

ДОЛГОПЕРИОДНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВАРИАБЕЛЬНОСТИ ВНУТРИГОДОВОГО МАСШТАБА ДЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В СВОБОДНОЙ АТМОСФЕРЕ*

А. М. СТЕРИН, А. А. ТИМОФЕЕВ

Всероссийский НИИ гидрометеорологической информации —

Мировой центр данных, Обнинск, Россия

e-mail: sterin@meteo.ru

The problem of analysis of the long period changes (trends) in the high frequency climate variability (variability in the intra-seasonal scale) is considered in relation to the upper-air temperature. The adjusted inter-quarter range is used as the measure of such intra-seasonal scale variability. Some trend patterns in the series of the above mentioned measure are obtained and discussed for the case of the upper-air temperature over the European part of Russian Federation.

Введение

Вопрос о том, становится ли климат более переменчивым и более экстремальным, является одним из ключевых в современной климатологии. Именно в такой формулировке он ставится во Втором [1] и Третьем [2] обзорных докладах Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). На вероятность возникновения экстремальных явлений влияют изменения как мер осредненных (за год, сезон, месяц) состояний климатической системы, так и мер изменчивости за эти временные интервалы состояний климатической системы. Может оказаться, что для климатозависимых сфер жизнедеятельности долгопериодные тенденции изменения одной из этих мер явятся благоприятными, в то время как тенденции изменения другой меры — неблагоприятными.

Проблема анализа долгопериодных тенденций изменения меры высокочастотной изменчивости климата не нова. Она связана с проблемой роста числа экстремальных гидрометеорологических явлений. В большей степени проведенные в этом направлении исследования касаются приземных характеристик климата (приземной температуры, сумм осадков). В ряде исследований (см., например, [3]) введены индексы, характеризующие экстремальность приземного климата, исследована динамика этих индексов за период ин-

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 04-05-64681) и совместного проекта Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Калужской области (грант № 04-05-97207).

© Институт вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук, 2006.

струментальных наблюдений. Для свободной атмосферы изученность проблемы экстремальных значений метеорологических величин значительно меньше.

Многочисленные модельные исследования, ставящие своей целью воспроизведение и предсказание частот встречаемости экстремальных явлений в атмосфере, демонстрируют недостаточно согласующиеся друг с другом результаты. Полученные же на реальном эмпирическом материале результаты подобных исследований, необходимые для верификации результатов моделирования, недостаточны. Между тем имеется достаточное количество фактов, свидетельствующих о том, что характер процессов внутригодового и внутрисезонного масштаба в свободной атмосфере за период инструментальных наблюдений изменялся. Это касается амплитуды планетарных волн, скачкообразного изменения характера атмосферной циркуляции над территориями Тихого океана и Северной Америки в середине 70-х годов прошлого века [4, 5]. С последним явлением связывают увеличение введенного в [3] индекса экстремальности приземного климата для территории США, а также наличие положительных трендов в крупномасштабных характеристиках температуры в тропосфере [6], менее очевидных при анализе рядов температуры тропосферы, начинающихся с 1979 г.

Различия в трендах глобальной температуры у земной поверхности и в тропосфере, имевшие место для последних двух десятилетий прошлого века, привели к многочисленным дискуссиям [7], в том числе о взаимосвязи процессов в атмосфере и у земной поверхности. Поэтому более глубокое изучение изменений процессов, происходящих в свободной атмосфере, важно как само по себе, так и с точки зрения понимания проявления изменений климата у земной поверхности.

Целью настоящей работы является анализ трендов в характеристиках variability внутригодового масштаба для температуры в свободной атмосфере на изобарических поверхностях над территорией Российской Федерации. Рассматривается период радиозондовых инструментальных наблюдений. Приводятся результаты только по радиозондовым станциям европейской территории России (ЕТР). Большой интерес к проблематике долгопериодных тенденций в рядах характеристик variability климата свободной атмосферы проявил профессор Е.П. Борисенков (ГГО им. А.И. Воейкова), рекомендовавший инициировать эти исследования авторов, но, к огромному сожалению, не увидевший их первых результатов.

