

МЕТЕОРОЛОГИЯ

УДК 551.51

В.А. Лобанов¹, Г.Г. Тошачова²

ОСОБЕННОСТИ И ПРИЧИНЫ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В РОССИИ

¹ Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург² Центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, г. Кострома

Рассматриваются причины ступенчатого роста среднегодовой температуры воздуха в конце 1980-х гг. в разных районах России, которые в большей степени проявляются в температуре весенних месяцев. На примере исследования температуры воздуха на территории Костромской области было установлено, что рост температуры обусловлен влиянием двух факторов: адвекции и радиации с преобладанием факторов адвекции. В качестве факторов адвекции рассматривался индекс Северо-Атлантического колебания (САК) и колебания приземного давления на метеостанциях. В качестве радиационного фактора – приходящая солнечная радиация на верхней границе атмосферы и суммарная радиация по данным актинометрических наблюдений.

Ключевые слова: ступенчатый рост температуры, особенности конца периода 1980-х гг., радиация и адвекция, индекс Северо-Атлантического колебания (САК), давление.

V.A. Lobanov¹, G.G. Toschakova²

FEATURES AND CAUSES OF THE MODERN CLIMATE CHANGE IN RUSSIA

¹ Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg,² Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, Kostroma

The paper considers the causes of the average annual air temperature stepwise rise in the late 1980s in different regions of Russia, which were mostly typical of the spring months. Based on the study of the air temperature in the territory of the Kostroma Region, two factors have been found to be responsible for the temperature increase, these being advection and radiation with the predominant influence of advection. The North Atlantic Oscillation (NAO) index and fluctuations of the surface pressure at weather stations were taken as advection factors. The incoming solar radiation in the outer fringe of the atmosphere and the total radiation according to the solar radiation observations were taken as factors of radiation. The two groups of factors have been found to have a sharp increase in the late 1980s, which caused a stepped temperature rise.

Keywords: stepwise temperature rise, late 1980s, radiation and advection, North Atlantic Oscillation (NAO) index, pressure.

doi 10.17072/2079-7877-2016-3-79-89

Для изучения вопроса, касающегося каких-либо климатических или каких-либо изменений по временному ряду, ограничимся простой моделью: случайные колебания + нестационарность среднего значения:

$$Y(t) = \varepsilon_i + Y_{cp}(t), \quad (1)$$

где $Y(t)$ – изменение климатической характеристики Y во времени t , ε_i – случайная составляющая, $Y_{cp}(t)$ – неслучайная составляющая или функция изменения среднего значения во времени.

Модель типа (1) является простой и предполагает, что колебания процессов межгодовых и десятилетних масштабов являются случайными, а сумма процессов столетнего масштаба (и других масштабов) и антропогенного воздействия проявляется в нестационарности среднего значения во времени.

На уровне рассмотрения простых моделей проявление изменений климата в многолетних временных рядах может быть двух основных видов: монотонные изменения в виде тренда или цикла и ступенчатые изменения, характеризующие переходы от одного стационарного состояния к другому.

Исследованию региональных климатических изменений в разных частях России посвящено большое количество работ, в основном касающихся моделей линейного и иногда нелинейного тренда [1; 2; 11; 19–22]. В работах [8; 12–17] показано, что из нестационарных моделей многолетних рядов среднемесячной температуры воздуха для территории России преобладает модель ступенчатых изменений. Так, в работе [13] установлено, что из 22 выделенных однородных районов на территории России модель ступенчатых изменений температуры имеет преимущество над моделью тренда в 15 районах, а в остальных эти модели практически не различаются по величине остаточной дисперсии. Однако статистическая значимость модели ступенчатых изменений по отношению к модели стационарной выборки имеет место только для трех районов центральной и южной части Восточной Сибири. Ступенчатый рост температуры наблюдается в разных районах России [8; 14–16] с середины – конца 1980-х гг. и в большей степени проявляется в среднегодовой температуре и температуре весенних месяцев, которые, видимо, и дают основной вклад данной нестационарности в среднегодовую температуру, являющуюся своеобразным фильтром при осреднении внутри года.

Выявление причин такого ступенчатого роста температуры рассмотрим на примере Костромской области, где исследование и моделирование наиболее продолжительного ряда наблюдений за температурой воздуха на метеостанции Кострома с 1842 г. показало, что в 1988 г. наблюдается ступенчатое увеличение среднегодовой температуры примерно на $1,5^{\circ}\text{C}$ (рис. 1), что обусловлено аналогичным ступенчатым подъемом температуры в феврале, марте и апреле. Причем наибольшее ступенчатое увеличение температуры, составляющее около 4°C , наблюдается в марте, а в другие месяцы оно было около 2°C . В остальные месяцы года ряды температуры воздуха являются однородными и стационарными за некоторым исключением ряда среднемесячной температуры июля, в котором имеет место выдающийся максимум 2010 г., связанный с аномальными погодными условиями, вызванными продолжительным антициклоном и жаркой погодой.

