

УДК [551.524:551.583]«44»(5-191.2+55)

ОЦЕНКА КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И ИХ УСТОЙЧИВОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

В.А. Лобанов, С.А. Маммедов

Российский государственный гидрометеорологический университет,
lobanov@EL6309.spb.edu

Проведено исследование климатических изменений среднемесячных значений температуры воздуха во внутренних областях Азиатского континента, включая территории Туркменистана, Узбекистана и Ирана. Выявлены закономерности эффективных нестационарных моделей внутри года и по территории, а также проведена оценка устойчивости их вида и года ступенчатого повышения температуры воздуха в зависимости от продолжительности рядов наблюдений. Установлено что повышение температуры воздуха происходило в месяцы теплого периода и, как правило, в конце XX — начале XXI века. Построены карты повышения нормы температуры за разные месяцы года.

Ключевые слова: внутренние области Азиатского континента, среднемесячная температура воздуха, изменение климата, устойчивость изменений климата, карты повышения температуры.

ASSESSMENT OF CLIMATIC CHANGES IN AIR TEMPERATURE AND THEIR STABILITY IN CENTRAL ASIA

V.A. Lobanov, S.A. Mammedov

Russian State Hydrometeorological University

The article studies climate changes in the average monthly air temperatures in the interior regions of the Asian continent, including the territories of Turkmenistan, Uzbekistan and Iran. Regularities of effective non-stationary models within the year and on the territory have been revealed, and also an estimation of the stability of their type and the year of stepped rise in air temperatures, depending on the duration of the series of observations. It is established that the temperature increase took place in the months of the warm period of the year and, as a rule, at the end of the 20th — the beginning of the 21st century. Maps of growth of temperature norms for different months of the year are constructed.

Keywords: internal areas of the Asian continent, average monthly air temperature, climate change, stability of climate change, temperature growth maps.

Введение

Внутренние области континентов, и особенно наибольшего из них — Азиатского, имеют свои специфические особенности, так как потоки влаги и тепла с океанов очень редко достигают этих мест или не достигают их совсем. В результате на таких территориях формируются резко континентальный климат и внутренний влагооборот [2]. Обычно это области пустынь, полупустынь, сухих нагорий.

Практически вся территория рассматриваемой области находится в зоне жаркого и сухого, резко континентального климата. Исключение составляет побережье Каспийского моря и южная часть Ирана ближе к Персидскому и Оманскому

заливам, где климат тропический. Основная часть территории — это или пустыни и полупустыни (Узбекистан, Туркменистан), или нагорья (обширное Иранское нагорье средней высотой 1200 м) и горы (Копетдаг, Гиссарская горная система в Туркменистане, Загрос, Восточно-Иранские горы, Макран в Иране). В основном преобладают материковые сухие субтропические воздушные массы. Но зимой возможен заток холодных арктических воздушных масс с северо-востока и морских влажных с запада, а также воздушных масс с северо-запада, со Средиземного моря, и с юга, с Аравийского моря. Лето на большей части территории жаркое и сухое, а зима холодная повсюду за исключением южной части Ирана. Вместе с тем в последние годы здесь наблюдаются и аномальные значения температуры воздуха. Так, зима 2008 г. в Туркменистане была одной из самых холодных за последние десятилетия: на севере страны морозы держались почти два месяца подряд и температура воздуха порой понижалась до $-31\text{ }^{\circ}\text{C}$ и даже на юге страны до значений менее $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. [14]. При таком температурном режиме замерзла Амударья (такое явление наблюдалось второй раз за более чем 120 лет) и даже морская вода Красноводского залива.

По оценкам 5-го доклада МГЭИК, температура воздуха в центральных районах Азии должна повыситься в будущие 30—50 лет на $1,5\text{—}2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ как зимой, так и летом, т.е. достаточно существенно [16]. Исследования современных трендов температуры воздуха показывают, что она повысилась на $0,6\text{—}0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ за период 1981—2012 гг. [15]. Вместе с тем остается открытым вопрос о том, когда началось это повышение температуры и насколько оно устойчиво. Целью настоящей работы является оценка вида изменения климата, его устойчивости во времени и пространственного распределения этих изменений по территории трех государств Центральной Азии: Туркменистана, Узбекистана и Ирана.

Исходные данные

Для исследования были выбраны данные 61 метеостанции с продолжительными наблюдениями за среднемесячной температурой воздуха на территории Туркменистана, Ирана и Узбекистана (рис. 1). Географически этот регион можно обозначить как Центральная Азия. Для оценки современного изменения климата была сформирована региональная база данных о среднемесячной температуре воздуха за весь период наблюдений по данным архива Метеорологического королевского института Нидерландов [17]. Многолетние ряды имели разную продолжительность наблюдений: от 34—36 лет на некоторых метеостанциях на территории Ирана до 124—136 лет на метеостанциях Байрам-Али, Фергана, Ташкент (Туркменистан, Узбекистан).

С помощью известных методов восстановления пропусков и удлинения продолжительности рядов по аналогам [4, 13] ряды наблюдений были приведены практически к одинаковому многолетнему периоду — с конца XIX — начала XX века по 2016 г. включительно. При этом минимальное значение коэффициента множественной корреляции было задано равным 0,85 и начало наблюдений не позднее 1900 г. было получено для 52 метеостанций, что дает возможность анализировать



Рис. 1. Карта рассматриваемой территории с метеостанциями, данные которых были выбраны для исследования.