1. Выбор методики

Задача изменения повторяемости экстремальных гидрометеорологических явлений с точки зрения статистики должна рассматриваться как задача изменения частоты попадания случайной величины в интервалы значений, близких к “хвостам” распределений. Так, увеличение повторяемости экстремально высоких температур связано с увеличением частоты попадания значений температуры в интервал значений, превышающих близкую к 100 % процентиль распределения (на практике обычно рассматриваются 90, 95, 98 и 99 % процентиля). По аналогии для аномально низких значений рассматриваются частоты попадания в интервалы, не превышающие малые процентиля.

Известно, что изменение со временем частоты попадания случайной величины в близкий к “хвосту” распределения интервал может быть вызвано одной из следующих причин:

— изменение со временем параметра сдвига процесса при неизменном параметре его масштаба (так называемый дрейф кривой плотности распределения за длительный период

при ее неизменной форме);

— изменение со временем параметра масштаба процесса при неизменном параметре сдвига (так называемое расширение или сужение плотности распределения при отсутствии дрейфа);

— изменение закона распределения при неизменных параметрах сдвига и масштаба, ведущее, например, к “утяжелению хвостов”.

Возможны сочетания этих причин. Наиболее полную картину вклада каждого из меняющихся факторов в общую дисперсию процесса дает дисперсионный анализ (например, проводящийся с помощью процедур ANOVA, имеющихся в различных статистических пакетах). В климатологическом анализе экстремальных значений должны исследоваться возможности влияния всех перечисленных причин. Соответственно, методы учета этих причин различны. Так, в случае, когда влияние оказывает изменение со временем параметра сдвига распределения, осуществляют процедуру удаления тренда (детрендинг) и рассматривают изменения абсолютных величин остатков в регрессионном анализе. В случае, когда имеет место изменение со временем параметра масштаба распределения, должен быть осуществлен анализ изменения за длительный период времени собственно параметра масштаба, характеризующего изменчивость в пределах значительно более короткого, чем весь период наблюдения, временного интервала (например, изменчивость в пределах месяца или сезона). Наконец, в случае, когда имеет место изменение со временем закона распределения величины, следует осуществлять проверку гипотез о законе распределения для разных периодов наблюдений и поиск причин этого изменения.

В настоящей работе ставится вопрос о наличии долгопериодных тенденций изменения параметров масштаба, характеризующих изменчивость в пределах внутригодового периода (в данном случае — в пределах сезона), применительно к температуре свободной атмосферы. Исследования такого рода должны явиться составной частью комплексного анализа характера и причин возникновения экстремальных значений метеовеличин в свободной атмосфере, тенденций изменения их повторяемости за период инструментальных наблюдений за ними.

В работе [8] для решения задачи в подобной постановке использовались массивы в узлах сетки (массив проинтерполированных в узлы сетки статистик метеовеличин свободной атмосферы, полученный А. Ооргом [9], и массив реанализа NCAR/NCEP). С учетом того, что при интерполяции в узлы сетки параметры масштаба (в частности, использованная в [8] дисперсия) могут искажаться в значительно большей степени, чем параметры сдвига (например, средние за месяц или за сезон значения), в настоящей работе анализ выполнен непосредственно с использованием постанционных данных.

В качестве характеристики вариабельности внутригодового масштаба использовались внутрисезонные стандартные отклонения и приведенное межквартильное расстояние

$$\text{IQR} = (Q_3 - Q_1)/1.349,$$

где Q_3 и Q_1 — соответственно третья и первая квартили распределения значений температуры для сезона. Межквартильное расстояние является робастным аналогом среднеквадратического отклонения, точнее, удвоенного его значения [10, 11].