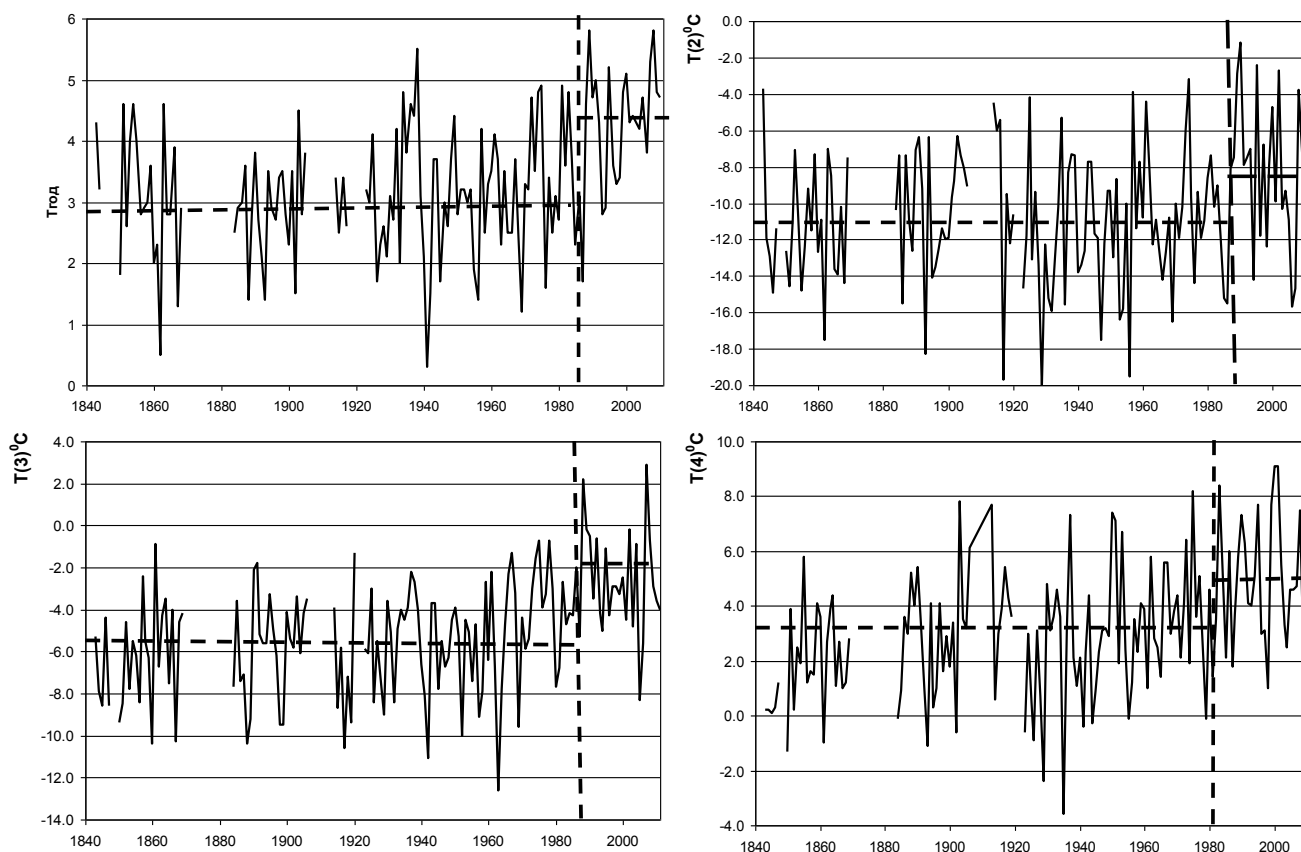


Рис. 1. Хронологические графики температуры воздуха (среднегодовой, среднемесячной за февраль, март, апрель) по метеостанции Кострома со ступенчатым ростом

Эффективные модели ступенчатых изменений установлены для среднегодовой температуры еще на 6 метеостанциях на территории области и обусловлены аналогичными ступенчатыми изменениями

в основном в марте и апреле. Для остальных 7 метеостанций Костромской области также преобладали модели ступенчатых изменений, которые не были эффективными. Можно предположить, что такой ступенчатый рост температуры связан с изменением атмосферной циркуляции и с наступлением эпохи преобладающего западного переноса, что особенно ярко проявляется в марте. С этой целью были исследованы многолетние ряды приземного давления на отдельных метеостанциях Костромской области и ряд индекса Северо-Атлантического колебания (САК или NAO).

В общем случае изменение приземной температуры зависит от двух факторов: приходящей солнечной радиации и адвекции, т.е. преобладающего направления переноса воздушных масс. Энергия от Солнца поступает к верхней границе атмосферы в двух видах: в виде волновой энергии или известной солнечной постоянной, равной в среднем 1367 Вт/м^2 , в виде корпускулярной энергии солнечного ветра за счет вспышечной деятельности Солнца, которая намного меньше и в среднем равна $0,2 \text{ Вт/м}^2$.

Солнечная постоянная не является неизменной как за многолетний период, так и в течение каждого года, что зависит от изменения расстояния между Землей и Солнцем. Изменения солнечной постоянной за многолетний период определяются тремя основными астрономическими факторами: изменением прецессии со средним периодом колебаний в 23 тыс. лет, колебаниями угла наклона эклиптики к небесному экватору или оси вращения Земли со средним периодом колебаний в 40 тыс. лет, колебаниями эксцентриситета орбиты Земли со средним периодом колебаний в 92 тыс. лет.

Именно астрономические факторы, по теории М. Миланковича и исследованиям палеоклиматологов, сформировали известные оледенения четвертичного периода. Естественно, что вклад этих факторов в современное изменение климата за последние 150–200 лет очень небольшой вследствие значительных по времени периодов колебаний. Вместе с тем расстояние от Земли до Солнца изменяется и в течение года, что обуславливает годовую вариацию солнечной постоянной. Другим фактором изменения солнечной постоянной является вспышечная активность Солнца, имеющая известные 11-летние периоды колебаний. Осуществляемые с конца 1970-х гг. регулярные спутниковые измерения солнечной постоянной показывают ее не только внутригодовые, но и межгодовые колебания, которые хорошо связаны с числами Вольфа или корпускулярной составляющей солнечной энергии (рис. 2).