региональные изменения климата за период более 100 лет. Средняя квадратическая относительная погрешность восстановленных среднемесячных значений температуры воздуха (по отношению к естественной изменчивости) составила менее 30 %, или в среднем 0,4—0,6 °С, хотя в отдельных случаях в зимние месяцы погрешность превышала 1 °С. Проверка на однородность рядов восстановленных экстремальных значений по статистическим критериям Диксона и Смирнова — Грабса [4, 12] позволила выявить и исключить неоднородные значения. В результате были сформированы практически непрерывные многолетние ряды среднемесячной температуры воздуха для статистического моделирования.

Оценка нестационарности и ее устойчивости

Для выявления долгопериодных изменений климата рассматривалась эффективность моделей нестационарного среднего двух видов: линейного тренда и ступенчатых изменений по отношению к базовой стационарной модели. В работах [1,

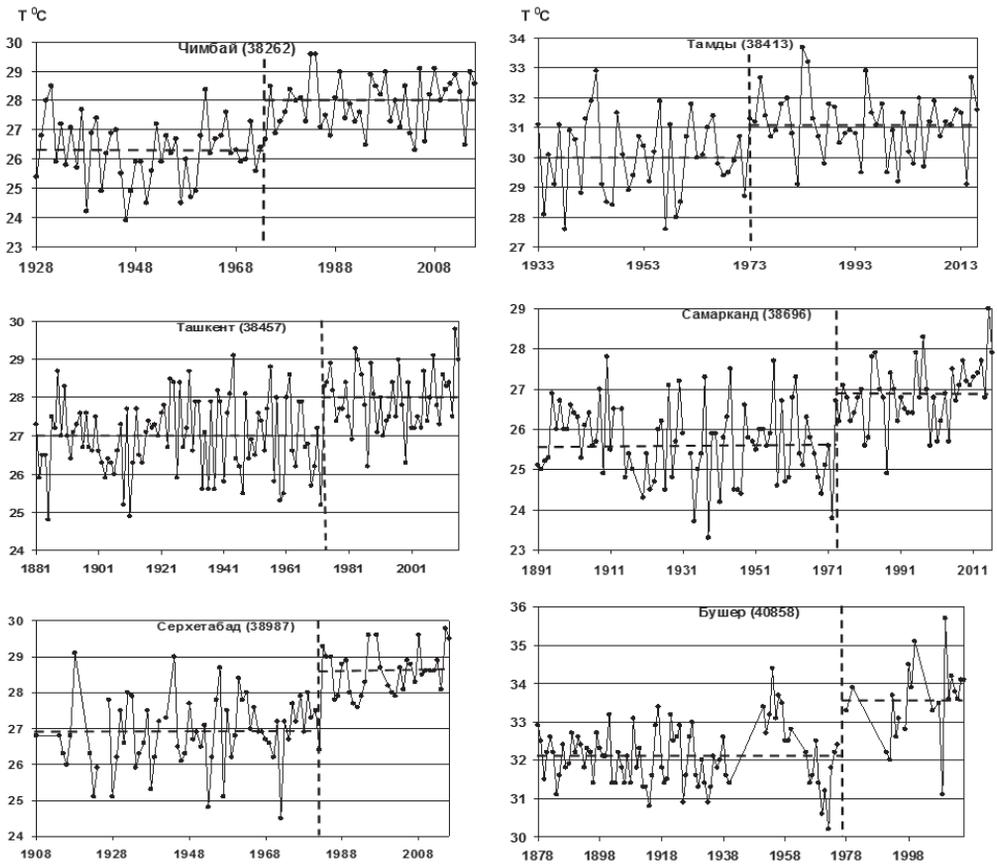


Рис. 2. Примеры многолетних рядов среднемесячной температуры воздуха за июль и их представление в виде модели ступенчатого изменения средних.

3, 6, 8, 9] было установлено, что модель ступенчатых изменений среднего значения является более эффективной, чем модель линейного тренда, и такие переходы от одного стационарного режима к другому обусловлены сменой типов атмосферной циркуляции [10].

Из рис. 2, на котором приведены данные наиболее продолжительных наблюдений, видно, что ступенчатые изменения средних значений характерны и для территории Центральной Азии. При этом можно отметить два стационарных периода: 1) с начала наблюдений с самым ранним годом (1878 г.) по начало — середину 1970-х годов; 2) с середины 1970-х годов по настоящее время с более высокими средними значениями температуры. При этом даже предварительный визуальный анализ свидетельствует о том, что модель ступенчатых изменений средних значений больше соответствует структуре ряда, чем модель тренда, хотя и она также может быть статистически значимой.

Показателем эффективности нестационарных моделей является относительная разность (%) остаточных стандартных отклонений между стационарной и нестационарной моделью [5, 7, 11]. Если считать, что среднее квадратическое отклонение рассматриваемого ряда наблюдений (СКО, или σ_0) соответствует стандартному отклонению остатков стационарной модели, то стандартное отклонение остатков эффективной нестационарной модели ($\sigma_{\text{нест}}$) должно быть меньше σ_0 . Количественно это различие можно выразить в виде относительной разности:

$$\Delta = (\sigma_0 - \sigma_{\text{нест}}) / \sigma_0 \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где Δ (%) — показатель эффективности нестационарной модели (тренда, ступенчатых изменений и т.д.).

Принимая предельную погрешность данных наблюдений равной, например, 10 %, можно считать, что если $\Delta \geq 10 \%$, то нестационарная модель эффективнее, чем стационарная, т.е. стандартное отклонение остатков нестационарной модели на 10 % меньше, чем модели стационарного среднего. Это отличие нестационарной модели от стационарной является статистически значимым, если $\sigma_{\text{нест}}^2$ статистически значимо меньше σ_0^2 , что оценивается по критерию Фишера: $F = \sigma_0^2 / \sigma_{\text{нест}}^2 \geq F^*$, где F^* — критическое значение статистики при заданных уровне значимости и числе степеней свободы [4, 12]. Задав уровень значимости $\alpha = 5 \%$ и среднюю продолжительность временного ряда $n = 61$ год, получим критическое значение $F^* = 1,53$ и соответствующее ему значение $\Delta_{\text{кр}} = 19,4 \%$, при котором нестационарная модель будет не только эффективнее стационарной, но и станет статистически значимо отличаться от нее. При продолжительности ряда наблюдений 120 лет статистически значимое различие моделей будет иметь место уже при $\Delta_{\text{кр}} = 13,8 \%$.

