

В.А. Лобанов, Шукри Омар Абдулхаким Али

**ОЦЕНКА КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И
ОСАДКОВ НА АРАВИЙСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ**

V.A. Lobanov, O.A. Shukri

**ASSESSMENT OF CLIMATE CHANGE IN AIR TEMPERATURE AND
PRECIPITATION IN THE ARABIAN PENINSULA**

В статье дается оценка эффективности нестационарных моделей линейного тренда и ступенчатых изменений для среднемесячных температур воздуха и месячных сумм осадков на территории Аравийского п-ва и осуществлено пространственное обобщение отклонений от стационарности для каждого месяца.

Ключевые слова: многолетние ряды наблюдений, среднемесячная температура воздуха и осадки, Аравийский п-в, климатические изменения, стационарные и нестационарные модели, пространственные обобщения.

Assessment of efficiency of non-stationary models of linear trend and step changes for average monthly air temperature and monthly precipitation are given on the Arabian Peninsula and spatial generalization of deviations from the stationary model for each month have been implemented.

Key words: long-term time series of observations, monthly air temperature and precipitations, Arabian Peninsula, climate changes, stationary and non-stationary models, spatial generalizations.

Как показано в выполненном ранее исследовании [10], климатические сценарии дают неоднозначную оценку будущей климатической ситуации на Аравийском п-ве и в большинстве своем данные моделирования недостаточно тесно связаны с наблюдаемыми данными за совместный период. Поэтому главная цель оценки климатических изменений была направлена на анализ существующих данных наблюдений за температурой воздуха и осадками. Для этой цели, прежде всего, были решены следующие задачи:

- сформирована база данных рядов наблюдений за температурой воздуха и осадками [3] как на Аравийском п-ве, так и на окружающих близлежащих территориях, включающая 188 метеостанций с наблюдениями за температурой воздуха (из них 36 метеостанций на Аравийском п-ве) и 310 метеостанций с наблюдениями за осадками (из них 43 на Аравийском п-ве);
- осуществлен анализ однородности и качества данных как в пунктах наблюдений на Аравийском п-ве, так в пунктах с продолжительными наблюдениями (более 40 лет) на территории сопредельных государств [4, 9];
- выполнено восстановление пропусков наблюдений и осуществлено приведение непродолжительных рядов к многолетнему периоду в пунктах наблюдений на Аравийском п-ве на основе рядов-аналогов как на самом полуострове, так и в соседних странах в пунктах с наиболее продолжительными наблюдениями [4];

- осуществлен анализ однородности полученных многолетних рядов, включающих как наблюдаемые, так и восстановленные данные в пунктах на Аравийском п-ве и выбрана информация для многолетнего моделирования временных рядов [4].

Расположение пунктов наблюдений на территории Аравийского п-ва за температурой воздуха показано на рис. 1а, за осадками — на рис. 1б.

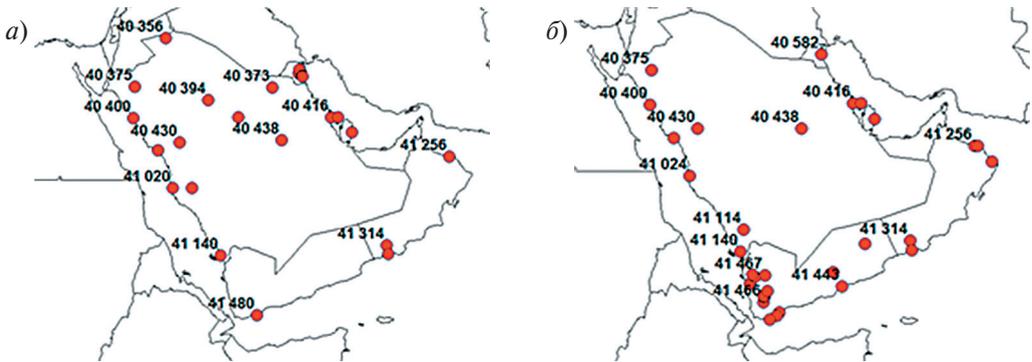


Рис. 1. Расположение пунктов наблюдений за температурой воздуха (а) и осадками (б) на Аравийском п-ве

В качестве моделей временных рядов рассматривались следующие [5, 6]:

- модель стационарной выборки;
- нестационарная модель монотонных изменений в виде тренда;
- нестационарная модель ступенчатых изменений, характеризующих переходы от одного стационарного состояния к другому.

Непосредственно само моделирование временных рядов включало три основные стадии:

- расчет параметров моделей;
- оценка эффективности нестационарных моделей по отношению к стационарной;
- оценка статистической значимости нестационарных моделей по отношению к стационарной.

Параметрами стационарной модели являются среднее значение (Y_{cp}) и среднеквадратическое отклонение (σ), определяемые по ряду наблюдений.

Модель ступенчатых изменений аналогична двум (или нескольким) стационарным моделям для двух (или нескольких) частей временного ряда, что характеризуется неизменностью во времени среднего значения и среднего квадратического отклонения для каждой части ряда:

$$\begin{aligned} Y_{\text{дп}} &= \text{const1}, & Y_{\text{2cp}} &= \text{const2}, \\ \sigma_1 &= \text{const1}, & \sigma_2 &= \text{const2}. \end{aligned} \quad (1)$$

Момент ступенчатых изменений (t_n) определяется визуально или на основе дополнительной информации о факторе и дате нарушения стационарности (например, изменение индекса атмосферной циркуляции), а также может быть определен итерациями при достижении минимального значения суммы квадратов отклонений от среднего значения для каждой из двух частей временного ряда:

$$SS = \sum_1^{n_1} (Y_i - Y_{1cp})^2 + \sum_{n_1+1}^n (Y_i - Y_{2cp})^2 = \min, \quad (2)$$

где n_1, n_2 — объемы каждой из двух частей временного ряда; SS — общая сумма квадратов отклонений.