В данной работе аналогичные характеристики вариабельности для отдельных месяцев не рассматриваются из-за недостаточной для этих целей полноты данных. Поскольку меры внутрисезонной изменчивости температуры для каждого из четырех сезонов различны (например, в нижней тропосфере умеренных и полярных широт Северного полушария они больше для зимнего сезона, чем для летнего), анализ трендов рядов, содержащих эту меру,

целесообразно проводить либо для каждого из сезонов в отдельности, либо конструировать новую приведенную меру, исключая различия для разных сезонов. В данной работе осуществлен анализ трендов для каждого из сезонов в отдельности.

2. Используемые данные

В качестве исходных данных использованы радиозондовые данные за период с 1963 по 2003 г. Выбор периода измерений связан с тем, что большинство станций на исследуемой территории имеют более или менее целостные ряды измерений начиная с 1963 г. Данные получены из глобального аэрологического архива IGRA (Integrated Global Radiosonde Archive) [12]. Этот архив регулярно обновляется и доступен пользователям на сайте Национального центра климатических данных США.

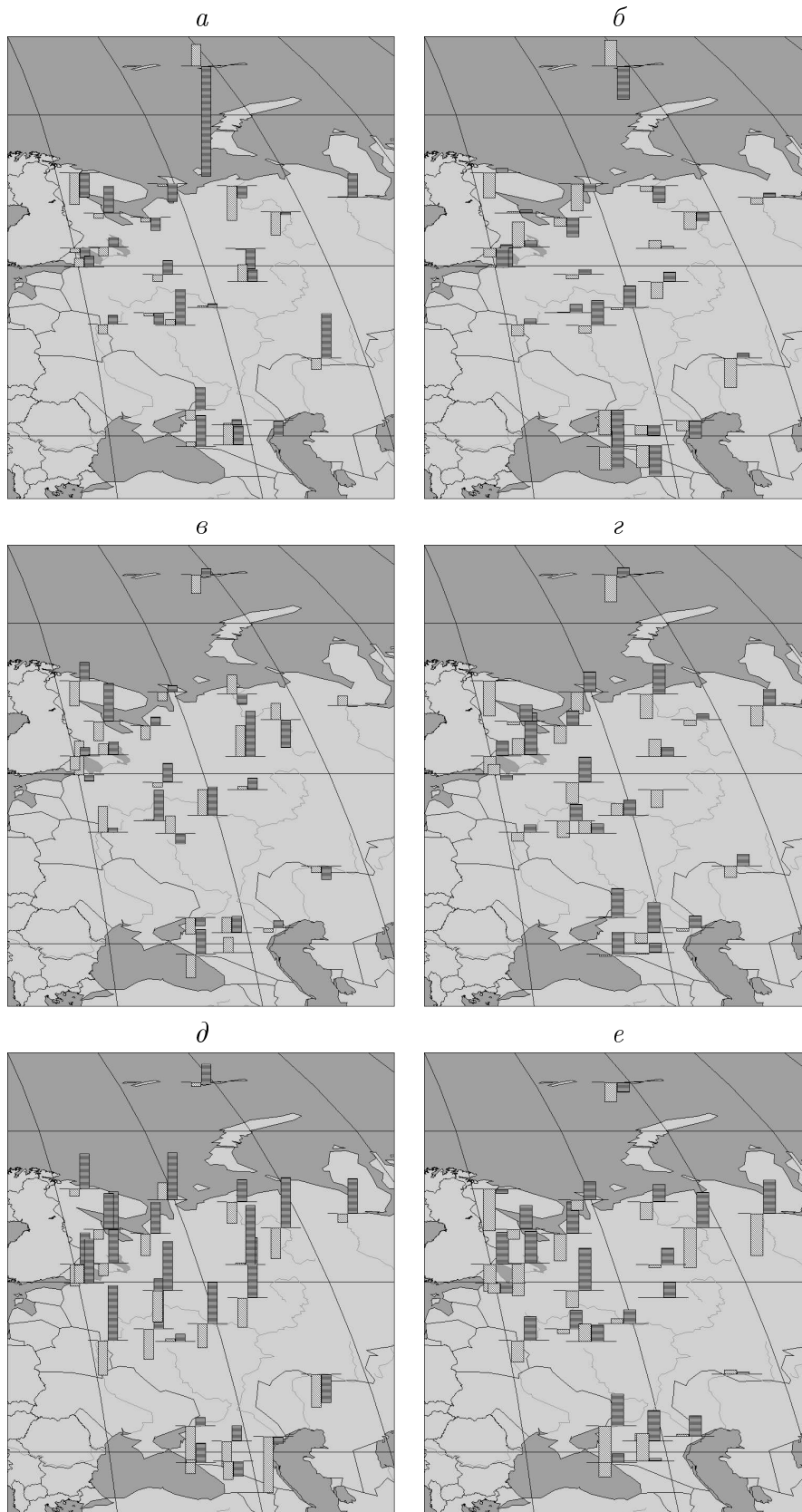
В настоящей работе рассматривались постанционные данные аэрологических станций территории РФ. Учитывалось, что реальные данные имеют пропуски, связанные с разными причинами, а также меньшее количество результатов наблюдений в нижней стратосфере вследствие недостаточного потолка полета радиозондов. В этих реальных условиях имеется необходимость введения компромиссных критериев, которые учитывали бы степень полноты рядов радиозондовых наблюдений. Производился отбор станций, для которых имеются ряды наблюдений, удовлетворяющие введенным компромиссным критериям с точки зрения непрерывности и достаточности количества наблюдений.