На рис. 3 показано внутригодовое распределение средних для всех рядов Δ (%) отдельно для моделей линейного тренда и ступенчатых изменений. Из рисунка видно, что модель ступенчатых изменений во все месяцы эффективнее модели

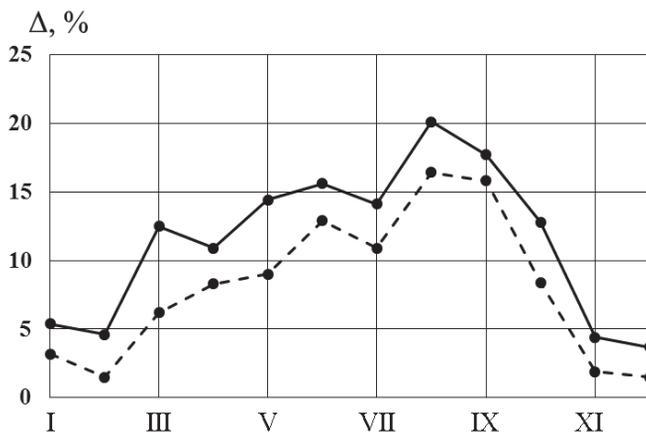


Рис. 3. Внутригодовое распределение средних значений Δ (%) для модели ступенчатых изменений (сплошная кривая) и модели линейного тренда (штриховая кривая).

линейного тренда. Максимальное различие между моделями составляет 5 %, а максимум нестационарности приходится на август — сентябрь.

Хотя, как следует из рис. 3, средние различия двух видов нестационарных моделей (линейный тренд и ступенчатые изменения) не столь велики, но продолжительные ряды данных наблюдений (см. рис. 2) свидетельствуют о том, что более подходящей является ступенчатая модель.

В связи с тем, что в результате приведения к многолетнему периоду продолжительность большинства рядов составила 120—130 лет, можно оценить средний вклад нестационарных моделей (Δ %) в разные периоды времени. Для этой цели задавались разное начало временных рядов: с 1900, 1920, 1940 и 1960 гг., но один и тот же год окончания наблюдений — 2016 г. Такая процедура позволяет оценить устойчивость показателей нестационарности во времени. Отдельно был задан вариант временных рядов с начала наблюдений только по 1960 г., для того чтобы оценить, имела ли место нестационарность в предыдущий период времени, до резкого повышения глобальной температуры во второй половине XX века. Результаты расчета средних для всех рядов показателей нестационарности для модели ступенчатых изменений приведены в табл. 1 в виде доли (%) нестационарных рядов (при $\Delta \geq 10$ %) по отношению к общему числу рассматриваемых рядов за каждый интервал времени. При этом жирным шрифтом выделены ситуации, когда доля нестационарных рядов возрастает при изменении года начала наблюдений от прошлого к настоящему.

Таблица 1

Число рядов с нестационарными моделями ступенчатых изменений
в долях (%) общего числа рядов при разном начальном годе наблюдений

Месяц	Начало рядов наблюдений				
	с 1900 г.	с 1920 г.	с 1940 г.	с 1960 г.	до 1960 г.
Январь	0	11,6	2	4,9	0
Февраль	1,7	0	0	4,9	5,1
Март	8,5	37,3	50,8	77	3,4
Апрель	30,8	38,5	42,3	45,9	3,8
Май	32,8	50,9	50,8	73,8	6,7
Июнь	59,5	60	71,7	72,1	13,6
Июль	50	39,5	45,5	65,6	4,7
Август	71,2	69,4	80	80,3	22,2
Сентябрь	74,4	75,5	77,6	77,1	18,4
Октябрь	36,4	36,4	42,6	63,9	10,6
Ноябрь	7,5	17,9	19	9,8	7,1
Декабрь	0	7,8	14,8	3,3	5,6

Анализ результатов, приведенных в табл. 1, позволяет сделать следующие выводы:

— число нестационарных моделей за холодный период (с ноября по февраль) мало и практически не зависит от заданной даты начала наблюдений;

— в месяцы теплого периода года доля нестационарных рядов, как правило, увеличивается при смещении заданной даты начала наблюдений из прошлого к настоящему и достигает максимума в случае, если за начальный год наблюдений принимается 1960 г.; это свидетельствует о том, что наибольшие изменения произошли во второй половине XX века;

— доля нестационарных моделей достигает 70—80 % с мая по сентябрь при рассмотрении отрезка временного ряда с 1960 г., т.е. нестационарность в теплые месяцы года имеет место для большинства рядов;

— есть месяцы, в которые доля нестационарных рядов постепенно и существенно увеличивается при смещении даты начала наблюдений к настоящему времени (апрель, май, июнь, июль), а в другие месяцы число нестационарных рядов практически не зависит от начальной даты (август, сентябрь);

— для периода наблюдений до 1960 г. доля нестационарных моделей очень мала и в теплые месяцы года (максимум до 18—22 % в августе и сентябре), что подтверждает вывод о проявлении нестационарности средних значений температуры воздуха только во второй половине — последней трети XX века.