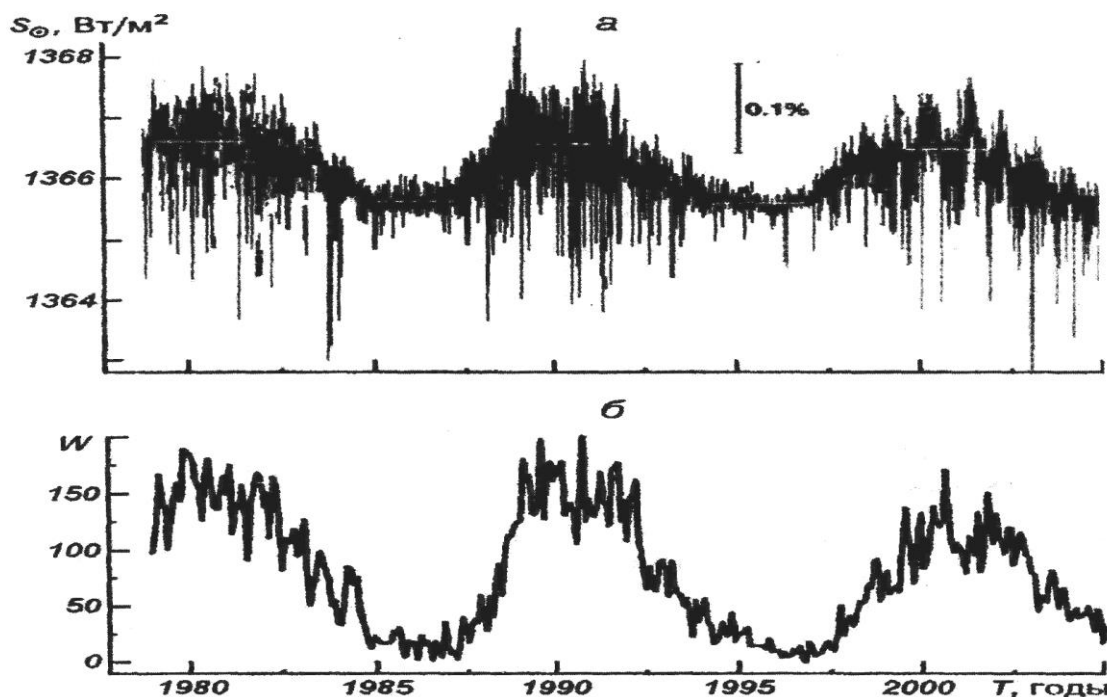


Рис. 2. Спутниковые данные о приходящей солнечной радиации: а – к верхней границе атмосферы; б – числа Вольфа

Как следует из рис. 2, в колебаниях суммарной солнечной энергии на данном коротком интервале времени проявляются процессы двух временных масштабов: процесс внутригодовых высокочастотных колебаний с амплитудой до 2 Вт/м^2 и процесс межгодовых колебаний с амплитудой до 1 Вт/м^2 и со средним периодом 11 лет. При этом средний период колебаний чисел Вольфа также составляет 11 лет при незначительной вариации от 10 до 12 лет, но амплитуды циклов изменяются существенно (в 4 раза и чуть больше), как показано на рис. 3.



Рис. 3. Изменение амплитуд циклов чисел Вольфа в зависимости от номера цикла

Особенность периода конца 1980-х гг. состоит в том, что здесь произошел резкий переход от минимальных значений приходящей радиации в 1365 Вт/м^2 для межгодового процесса (и даже от 1363 Вт/м^2 с учетом внутригодовых колебаний) до 1367 Вт/м^2 (и даже до 1368 Вт/м^2 с учетом внутригодовых колебаний), т.е. на $2\text{--}5 \text{ Вт/м}^2$. Если считать по среднему линейному отклику климатической системы в $0,7 \text{ К/Вт м}^{-2}$, то этот переход должен привести к росту глобальной температуры на верхней границе атмосферы на $1,4\text{--}3,5^\circ\text{C}$. Конечно к земной поверхности в среднем доходит всего половина радиации, поэтому повышение поверхностной температуры должно быть ниже. Фактически приходящая к поверхности земли солнечная радиация определяется по данным актинометрических наблюдений. На рис. 4 приведен ряд наблюдений за суммарной солнечной радиацией за год и за март по метеостанции Кострома с 1976 по 2014 г.

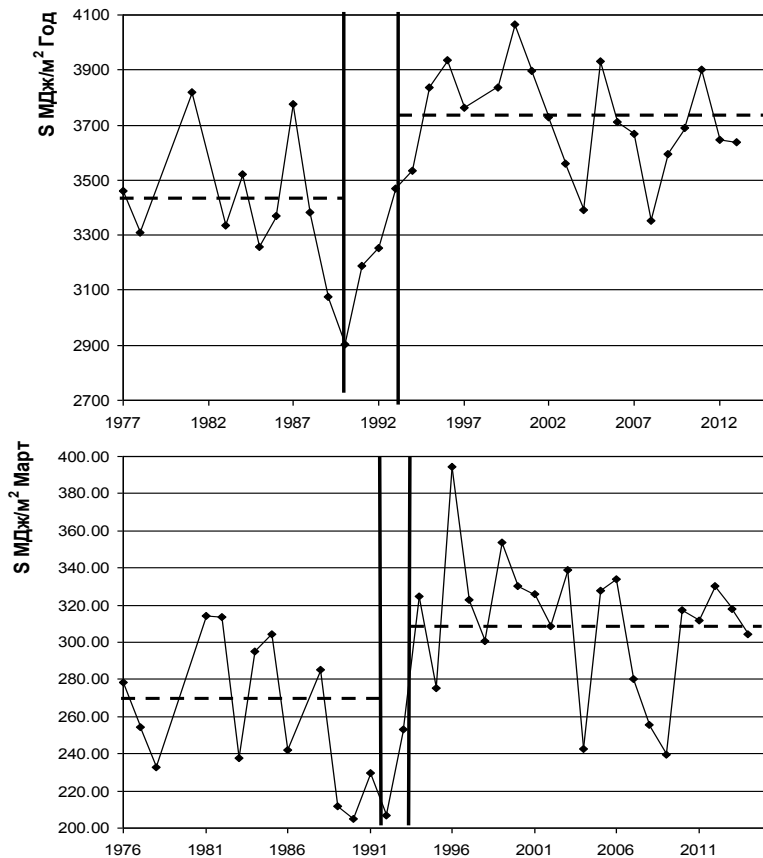


Рис. 4. Изменение годовой (сверху) и мартовской (снизу) суммарной радиации за период с 1976 по 2014 гг. в г. Кострома

Из анализа временных рядов на рис. 4 следует, что они содержат два квазистационарных периода: низкая и высокая приходящие радиации, причем переход от периода низкой радиации к высокой является достаточно быстрым, и его начало приходится на конец 1980 – начало 1990 гг. Поэтому в конце 1980-х гг. произошел переход от условий низкой приходящей радиации к более высокой. Однако эта причина не может полностью объяснить ступенчатое увеличение приземной температуры конца 1980-х гг., так как приходящая солнечная радиация имеет циклические колебания, а в температуре воздуха проявляется только одно существенное ступенчатое увеличение. Поэтому можно предположить, что наряду с ростом инсоляции произошла и смена атмосферной циркуляции.

Для оценки динамики атмосферной циркуляции, прежде всего, был проанализирован индекс Северо-Атлантического колебания (САК или NAO), многолетний ряд среднемесячных значений которого с 1950 г. приведен на рис. 5. Положительные отклонения индекса САК (или положительная фаза) свидетельствуют об усилении зональной циркуляции. При этом исландский минимум и азорский максимум хорошо развиты и смещены к северу, градиенты давления между ними увеличены, усиливается ветер в тропосфере в зоне 50–60°с.ш., траектории циклонов смещаются на север на 200–400 км относительно их среднего положения, наблюдаются положительная аномалия приземной температуры в Европе и ослабление процессов блокирования.

