Кемь, Онега, Веребье, Архангельск, Усть-Цильма) характер долговременной тенденции температуры изменился в 1941—1942 гг., а на трех станциях (Няксимволь, Березово, остров Диксон) — после 1955 г.

Полученные в работе характеристики изменений температуры воздуха могут быть использованы при прогнозе состояния вечной мерзлоты, опасных метеорологических и гидрологических явлений на территории европейской части Российской Федерации. Экстраполяция существующих трендов должна позволить предсказать изменения частоты и силы экстремальных гидрометеорологических явлений в будущем, оказать помощь в оценке экономических рисков при освоении новых территорий.

Список литературы

1. *Малинин В.Н.* Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2008. 407 с.
2. *Кузнецов А.Д., Сероухова О.С., Симакина Т.Е.* Влияние метрик на определение точек бифуркации во временных рядах метеорологических величин // Гидрометеорология и экология (Ученые записки РГГМУ). 2019. № 59. С. 28—42. doi: 10.33933/2074-2762-2020-59-28-40.
3. *Восканян К.Л., Кузнецов А.Д., Сероухова О.С., Симакина Т.Е.* Оценка возможностей метода аналогов для текущего прогноза температуры воздуха // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Прикладная математика. 2019. № 1 (58). С. 101—116. doi: 10.26456/vtprmk528.
4. *Yvonne M., Outa G., Olago D., Opondo M.* Trends in climate variables (temperature and rainfall) and local perceptions of climate change in Lamu, Kenya // *Geography, Environment, Sustainability*. 2020. Vol. 13, No. 3. P. 496—504. doi: 10.24057/2071-9388-2020-24.
5. *Asfaw A., Simane B., Hassen A., Bantider A.* Variability and series trend analysis of rainfall and temperature in nothcentral Ethiopia: A case study in Woleka sub-basin // *Weather and Climat Extremes*. 2018. Vol. 19. P. 29—41. doi: 10.1016/j.wace.2017.12.002.
6. *Бедрицкий А.И.* Результаты исследований изменения климата России. М., 2005. 180 с.
7. *Виноградова В.В.* Воздействие глобального потепления на суровость климата северных и восточных территорий России в 80-е гг. XX века // *Известия РАН. Сер. География*. 1997. № 2. С. 126—132.
8. *Кириллина К.С., Лобанов В.А.* Оценка современных климатических изменений температуры воздуха на территории республики Саха (Якутия) // *Ученые записки РГГМУ*. 2015. № 38. С. 137—152.
9. *Кононова Н.К., Хмелевская Л.В.* Многолетние колебания дат начала и продолжительности циркуляционных сезонов внетропических широт Северного полушария // *Известия РАН. Сер. Геогр.* 2011. № 3. С. 43—62.
10. *Лобанов В.А., Тоцакова Г.Г.* Особенности и причины современных климатических изменений в России // *Географический вестник. Метеорология*. 2016. № 3(38). С. 80—89.
11. Термограф: Интернет-ресурс. URL: <http://thermograph.ru> (дата обращения 15.12.2021).