Очевидно, что средние показатели нестационарности для такой большой территории не позволяют определить области, где эта нестационарность проявляется в большей или меньше степени, поэтому дальнейшее исследование было направлено на построение пространственных распределений показателей нестационарности и выявление таких нестационарных областей.

Пространственные распределения нестационарности и их устойчивость

Далее рассмотрим вопрос о том, где же на рассматриваемой территории Центральной Азии наблюдаются нестационарные модели временных рядов и какова эволюция областей нестационарности во времени. Для этой цели были построены пространственные интерполяционные модели показателей нестационарности Δ (%) за май — месяц, в который процент нестационарности постепенно и существенно увеличивается во времени. На рис. 4 приведено пространственное распределение показателей нестационарности для модели ступенчатых изменений температуры воздуха в мае при разных датах начала ряда наблюдений.

Из рассмотрения и сопоставления пространственных моделей следует, что размеры области нестационарности (желтые и коричневые) постепенно увеличиваются от прошлого к настоящему. Если рассматривать ряды наблюдений с конца XIX века, то области нестационарности выявляются только в отдельных центральных, юго-западных и северо-западных частях Ирана. Затем при смещении даты начала наблюдений к 1940 и 1960 гг. отдельные области нестационарности в Иране уже объединяются в одну большую область, занимающую всю территорию Ирана за исключением севера; кроме того, области нестационарности появляются на юге Туркменистана и на большей части Узбекистана. Фактически, как и в случае нестационарных рядов (см. табл. 1), они в последний период времени также занимают примерно 70 % всей территории.

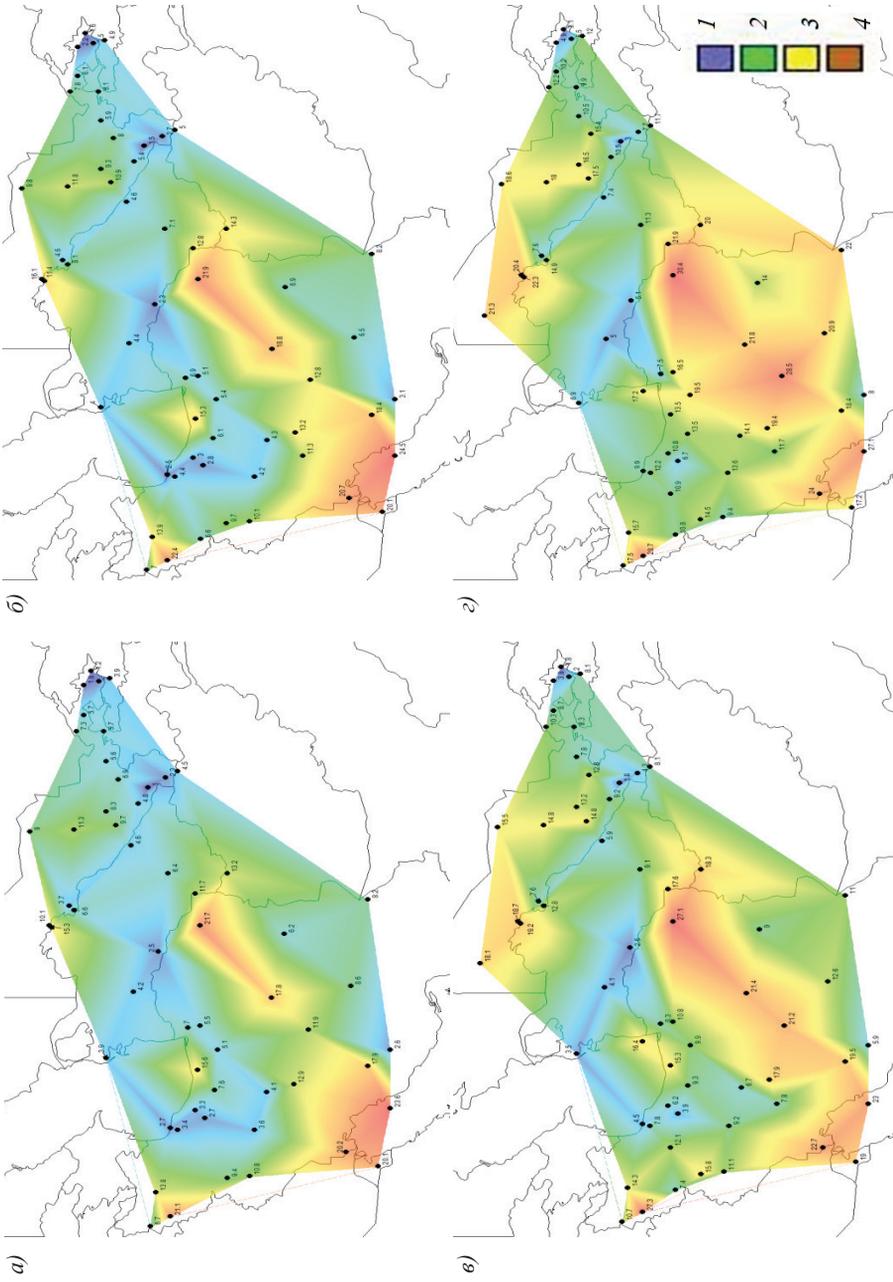


Рис. 4. Пространственное распределение показателей нестационарности модели ступенчатых изменений при разных датах начала рядов наблюдений.

a — с 1880 г.; *б* — с 1900 г.; *в* — с 1940 г.; *г* — с 1960 г.
1) $\Delta < 5\%$, *2*) $5-10\%$, *3*) $10-15\%$, *4*) $> 15\%$.