3. Результаты и их обсуждение

В серии расчетов для ряда станций рассматривались вертикальные профили трендов внутрисезонных значений стандартного отклонения и приведенного межквартильного размаха. Как показывают сопоставления вертикальных профилей линейных трендов для этих двух характеристик параметра масштаба, здесь в деталях не приводимые, качественное сходство между вертикальными профилями линейных трендов стандартного отклонения и приведенного межквартильного размаха имеется, причем для тех случаев, когда тренды значимо отличны от нуля, соотношения их значений для приведенного межквартильного размаха и для стандартных отклонений близки к двум. Последнее вполне логично, поскольку, как уже отмечалось, приведенный межквартильный размах является робастным аналогом удвоенного стандартного отклонения. В дальнейшем для построения карт использовался приведенный межквартильный размах.

На рисунке приведены карты ЕТР, на которых в местах расположения отобранных для анализа станций радиозондирования показаны пары значений линейных трендов для приведенного межквартильного размаха температуры и среднего сезонного значения температуры. Левый столбец содержит карты для зимнего сезона (декабрь — февраль), правый — для летнего (июнь — август). Карты приводятся для изобарических поверхностей: 200 гПа (см. рисунок, *a* и *b*), 500 гПа (*в* и *г*) и 850 гПа (*д* и *е*).

Как следует из представленных результатов, в летний сезон на поверхности 200 гПа в южной части ЕТР наблюдается тенденция уменьшения внутрисезонной variability температуры. Эта же тенденция отмечена на большинстве станций северной материковой части ЕТР, на высокоширотной островной станции наблюдалась противоположная тенденция.



Значения линейных трендов для приведенного межквартильного размаха температуры (левый светлый столбец) и для среднего сезонного значения температуры (правый темный столбец) по ряду аэрологических станций европейской территории России.

Для поверхности 500 гПа в зимний сезон наблюдается тенденция уменьшения variability на северо-западе (Кольский полуостров, Карелия), в то время как на северо-востоке ЕТР и в центральной ее части имеется тенденция увеличения внутрисезонной variability. Летом же на этой поверхности для большинства северных станций наблюдается тенденция уменьшения долгопериодной variability.

Для поверхности 850 гПа как в зимний, так и в летний сезоны на большинстве станций как северной, так и южной частей ЕТР отмечено тенденция уменьшения характеристик variability температуры. Отметим, что приводимые на этих же рисунках тренды средних сезонных значений температуры хорошо соответствуют известным представлениям (потепление в тропосфере и похолодание в нижней стратосфере). Потепление на поверхности 850 гПа для северной и средней частей ЕТР зимой выражено сильнее, чем летом (см. рисунок, *d* и *e*), что хорошо согласуется с аналогичными представлениями о сезонных особенностях трендов приземной температуры.