References

1. Malinin V.N. *Statisticheskiye metody analiza gidrometeorologicheskoy informatsii*. Statistical methods for the analysis of hydrometeorological information. St. Petersburg: Russian State Hydrometeorological University, 2008: 408 p. [In Russian].
2. Kuznetsov A.D., Seroukhova O.S., Simakina T.E. Influence of metric on determination of bifurcation points in time series of meteorological values. *Uchenye Zapiski RGGMU*. Scientific notes RSHU. 2009, 11: 91—100. doi: 10.33933/2074-2762-2020-59-28-40. [In Russian].
3. Voskanyan K.L., Kuznetsov A.D., Seroukhova O.S., Simakina T.E. Evaluation of the capabilities of the analogue's method for the current air temperature forecast. *Vestnik TvGU*. Bulletin of Tver State University, Series "Applied Mathematics". 2019, 1 (58): 101—116. doi: 10.26456/vtpmk528. [In Russian].
4. Yvonne M., Outa G., Olago D., Opondo M. Trends in climate variables (temperature and rainfall) and local perceptions of climate change in Lamu, Kenya. *Geography, Environment, Sustainability*. 2020, 13, 3: 496—504. doi: 10.24057/2071-9388-2020-24.
5. Asfaw A., Simane B., Hassen A., Bantider A. Variability and series trend analysis of rainfall and temperature in northcentral Ethiopia: A case study in Woleka sub-basin. *Weather and Climate Extremes*. 2018, 19: 29—41. doi: 10.1016/j.wace.2017.12.002.
6. Bedritskii A.I. *Rezultaty issledovaniy izmeneniya klimata Rossii*. The results of researching on climate change in Russia. Moscow, 2005. 180. [In Russian].
7. Vinogradova V.V. The impact of global warming on the severity of the climate of the northern and eastern territories of Russia in the 80s. XX century. *Izvestia RAN. Ser. Geografiia*. Proceedings RAN. Ser. Geography. 1997, 2: 126—132. [In Russian].
8. Kirillina K.L., Lobanov V.A. Assessment of modern climatic changes in air temperature on the territory of the Republic of Sakha (Yakutia). *Uchenye Zapiski RGGMU*. Scientific notes RSHU. 2015, 38: 137—152. [In Russian].
9. Kononova N.K., Hmelevskaya L.V. Long-term fluctuations in the dates of the beginning and duration of circulation seasons in extratropical latitudes of the Northern Hemisphere. *Izvestia RAN. Ser. Geografiia*. Proceedings RAN. Ser. Geography. 2011, 3: 43—62. [In Russian].
10. Lobanov V.A., Toshchakova G.G. Features and causes of modern climate change in Russia. *Geograficheskii vestnik. Meteorologiya*. Geographic Bulletin. Meteorology. 2016, 3(38): 80—89. [In Russian].
11. Thermograph: Internet resource. Available at: <http://thermograph.ru> (accessed 12.15.2021).

Информация об авторах

Восканян Карина Левановна, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры экспериментальной физики атмосферы Российского государственного гидрометеорологического университета; kvosia@mail.ru.

Иванова Татьяна Игоревна, студентка 3 курса Российского государственного гидрометеорологического университета; ivanowat04@gmail.com.

Кузнецов Анатолий Дмитриевич, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры экспериментальной физики атмосферы Российского государственного гидрометеорологического университета; kuznetsov1946@inbox.ru.

Никитина Виктория Сергеевна, студентка 2 курса магистратуры Российского государственного гидрометеорологического университета; victoriaflint01@gmail.com.

Сероухова Ольга Станиславовна, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры метеорологии, климатологии и охраны атмосферы Российского государственного гидрометеорологического университета; serouhova@inbox.ru.

Симакина Татьяна Евгеньевна, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры экспериментальной физики атмосферы Российского государственного гидрометеорологического университета; tatiana.simakina@gmail.com.

Information about authors

Voskanyan Karina Levanovna, PhD (Phys. and Mat. Sci.), Associate Professor, Department of Experimental Atmospheric Physics, Russian State Hydrometeorological University.

Ivanova Tatiana Igorevna, 3d year student of Russian State Hydrometeorological University.

Kuznetsov Anatoly Dmitrievich, Doctor of Sciences (Phys. and Mat.), Professor, Department of Experimental Atmospheric Physics, Russian State Hydrometeorological University.

Nikitina Victoria Sergeevna, 2d year master student of Russian State Hydrometeorological University.

Seroukhova Olga Stanislavovna, PhD (Phys. and Mat. Sci.), Associate Professor, Department of Meteorology, Climatology and Atmosphere Protection, Russian State Hydrometeorological University/

Simakina Tatyana Evgenievna, PhD (Phys. and Mat. Sci.), Associate Professor, Department of Experimental Atmospheric Physics, Russian State Hydrometeorological University.

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 15.02.2022.

Принята к публикации после доработки 13.05.2022.

The article was received on 15.02.2022.

The article was accepted after revision on 13.05.2022.