В целом анализ пространственных распределений показателей настационарности за разные месяцы за последний период времени (1960—2016 гг.) позволил выявить следующие закономерности:

— в марте общая площадь территории с нестационарными моделями составляет 60 % с максимумами во внутренних районах Ирана, пустынях Узбекистана и Туркменистана; области стационарных моделей расположены на востоке, в горных областях и вблизи Персидского залива;

— в апреле имеет место четкое разделение территории на две практически равные части: северная стационарная (Узбекистан и Туркменистан) и южная нестационарная (Иран);

— в мае (см. рис. 4) нестационарность занимает уже до 70 % территории и включает, помимо Ирана, пустынные области Узбекистана;

— в июне площадь с нестационарными моделями возрастает до 80 %; отдельные области стационарности отмечаются в южной части Узбекистана и в горах Туркменистана;

— в июле площадь, занятая нестационарными моделями, составляет 85 % всей территории — это весь Иран с максимумом в центре и на юге, большая часть Туркменистана и половина Узбекистана; стационарные модели имеют место в низменностях Узбекистана (кроме севера) и в горных областях;

— в августе нестационарной становится уже практически вся территория (95 %); отдельные стационарные модели имеют место на юге Узбекистана и на горной границе между Туркменистаном и Ираном;

— в сентябре нестационарность уменьшается и охватывает не более 80 % территории, а стационарные модели появляются в прибрежных районах Ирана у Каспия и Персидского залива;

— в октябре территория делится примерно пополам на северную стационарную часть и южную нестационарную;

— в месяцы холодного периода года (ноябрь — февраль) нестационарность проявляется только в ноябре и только на самом юге Ирана, а в остальные месяцы отсутствует.

Таким образом, пространственное распределение нестационарности имеет сезонный ход с отсутствием нестационарных моделей зимой и максимумом нестационарности в августе, когда нестационарные модели охватывают всю территорию. В месяцы переходного периода (апрель и октябрь) территория разделена примерно на две равные части: стационарную северную и нестационарную южную (Иран).

Оценка года ступенчатого повышения температуры воздуха и его устойчивости

В связи с тем, что повышение температуры воздуха в основном происходило после 1960-х годов и преобладающей является модель ступенчатого роста, интерес представляет вопрос о том, в каком году произошло это ступенчатое повышение температуры и какова устойчивость этой даты перехода от одних стационарных

условий к другим. Год ступенчатого перехода определялся итерациями при достижении минимального значения сумм квадратов отклонений двух частей временного ряда:

$$\sigma_1^2(n_1 - 1) + \sigma_2^2(n_2 - 1) = \min, \quad (2)$$

где σ_1^2 и σ_2^2 — дисперсии, а n_1 и n_2 — объем каждой из двух частей временного ряда.

При этом применяется *метод расширяющегося окна* [2, 3], в котором на первом шаге задается минимальный объем первой части ряда, например $n_1 = 10$, а $n_2 = n - 10$, и затем n_1 последовательно увеличивается на 1 до $n_1 = n - 10$, при котором $n_2 = 10$.

Данное исследование было проведено для месяцев теплого периода года (с марта по октябрь), для которых доля нестационарных рядов достаточно велика. Прежде всего были построены гистограммы дат ступенчатого перехода для всех рядов и только для рядов с эффективной моделью ступенчатых изменений ($\Delta \geq 10\%$) для последнего периода наблюдений с 1960 г. (рис. 5). Из гистограмм, представленных на рис. 5 следует, что распределения лет ступенчатого повышения температуры воздуха, полученные как по всем рядам, так и только по рядам с эффективной моделью ступенчатых изменений, практически не различаются и имеют одинаковые максимумы. Для разных месяцев годы ступенчатого повышения температуры воздуха получились не всегда одними и теми же.

Так, в апреле первый основной период ступенчатого повышения температуры воздуха приходится на 1970—1975 гг., когда суммарная вероятность даты перехода равна 52 % для эффективных или 64 % для всех моделей. Второй период перехода для небольшой части остальных рядов (13—17 %) приходится на 1997—1998 гг., и станции, связанные с ним, располагаются в горах на юго-востоке Ирана, южном побережье Каспия, юге Туркменистана и юго-востоке Узбекистана. Поэтому можно сделать вывод о том, что горные районы в апреле позднее отреагировали на потепление климата.

В мае наблюдается всего один преобладающий период: 1999—2006 гг. (66 % для эффективных и 74 % для всех моделей). Аналогичный один преобладающий период имеет место и в июне 1997—2006 гг. (73—74 %). Поэтому можно считать, что для мая и июня резкое повышение температуры воздуха наблюдалось в конце 1990-х — начале 2000-х годов.

Для июля же, как и для апреля, преобладающим периодом ступенчатого перехода является начало — середина 1970-х годов (1971—1975 гг.), когда суммарная вероятность составила 56—62 %, а отдельные станции с переходом в конце 1990-х — начале 2000-х годов относятся к горным районам. Для августа, сентября и октября период ступенчатого перехода снова смещается на 1990—2000-е годы.