В отрицательной фазе САК происходят усиление меридионального типа циркуляции, ослабление ветров в тропосфере в зоне 50–60° с.ш., смещение траекторий циклонов на юг [18], усиление процессов блокирования в атмосфере [18] и отмечается положительная аномалия приземного давления и геопотенциала в исландском минимуме и отрицательная аномалия в азорском максимуме. В результате наблюдается отрицательная аномалия приземной температуры воздуха в Европе.

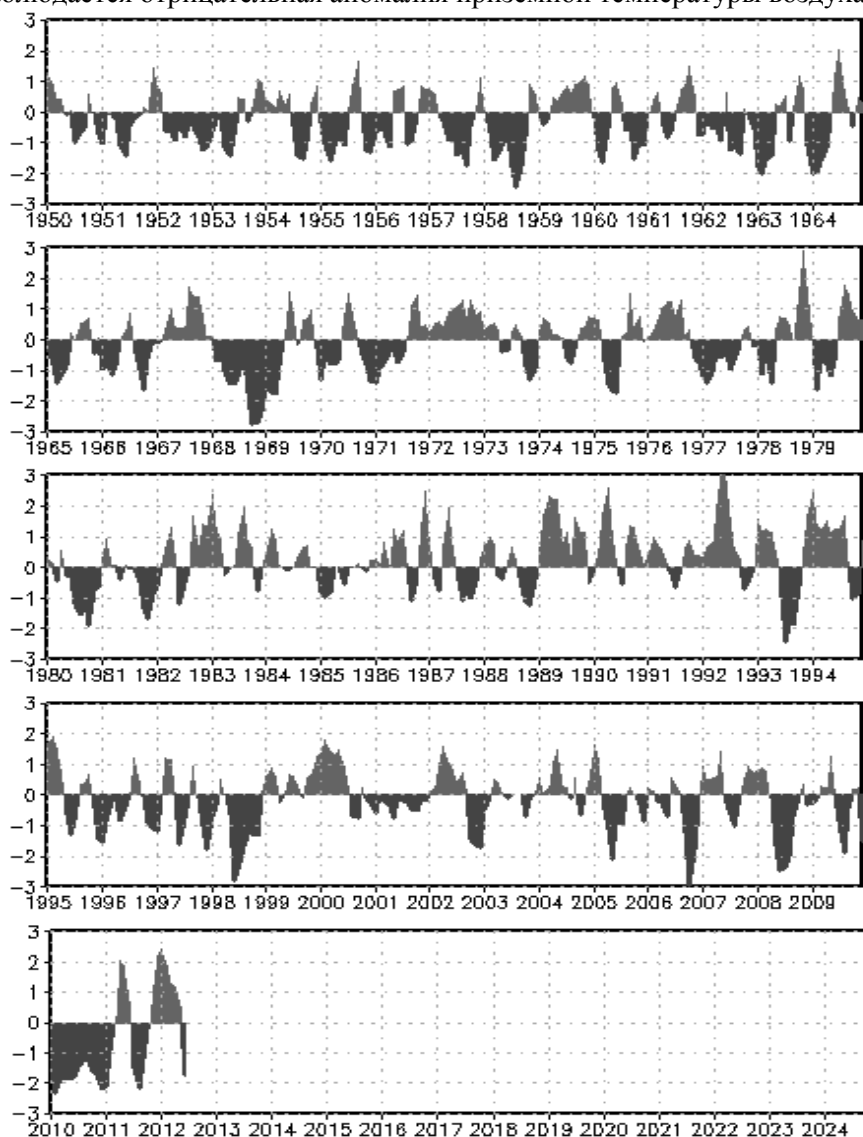


Рис. 5. Среднемесячные значения индекса САК за 1950-2012 гг. по [15]

Как следует из рис. 5, наибольшая по продолжительности из всего ряда наблюдений положительная и практически непрерывная фаза САК имела место с 1989 по 1993 г.

Интерес представляют также и многолетние ряды среднемесячных индексов САК с 1935 по 2010 г., умноженного на 10, которые для первых четырех месяцев года (с января по апрель) приведены на рис. 6.