Заключение

Следует отметить безусловную важность задачи исследования долгопериодных тенденций характеристик variability внутригодового масштаба для температуры и других метеовеличин в свободной атмосфере и несомненные трудности ее решения, связанные в том числе с недостаточным наличием данных.

Использованная в настоящей работе характеристика — приведенное межквартильное расстояние — позволяет избежать влияния экстремальных значений на результаты. Примененный подход свободен от влияния скачкообразных изменений, вызванных неоднородностями в рядах за счет изменений в системах радиозондовых наблюдений. Указанные неоднородности влияют на тренды в параметрах сдвига (например, на тренды в рядах месячных или сезонных средних значений или в рядах аномалий). Внутрисезонное межквартильное расстояние не зависит от происходящих на протяжении многих лет изменений, вызывающих систематические ошибки. В то же время межквартильное расстояние не позволяет оценить собственно экстремальные значения (т.е. те значения, которые оказываются как раз вне межквартильного интервала значений), а следовательно, оценить динамику частот повторяемости этих значений.

Подход, использованный в работе, позволил выявить некоторые пространственные и сезонные особенности проявления долгопериодных тенденций изменения variability. Однако для более полной картины, как уже отмечалось, необходимо сочетание использованного подхода с другими методами анализа (в частности, с анализом аналогичных характеристик для приземного климата, с исследованием поведения “хвостов” распределений, эволюции мод изменчивости процессов в свободной атмосфере, например, методом вейвлетного анализа).

Список литературы

- [1] CLIMATE Change 1995. The Science of Climate Change. Contribution of Working Group 1 to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1995. 572 p.

- [2] IPCC. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge Univ. Press; United Kingdom, and New York. NY. USA, 2001. 881 p.
- [3] KARL T.R., KNIGHT R.W., EASTERLING D.R., QUAYLE R.G. Indices of climate change for the United States // Bull. Amer. Meteor. Soc. 1995. Vol. 77. P. 279–292.
- [4] HENDERSON-SELLERS A. ET AL. Tropical cyclones and global climate change: A Post-IPCC assessment // Bull. Amer. Meteor. Soc. 1998. Vol. 79. P. 19–38.
- [5] TRENBERTH K.E., HURRELL J.W. Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific // Climate Dyn. 1994. Vol. 9. P. 303–319.
- [6] SEIDEL D.J., ANGELL J., CHRISTY J. ET AL. Uncertainty in signals of large-scale climate variations in radiosonde and satellite upper-air temperature datasets // J. Climate. 2004. Vol. 17, N 11. P. 2225–2240.
- [7] HURRELL J.W., TRENBERTH K.E. Difficulties in obtaining reliable temperature trends: reconciling the surface and satellite microwave sounding unit records // J. Climate. 5 May 1998. Vol. 11. P. 945–967.
- [8] ISKENDERIAN H., ROSEN R.D. Low-frequency signals in midtropospheric submonthly temperature variance // J. Climate. 2000. Vol. 13, N 13. P. 2323–2333.
- [9] OORT A.H., LIU H. Upper-air temperature trends over the globe // J. Climate. 1993. Vol. 6, N 2. P. 292–307.
- [10] LANZANTE J.R. Resistant, robust and non-parametric techniques for the analysis of climatic data. Theory and examples, including the applications to historical radiosonde station data // Intern. J. Climatology. 1996. Vol. 16. P. 1197–1226.
- [11] СТЕРИН А.М. Устойчивые оценки параметров сдвига и масштаба в климатологической обработке данных аэрологических архивов // Тр. ВНИИГМИ-МЦД. 1990. Вып. 153. С. 30–41.
- [12] DURRÉ I., VOSE R.S., WUERTZ D.B. Overview of the integrated global radiosonde archive // J. Climate. 2006. Vol. 19, N 1. P. 53–68.

Поступила в редакцию 9 ноября 2006 г.