В августе два максимума вероятности относятся к 1994 и 1998 гг., а суммарная вероятность за период 1994—1998 гг. составляет 69 %. Отдельные станции с переходом в 1970—1980-е годы находятся на территории Ирана. В сентябре и, особенно, в октябре максимум перехода еще более локализован во времени. Так, в октябре вероятность, равная 62 %, приходится на один 1997 г., а в предыдущий

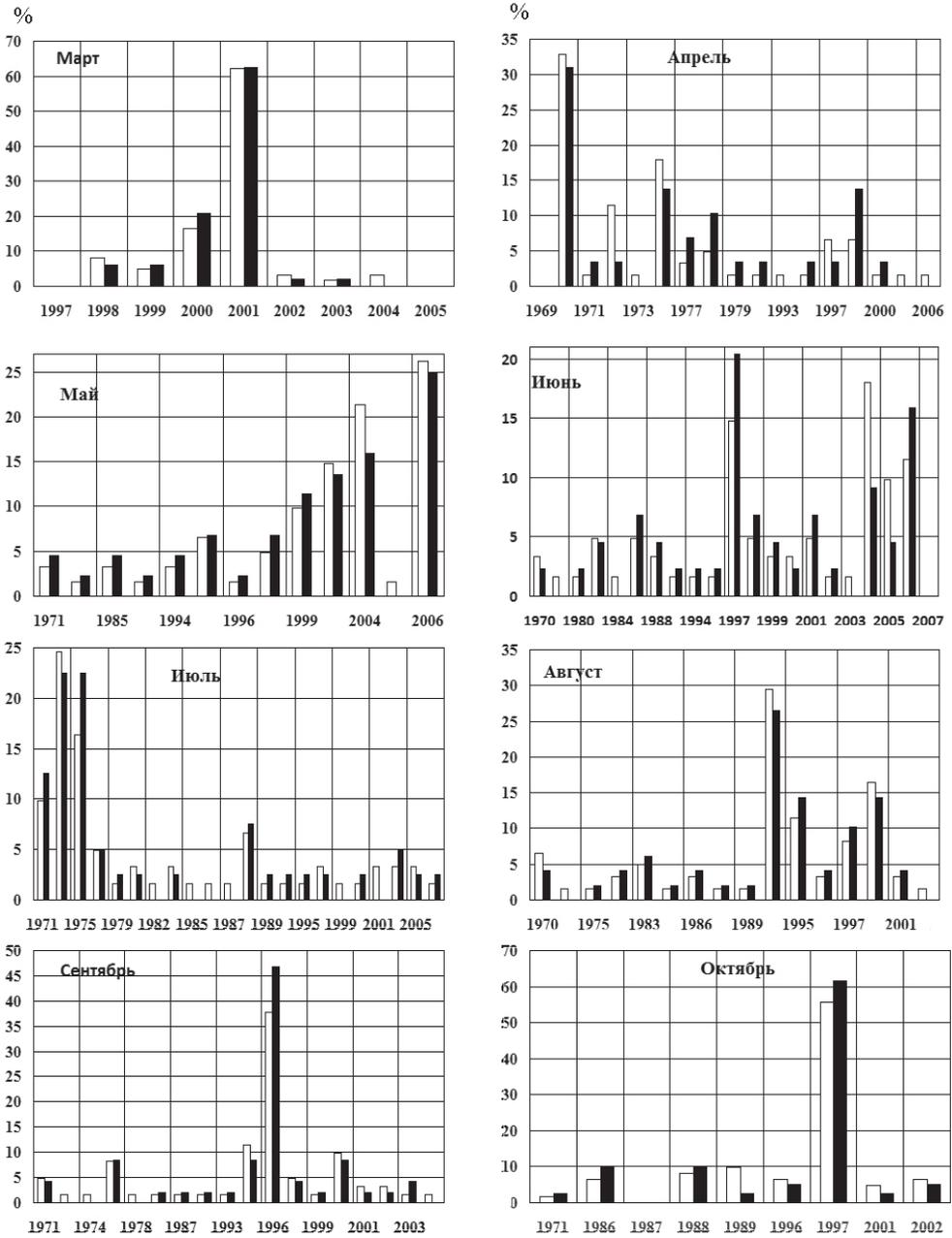


Рис. 5. Гистограммы распределения лет ступенчатого повышения температуры воздуха за март — октябрь.

Черные столбцы — только для эффективных моделей ступенчатых изменений;
 белые столбцы — для всех (эффективных и неэффективных) моделей данного месяца.

период 1986—1988 гг. суммарная вероятность составляет всего 20 %. В сентябре на 1996 г. приходится вероятность, равная 47 %, а на период с 1996 по 2000 г. — 66—70 %. Наибольшая повторяемость (62,5 %) отмечается в 2001 г. для марта, и сама гистограмма в этом месяце является наиболее узкой, так как включает период с 1998 по 2004 г. Аналогичная узкая гистограмма имеет место и для октября; при этом повторяемость для 1997 г. составляет 61,5 %.

Общий вывод, который следует из оценки вероятности периода ступенчатого повышения температуры воздуха, состоит в том, что в апреле и июле он приходится на 1970-е годы, а в другие месяцы теплого периода — на 1990—2000-е годы.

Также было проведено исследование по оценке устойчивости даты ступенчатого перехода в зависимости от продолжительности моделируемого ряда для эффективных нестационарных моделей. Начало временных рядов было последовательно задано с 1900, 1920, 1940 и 1960 гг. Для самого нестационарного месяца — августа — из 49 рядов данных наблюдений с эффективной нестационарной моделью ($\Delta \geq 10\%$) неустойчивость оценки даты ступенчатого повышения температуры имеет место только в шести случаях, а для остальных 43 рядов (88 %) дата перехода не зависит от длины ряда. Из шести случаев неустойчивости определения года ступенчатых изменений в двух случаях даты различаются не более чем на два года, а для метеостанции Табас (Иран) возможны две альтернативные даты перехода: 1970 и 1994 гг. В целом же можно сделать вывод об устойчивости определения года ступенчатых изменений, который практически не зависит от продолжительности ряда данных наблюдений.

Повышение температуры воздуха и его пространственное распределение в современный период

На заключительном этапе исследования была дана количественная оценка ступенчатого повышения нормы температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) в различные месяцы по рассматриваемой территории. Для этой цели были определены средние значения (климатические нормы) до и после даты ступенчатого перехода, и полученные значения разности между средними второй и первой частей ряда $\Delta T_{\text{ср}}$ ($^{\circ}\text{C}$), которые для эффективных нестационарных моделей всегда были положительными, картировались. Примеры пространственного распределения повышения средней температуры воздуха (нормы) для месяцев с наиболее нестационарной температурой (март 77 %, май 73,8 %, август 80,3 %, сентябрь 77,1 %) приведены на рис. 6.