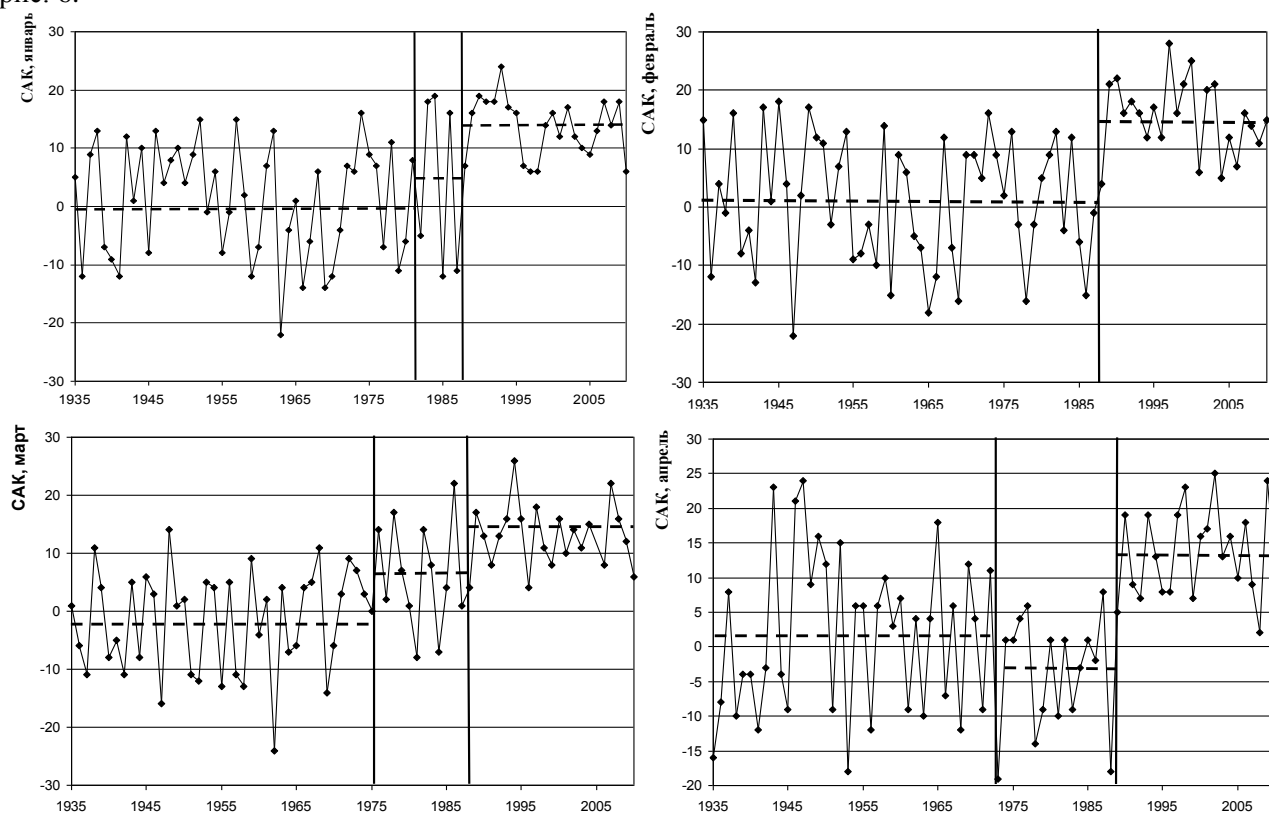


Рис. 6. Многолетние колебания индекса САК за январь – апрель, приведенные в значениях САК*10.

На основе результатов анализа временных рядов индекса САК можно сделать вывод, что со второй половины 1980-х гг. значения индекса САК ступенчато возросли и в настоящее время в среднем составляют $+1,5$, т.е. больше нормы примерно на $1,5\sigma$ (σ – среднее квадратическое отклонение индекса САК). Причем переходный период от предыдущего стабильного состояния САК с вариацией около нулевого среднего может быть как достаточно продолжительным, например, с 1973 по 1988 гг. для апреля, или отсутствовать совсем, как для февраля.

Результаты моделирования временных рядов среднемесячных индексов САК показаны в табл. 1, где $\Delta_{тр}, \%$, $\Delta_{ст}, \%$ – отклонения модели тренда и ступенчатых изменений от модели стационарной выборки, $\%$; $F_{тр}$, $F_{ст}$ – расчетные значения статистик критерия Фишера при сравнении остаточных дисперсий соответственно модели тренда и ступенчатых изменений по отношению к модели стационарной выборки; $T_{ст}$, $T_{ст}'$ – год ступенчатого перехода от одних стационарных условий к другим; n – продолжительность ряда наблюдений, гг.; R – коэффициент корреляции модели линейного тренда. Ярким цветом в табл. 1 выделены статистически значимые случаи при уровне значимости $\alpha=5\%$. Как видно из результатов таблицы, преимущество имеет модель ступенчатых колебаний, наибольший вклад которой в марте составляет 20,2% по отношению к стационарной модели.

Год ступенчатого перехода $T_{ст}$ определен формализованной процедурой при достижении минимума суммы квадратов отклонений для модели ступенчатых изменений при одной ступени и двух стационарных средних. Если же учесть переходный период от одних стационарных значений индекса к другим, то началом последнего стационарного периода будет дата $T_{ст}'$, приведенная в табл. 1. Эта дата может несколько отличаться от $T_{ст}$, но в целом она сужает диапазон времени, характеризующий начало последнего стационарного периода в колебаниях индекса САК от 1988 до 1991 г. Некоторым исключением является октябрь: в нем переход к последнему стационарному периоду произошел только в 1993 г. Средние многолетние значения индекса САК за два разных

стационарных периода приведены в табл. 2 с исключением переходного периода, если он имел место, где $T_{нач}$, $T_{кон}$ – годы начала и окончания стационарного периода; $САК_{ср}$, $САК_{\sigma}$ – среднее и среднее квадратическое значения индекса САК за период; макс, мин – максимальное и минимальное значение индекса САК за период.

Таблица 1

Характеристики моделей временных рядов среднемесячных индексов САК

Месяц	$\Delta mp, \%$	$\Delta cm, \%$	F_{mp}	F_{cm}	T_{cm}	T_{cm}'	n	R
1	8,7	15,3	1,2	1,4	1989	1988	76	0,41
2	8,9	18,2	1,2	1,49	1989	1988	76	0,41
3	19,4	20,2	1,54	1,57	1972	1988	75	0,59
4	6,7	15,6	1,15	1,4	1990	1989	76	0,36
5	9,2	15,7	1,21	1,41	1991	1991	73	0,42
6	4,8	9,1	1,1	1,21	1990	1988	75	0,3
7	7,2	18,5	1,16	1,51	1992	1991	71	0,37
8	4,8	17,9	1,1	1,48	1989	1988	74	0,31
9	2,9	8,4	1,06	1,19	1993	1991	74	0,24
10	2,2	8,2	1,04	1,19	1995	1993	75	0,21
11	7,4	16,5	1,16	1,43	1991	1991	76	0,38
12	2,9	9,2	1,06	1,21	1991	1990	76	0,24

Таблица 2

Характеристики двух полупериодов индекса САК

Месяц	Первый стационарный период					Второй стационарный период				
	$T_{кон}$	$САК_{ср}$	$САК_{\sigma}$	Макс.	Мин.	$T_{нач}$	$САК_{ср}$	$САК_{\sigma}$	Макс.	Мин.
1	1979	0,1	0,98	1,6	-2,2	1988	1,4	0,50	2,4	0,6
2	1987	0,1	1,09	1,8	-2,2	1988	1,5	0,63	2,8	0,4
3	1975	-0,2	0,88	1,4	-2,4	1988	1,3	0,55	2,6	0,4
4	1972	0,2	1,14	2,4	-1,8	1989	1,4	0,65	2,5	0,2
5	1990	-0,1	0,92	2,3	-1,8	1991	1,2	0,64	2,3	0,3
6	1987	-0,1	0,93	2,1	-2,1	1988	0,7	0,86	2,1	-0,8
7	1990	0,02	0,93	1,8	-2,2	1991	1,6	0,89	2,8	-0,4
8	1987	0,14	1,11	2,3	-2,9	1988	1,7	0,80	3,7	-0,1
9	1990	-0,04	1,01	2,0	-2,6	1991	0,83	0,60	2,2	-0,4
10	1992	0,17	1,08	2,6	-2,4	1993	1,2	1,10	3,2	-0,5
11	1990	-0,1	1,11	2,2	-2,5	1991	1,5	0,92	2,7	-0,5
12	1989	-0,01	0,90	1,4	-2,3	1990	0,87	0,83	1,8	-0,9

Если оценить однородность средних значений за два последовательных стационарных полупериода, то гипотеза об их однородности отклоняется для всех месяцев при уровне значимости 5%. По результатам оценки однородности или стационарности дисперсий можно сделать вывод, что за период с января по май, т.е. период холодного океана, дисперсии второй части ряда статистически значимо меньше, чем первой части ряда. Для остальных месяцев с июня по декабрь (теплый океан) дисперсии колебаний практически не изменились.