Проведенный анализ пространственных распределений $\Delta T_{\text{ср}}$ за разные месяцы (с марта по октябрь) позволил выявить следующие закономерности:

— в марте наибольший прирост норм (до 3,4—3,9 $^{\circ}\text{C}$) наблюдался на северо-западе Узбекистана, а на территории Ирана и Туркменистана составил в среднем 2,1 $^{\circ}\text{C}$, причем в прибрежных районах (Каспий, Персидский залив) — от 0,7 до 2,3 $^{\circ}\text{C}$, а во внутренних и пустынных районах — от 1,4 до 3,1 $^{\circ}\text{C}$;

— в апреле повышение нормы температуры было меньше: от 0,6—0,8 $^{\circ}\text{C}$ в прибрежных районах и в Узбекистане до 2,5—2,7 $^{\circ}\text{C}$ во внутренних областях Ирана — и в среднем по территории составило 1,5 $^{\circ}\text{C}$;

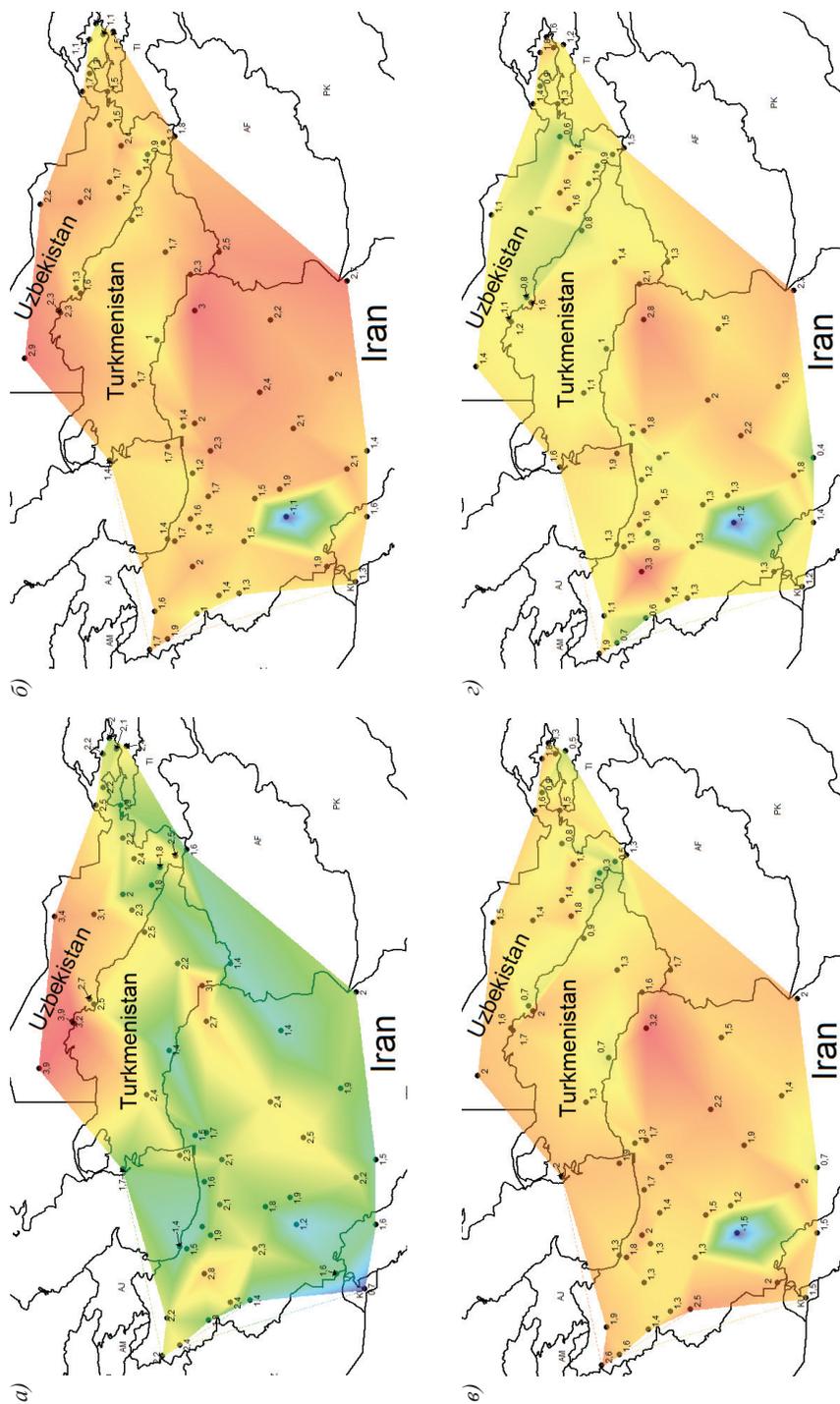


Рис. 6. Пространственное распределение повышения нормы температуры $\Delta T_{ср}$ (°C) в марте (а), мае (б), августе (в) и сентябре (г).