В результате исследования многолетних изменений индекса САК по месяцам можно сделать вывод, что с конца 1980-х гг. западный перенос увеличился в среднем в 1,3 раза, а дисперсии для холодного периода океана уменьшились примерно в 2 раза. Поэтому в холодный период в настоящее время имеют место устойчивый западный перенос и связанный с ним существенный приток тепла с Атлантики.

Помимо индекса САК для оценки типов циркуляции, притом как для всего Северного полушария, так и отдельных регионов, широко применяются и другие индексы, например, А.Л. Каца [5–7], А.А. Гирса [3; 23], Б.Л. Дзердзеевского [4; 9; 10]. По типизации элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ), разработанной Б.Л. Дзердзеевским, в период 1987–1997 гг. меридиональная южная группа была продолжительнее средней более чем в три раза (рис. 7).

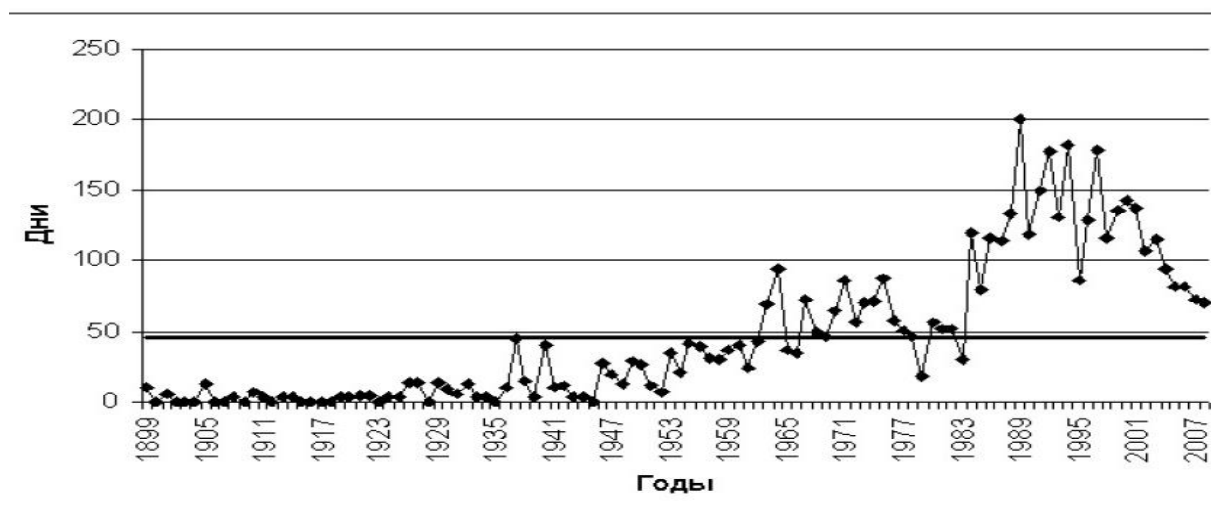


Рис. 7. Многолетние колебания суммарной годовой продолжительности меридиональной южной группы циркуляции за 1899–2008 гг.

Постепенный рост продолжительности этой группы с 1899 по начало 1980-х гг. от нескольких дней до 50 дней в среднем, далее в середине – конце 1980-х гг. приводит к резкому подъему до 150 дней в среднем. Хотя этот период циркуляции в настоящее время еще продолжается, но число дней имеет тенденцию к уменьшению. По данным наблюдений метеостанции Кострома среднегодовая температура воздуха достигала своего исторического максимума (+ 5,8°C) также в 1989 г. и превышала среднее значение за период 1961–1990 гг. на 1,6°.

Можно сделать вывод, что в конце 1980-х гг. была большая эпоха усиления индекса САК и в это же время имела место меридиональная южная группа циркуляции. Поэтому совместное наложение, как рост приходящей инсоляции, так и переход к западному и южному типам циркуляции, обусловило ступенчатый рост температуры воздуха в конце 1980-х гг.

Еще одним индикатором оценки смены типов атмосферной циркуляции может служить суммарное за месяц атмосферное давление на метеостанциях Костромской области, считая при этом, что низкое атмосферное давление связано с циклонами и западным переносом, а высокое – с антициклонами, холодом зимой и теплом летом. Анализ многолетних рядов среднемесячного давления, выполненный на метеостанциях Кострома и Вохма за период с 1938 по 2013 г., показал, что модель стационарной выборки является наиболее эффективной практически во всех случаях за некоторым исключением давления в марте. Временные графики среднего давления марта на двух метеостанциях приведены на рис. 8.

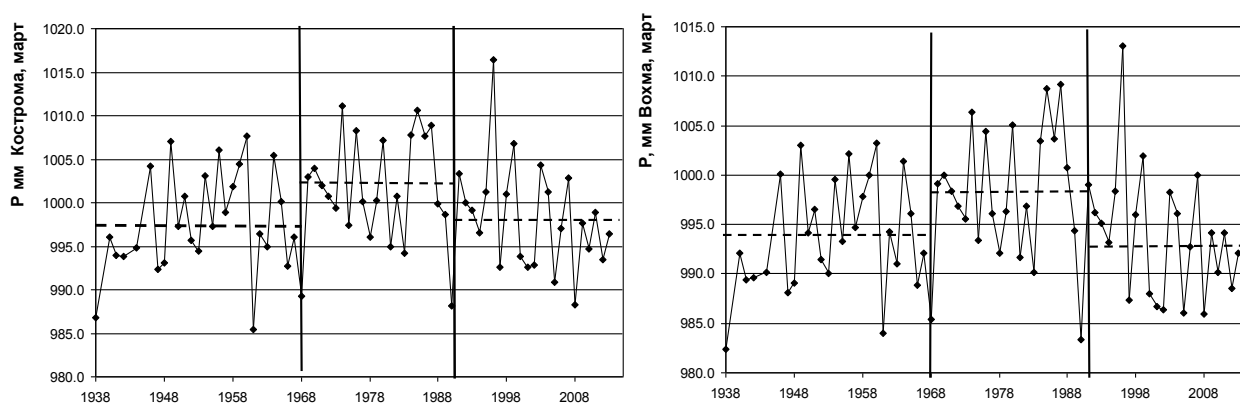


Рис. 8. Временные ряды приземного атмосферного давления в марте на метеостанциях Кострома и Вохма