— в мае среднее повышение нормы температуры было равно $1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ с предельными значениями до $2,9\text{—}3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ во внутренних областях Ирана и на северо-востоке Узбекистана; кроме того, в районе Персидского залива выделяется станция 40798 Shahre-Kord с понижением нормы температуры на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$;

— в июне среднее по территории повышение нормы температуры составило $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, причем в западной ее части (Иран) было выше (до $2,8\text{—}3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$), чем в восточной (до $2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ на западе Туркменистана и до $1,5\text{—}1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ на северо-западе Узбекистана, причем минимальное повышение — в среднем менее $0,7\text{—}0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ — имело место на юго-востоке Узбекистана);

— в июле среднее по территории повышение нормы температуры составило $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, причем максимальное повышение уменьшилось до $2,0\text{—}2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, и есть обширные области (юг Узбекистана и Туркменистана, южный Каспий), где изменение нормы температуры практически незначимо и даже отрицательно при $\Delta T_{\text{ср}}$ менее $0,7\text{—}0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$;

— в августе среднее по территории повышение нормы температуры несколько возросло и составило $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ с максимумами до $2,5\text{—}3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ во внутренних областях Ирана и с вариациями от $0,8$ до $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ на остальной территории; кроме того, отмечалось понижение нормы на станции Shahre-Kord на $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$;

— в сентябре среднее по территории значение прироста нормы температуры составляет $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, а максимумы — практически такие же, как и в августе (см. рис. 3), равны $2,8\text{—}3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$; аномальное понижение нормы температуры (на $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$) отмечалось также на станции Shahre-Kord;

— в октябре повышение нормы температуры в среднем по территории составило $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ с хорошо выраженным максимумом во внутренних районах Ирана и на юго-западе Туркменистана (от $1,7$ до $2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$) и с изменениями от $0,5$ до $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ на остальной территории.

За исключением марта со средним приростом нормы температуры на $2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ и в основном в 2001 г., в остальные месяцы прирост был практически равен $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ с максимумом во внутренних областях Ирана и с минимумом в прибрежных районах. Анализ данных на метеостанции 40798 Shahre-Kord с аномальными результатами — понижением нормы температуры — показал, что фактические наблюдения на этой станции короткие и с пропусками (1971—1980, 1991—2016 гг.), поэтому результаты моделирования в основном по восстановленным данным являются ненадежными.

Заключение

Выполненное исследование позволяет сформулировать следующие основные выводы.

1. Современные изменения климата на рассматриваемой территории проявляются в месяцы теплого периода года (с марта по ноябрь) в виде ступенчатого повышения температуры воздуха — в большинстве случаев в конце 1990-х — начале 2000-х годов.

2. Оценка устойчивости вида моделей временных рядов данных показала, что доля нестационарных моделей увеличивается от прошлого к настоящему и

современное повышение температуры воздуха имеет достаточно устойчивую дату перехода, которая несколько варьирует по территории в зависимости от локальных особенностей (горы, равнины, пустыня).

3. Ступенчатое повышение температуры в среднем равно 1,5 °С в месяцы теплого периода года (за исключением марта, когда оно составляет 2,1 °С) с максимумом во внутренних областях Ирана и с минимумом в прибрежных районах.

Список литературы

1. Анисимов О.А., Лобанов В.А., Ренева С.А. Анализ изменений температуры воздуха на территории России и эмпирический прогноз на первую четверть 21 века // Метеорология и гидрология. 2007. № 11. С. 90—101.
2. Дроздов О.А., Васильев В.А., Кобышева Н.В., Раевский А.Н., Сmealова Л.К., Школьный Е.П. Климатология. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 568 с.
3. Лобанов В.А., Шадурский А.Е. Применение эмпирико-статистических методов для моделирования и анализа климатических изменений // Ученые записки РГГМУ. 2010. № 14. С. 73—88.
4. Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е. Практикум по климатологии. Часть 1 / Учебное пособие. СПб, 2011. 144 с.
5. Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е. Практикум по климатологии. Часть 2 / Учебное пособие. СПб, 2012. 141 с.
6. Лобанов В.А., Тоцакова Г.Г. Проявление современных изменений климата на территории Костромской области. Кострома, 2013. 171 с.
7. Лобанов В.А., Шадурский А.Е. Выделение зон климатического риска на территории России при современном изменении климата. СПб: изд-во РГГМУ, 2013. 123 с.
8. Лобанов В.А., Шукри О.А.А. Оценка климатических изменений температуры воздуха и осадков на Аравийском полуострове // Ученые записки РГГМУ. 2014. № 37. С. 72—83.
9. Кириллина К.С., Лобанов В.А. Оценка современных климатических изменений температуры воздуха на территории республики Саха (Якутия) // Ученые записки РГГМУ. 2015. № 38. С. 137—151.
10. Лобанов В.А., Тоцакова Г.Г. Особенности и причины современных климатических изменений в России // Географический вестник (Пермский университет). 2016. № 3 (38). С. 79—89.
11. Лобанов В.А. Лекции по климатологии. Ч. 2. Динамика климата. Кн.1. СПб: изд-во РГГМУ, 2016. 332 с.
12. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. СПб: изд-во РГГМУ, 2008. 408 с.
13. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33-101-2003. М.: Госстрой России, 2004. 73 с.
14. Туркменистан. Обзор деятельности по борьбе с изменением климата [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://infoclimate.org/wp-content/uploads/2014/04/Turkmenistan_Climate_Change_Profile
15. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change). 2013. The physical science basis. In *Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Thomas F. Stocker, Dahe Qin, Gian-Kasper Plattner, Melinda M.B. Tignor, Simon K. Allen, Judith Boschung, Alexander Nauels, Yu Xia, Vincent Bex, Pauline M. Midgley (eds). Cambridge: Cambridge University Press. 1552 p.
16. http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/data_portal.html Официальный сайт пятой фазы проекта по сравнению взаимосвязанных моделей Всемирной программы по изучению климата. Раздел «Доступ к данным».
17. <http://climexp.knmi.nl/selectstation.cgi?someone> Официальный сайт базы данных Королевского метеорологического института Нидерландов.