Как видно из графиков, во временных рядах можно выделить 3 квазистационарных периода: 1938–1968 гг. – период пониженного давления, 1969–1989 гг. – период повышенного давления и последний период, начиная с 1990 г., – пониженного давления с тенденцией его дальнейшего

падения. Коэффициенты же корреляции R между температурой и давлением очень низкие, не превышающие 0,4.

Таким образом, ступенчатый рост температуры воздуха в конце 1980-х гг., который проявился на многих метеостанциях России, может быть обусловлен совместным наложением следующих факторов:

– прежде всего, преобладающего адвекционного, что проявилось в длительной положительной фазе САК и резком ступенчатом росте индекса именно с конца 1980-х и начала 1990-х гг. во все месяцы года с наиболее устойчивым потеплением в период с января по май, когда океан теплее суши, а также в резком увеличении числа случаев с меридиональной южной группой циркуляции и снижении атмосферного давления на станциях в марте;

– радиационного, так как в это время имел место переход от минимума солнечной инсоляции к максимуму, что проявилось и в резком повышении приходящей солнечной радиации на верхней границе атмосферы и в суммарной радиации на земной поверхности по данным актинометрических наблюдений.

Несмотря на то, что коэффициенты корреляции между индексом САК и среднемесячной температурой воздуха не столь велики за счет существенной межгодовой случайной изменчивости (максимальное значение $R=0,63$ в марте), в обеих характеристиках наблюдается одинаковый ступенчатый рост. В целом же адвективная составляющая повышения температуры включает как рост циклонической деятельности, особенно в период с января по май, что проявляется и в уменьшении давления, так и увеличение числа теплых меридиональных воздушных масс.

Библиографический список

1. *Бедрицкий А.И.* Результаты исследований изменений климата России. М., 2005. 180 с.
2. *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.
3. *Гирс А.А.* Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. Л.: Гидрометеоиздат, 1971. 280 с.
4. *Дзердзеевский Б.Л.* Общая циркуляция атмосферы и климат. М.: Наука, 1975. 286 с.
5. *Калинин Н.А.* Связь аномалий среднесуточной температуры воздуха в г. Перми с формами атмосферной циркуляции Каца // Ученые записки Казанского государственного университета. Сер. Естественные науки. 2012. Т. 154. Кн. 1. С. 224–231.
6. *Калинин Н.А.* Мониторинг, моделирование и прогноз состояния атмосферы в умеренных широтах / Перм. гос. ун-т. Пермь, 2015. 308 с.
7. *Кац А.Л.* Сезонные изменения общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы. Л.: Гидрометеоиздат, 1960. 270 с.
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. *Кононова Н.К.* Колебания циркуляции атмосферы в XX – начале XXI века. URL: <http://www.atmospheric-circulation.ru> (дата обращения: 10.02.2016).
11. *Корягин Ф.А.* Современные гидроклиматические изменения в Чувашии. Ч.1. Чебоксары, 2007. 268 с.
12. *Лобанов В.А., Анисимов, О.А.* Современные изменения температуры воздуха на территории Европы // Метеорология и гидрология. 2003. №2. С. 5–14.
13. *Лобанов В.А., Анисимов, О.А.* Эмпирико-статистическое моделирование временных и пространственных изменений гидрометеорологических характеристик // Труды ИНЭНКО. 2005. С.78–87.
14. *Лобанов В.А., Шадурский А.Е.* Применение эмпирико-статистических методов для моделирования и анализа климатических изменений // Ученые записки РГГМУ. 2010. №14. С.73–88.
15. *Лобанов В.А., Шадурский А.Е.* Выделение зон климатического риска на территории России при современном изменении климата. СПб., 2013. 123 с.
16. *Лобанов В.А., Тоцакова Г.Г.* Проявление современных изменений климата на территории Костромской области. Кострома, 2013. 171 с.

17. Лобанов В.А., Шукри Омар А. Оценка климатических изменений температуры воздуха и осадков на Аравийском полуострове // Ученые записки РГГМУ. 2014. №37. С. 72–83.
18. Нестеров Е.С. Североатлантическое колебание: атмосфера и океан. М.: ТРИАДА ЛДТ, 2013. 144 с.
19. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М., 2008. Т. I. Изменения климата. 227 с.
20. Переведенцев Ю.П., Верещагин М.А., Шанталинский К.М., Наумов Э.П., Хабутдинов Ю.Г. Изменения климатических условий и ресурсов Среднего Поволжья. Казань: Центр инновационных технологий, 2011. 296 с.
21. Результаты исследований изменений климата для стратегий устойчивого развития Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2005. 178 с.
22. Шерстюков Б.Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата. Обнинск: ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2008. 247 с.
23. Яковенко Э.С. Роль циркуляционных и радиационных факторов в формировании режима местных погод в некоторых районах Прибайкалья, Забайкалья и юга Дальневосточного Приморья // Курортные ресурсы Сибири и задачи их освоения. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1970. С. 183–189.

References

1. Bedrickij, A.I. et al. (2005), *Rezultaty issledovanij izmenenija klimata dlja strategij ustojchivogo razvitiya Rossijskoj Federacii* [The results of climate change studies for strategies of sustainable development of the Russian Federation], Roshydromet, Moscow, Russia.
2. Vinogradova, V.V. (1997), “Global warming impact on the severity of climate of Russia's northern and eastern areas in the 80th of XX century”, *Izvestiya Rossijskoj Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, no. 2, pp. 126–132.
3. Girs, A.A. (1971), *Mnogoletnie kolebanija atmosfernoj cirkuljacii i dolgosrochnye gidrometeorologicheskie prognozy* [Long-term fluctuations in the atmospheric circulation and long-term hydrometeorological forecasts], Gidrometeoizdat, Leningrad.
4. Dzerdzeevskij, B.L. (1975), *Obshhaja cirkuljacija atmosfery i klimat. Izbrannye trudy* [The general circulation of the atmosphere and climate. Selected papers], Nauka, Moscow.
5. Kalinin, N.A. (2012), “A connection of the average daily temperature in Perm City with Kac's forms of atmospheric circulation”, *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, vol. 154, no. 1, pp. 224–231.
6. Kalinin, N.A. (2015), *Monitoring, modelirovanie i prognoz sostojanija atmosfery v umerennykh shirotakh* [Monitoring, modeling and prediction of atmospheric conditions in temperate latitudes], Perm State University, Perm.
7. Кас, А.Л. (1960), *Sezonnye izmenenija obshhej cirkuljacii atmosfery i dolgosrochnye prognozy* [Seasonal changes in the general circulation of the atmosphere and long-term forecasts], Gidrometeoizdat, Leningrad.
8. Kirillina, K.S., Lobanov, V.A. (2015), “Assessment of modern climatic changes of air temperature in the territory of the Republic of Sakha (Yakutia)”, *Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University*, no. 38, pp. 137–152.
9. Kononova, N.K., Khmelevskaja, L.V. (2011), “Long-term fluctuations of beginning dates and duration of circulation seasons of extra-tropical latitudes of Northern Hemisphere”, *Izvestiya Rossijskoj Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, no. 3, pp. 43–62.
10. Kononova, N.K., *Kolebanija cirkuljacii atmosfery v XX – nachale XXI veka* [Fluctuations of atmospheric circulation in the XX – early XXI century], available at: <http://www.atmospheric-circulation.ru>, (Accessed 10.02.2016).
11. Korjagin, F.A. (2007), *Sovremennye gidroklimaticheskie izmenenija v Chuvashii. Ch. 1* [Modern hydroclimatic changes in Chuvashia. Part 1], Cheboksary.
12. Lobanov, V.A., Anisimov, O.A. (2003), “Modern changes in air temperature on the European Territory”, *Meteorologiya i Gidrologiya*, no. 2, pp. 5–14.
13. Lobanov, V.A., Anisimov, O. A. (2005), “Empirical-statistical modeling of temporal and spatial changes in hydrometeorological characteristics”, *Proceedings of INENCO, "Science"*, pp. 78–87.
14. Lobanov, V.A., Shadurskij A.E. (2010), “Application of empiric-statistical methods for modeling and analysis of climatic changes”, *Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University*, no. 14, pp. 73–88.

15. Lobanov, V.A., Shadurskij A.E. (2013), *Vydelenie zon klimaticeskogo riska na territorii Rossii pri sovremenno izmenenii klimata* [Identification of climate risk zones in the territory of Russia under the present climate change], Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg.

16. Lobanov, V.A., Toshhakova, G.G. (2013), *Projavenie sovremennykh izmenenij klimata na territorii Kostromskoj oblasti* [The manifestation of contemporary climate changes in the territory of the Kostroma region], Kostroma Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, Kostroma.

17. Lobanov, V.A., Shukri O.A. (2014), "Assessment of climate change in air temperature and precipitation in the Arabian Peninsula", *Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University*, no. 37, pp. 72–83.

18. Nesterov, E.S. (2013), *Severoatlanticheskoe kolebanie: atmosfera i okean* [The North Atlantic Oscillation: atmosphere and ocean], TRIADA, Moscow.

19. *Ocenochnyj doklad ob izmenenijakh klimata i ikh posledstvijakh na territorii Rossijskoj Federacii. T. I. Izmenenija klimata* [Assessment report on climate changes and their impact in the territory of the Russian Federation. Vol. I. Climate Change], Moscow, 2008.

20. Perevedencev, Yu. P., Vereshhagin, M.A., Shantalinskij, K.M., Naumov, E.P., Habutdinov, Yu.G. (2011), *Izmenenija klimaticeskikh uslovij i resursov Srednego Povolzh'ja* [Changes in climate conditions and resources of the Middle Volga region], Centr innovacionnykh tekhnologij, Kazan.

21. *Resul'taty issledovanij izmenenij klimata dlja strategij ustojchivogo razvitija Rossijskoj Federacii* [The results of climate change studies for strategies of sustainable development of the Russian Federation], Roshydromet, Moscow.

22. Sherstjukov, B.G. (2008), *Regional and seasonal patterns of changes in modern climate*, Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Centre, Obninsk.

23. Jakovenko, E.S. (1970), "The role of circulating and radiation factors in the formation of the regime of local weather in some parts of the Baikal region, Transbaikalia and south of the Far Eastern Primorye", *Resort resources of Siberia and objectives of their development*, Tomsk Scientific and Research Institute of Balneology, Tomsk, pp. 183– 89.

Поступила в редакцию: 15.02.2016

Сведения об авторах

About the authors

Лобанов Владимир Алексеевич

доктор технических наук, профессор кафедры метеорологии, климатологии и охраны атмосферы Российского государственного гидрометеорологического университета; Россия, 195196, г. Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., д. 98; e-mail: lobanov@EL6309.spb.edu

Vladimir A. Lobanov

Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Meteorology, Climatology and Air Protection, Russian State Hydrometeorological University; 98, Malookhtinsky prospekt, St. Petersburg, 195196, Russia; e-mail: lobanov@EL6309.spb.edu

Тошакова Галина Геннадьевна

начальник Костромского «Центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»; Россия, 156013, г. Кострома, ул. Калиновская, 38; e-mail: pogoda@kmtn.ru

Galina G. Toschakova

Head of the Kostroma "Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring"; 38, Kalinovskaya st., Kostroma, 156013, Russia; e-mail: pogoda@kmtn.ru

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Лобанов В.А., Тошакова Г.Г. Особенности и причины современных климатических изменений в России // Географический вестник = Geographical bulletin. 2016. №3(38). С. 79–89. doi 10.17072/2079-7877-2016-3-79-89

Please cite this article in English as:

Lobanov V.A., Toschakova G.G. Features and causes of the modern climate change in Russia // Geographical bulletin. 2016. № 3(38). P. 79–89. doi 10.17072/2079-7877-2016-3-79-89