Стандартное отклонение остатков ступенчатой модели для одной ступени и двух стационарных интервалов определяется по формуле:

$$\sigma_{\text{ступ}} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2 n_1 + \sigma_2^2 n_2}{(n_1 + n_2 - 1)}}, \quad (3)$$

где $\sigma_{\text{ступ}}$ — стандартное отклонение остатков модели ступенчатых изменений; σ_1, σ_2 — стандартные отклонения стационарных отрезков временного ряда; n_1, n_2 — объемы стационарных отрезков.

Модель линейного тренда выражается следующим уравнением [2]:

$$Y(t) = b_1 t + b_0, \quad (4)$$

где t — время; b_1, b_0 — коэффициенты уравнения регрессии, определяемые методом наименьших квадратов (МНК):

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{cp})(t_i - t_{cp})}{\sum_{i=1}^n (t_i - t_{cp})^2}, \quad (5)$$

$$b_0 = Y_{cp} - b_1 t_{cp}. \quad (6)$$

Статистическая значимость модели линейного тренда оценивается по статистической значимости коэффициента b_1 или коэффициента корреляции R зависимости (4), который рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{cp})(t_i - t_{cp})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{cp})^2 \sum_{i=1}^n (t_i - t_{cp})^2}}. \quad (7)$$

Статистическая значимость R определяется из условия $R \geq R^*$, где R^* — критическое значение коэффициента корреляции, определяемые при заданном числе степеней свободы (ν) и уровне значимости (α). где $\nu = n - 2$, n — объем ряда, $\alpha = 5\%$ [2].

Для модели линейного тренда стандартное отклонение остатков вычисляется по формуле:

$$\sigma_\varepsilon = \sigma_y \sqrt{1 - R^2}, \quad (8)$$

где σ_y — стандартное отклонение исходного ряда (модель стационарного среднего); σ_ε — стандартное отклонение остатков относительно модели линейного тренда; R — коэффициент корреляции уравнения линейного тренда.

Для количественной оценки отличий модели тренда и модели ступенчатых изменений от модели стационарного среднего рассчитываются относительные отклонения по формулам:

$$\Delta_{\text{тр}} = \left(\frac{\sigma_y - \sigma_\varepsilon}{\sigma_y} \right) 100\%, \quad (9)$$

$$\Delta_{\text{ступ}} = \left(\frac{\sigma_y - \sigma_{\text{ступ}}}{\sigma_y} \right) 100\%, \quad (10)$$

где $\Delta_{\text{тр}}$, $\Delta_{\text{ступ}}$ — относительные отклонения или отличия (в %) модели тренда и модели ступенчатых изменений от модели стационарной выборки; σ_y , σ_ε , $\sigma_{\text{ступ}}$ — стандартные отклонения остатков соответственно моделей случайной выборки, линейного тренда и ступенчатых изменений.

В первом приближении можно считать, что если относительное отклонение превышает 10 %, то нестационарная модель является эффективнее стационарной. Однако правильнее, когда это отличие от стационарности является не только существенным, но еще и статистически значимым. Для оценки статистической значимости монотонных (трендовых) и ступенчатых изменений во временных рядах был применен критерий Фишера, показывающий, насколько статистически значимо отличаются остаточные дисперсии выбранных моделей от дисперсии временного ряда (стационарной модели). Статистики критерия Фишера [1, 8] для каждой из двух конкурирующих моделей по отношению к модели стационарной выборки вычисляются по формулам:

$$F_{\text{тр}} = \frac{\sigma_y^2}{\sigma_\varepsilon^2}, \quad (11)$$

$$F_{\text{ступ}} = \frac{\sigma_y^2}{\sigma_{\text{ступ}}^2}. \quad (12)$$

В числителе всегда будет дисперсия исходного ряда наблюдений, так как она является наибольшей или, по крайней мере, равна остаточной дисперсии конкурирующей

модели. В случае если расчетное значение статистики Фишера оказывается больше критического, дисперсии двух моделей имеют статистически значимое различие и соответствующая модель (тренда или ступенчатых изменений) статистически эффективнее, чем модель стационарной выборки.

Параметры моделей временных рядов и характеристики их эффективности были рассчитаны для всех пунктов наблюдений за температурой воздуха и осадками на Аравийском п-ве и для каждого месяца. Пример результатов для температуры января и для станций с установленной эффективной нестационарной моделью приведен в табл. 1, где $F_{ст}$, $Sf_{ст}$ — статистики критериев Фишера и Стьюдента для оценки стационарности дисперсий и средних значений двух частей временного ряда, полученных по дате ступенчатых изменений ($T_{ступ}$); $T_{нач}$, $T_{кон}$ — годы начала и окончания наблюдений; N — период наблюдений (в годах); $R_{тр}$ — коэффициент корреляции уравнения линейного тренда.

Таблица 1

**Эффективные нестационарные модели и их характеристики
(температура воздуха января, Аравийский п-в)**

Код ВМО	$\Delta_{тр}\%$	$\Delta_{ступ}\%$	$F_{тр}$	$F_{ступ}$	$F_{ст}$	$Sf_{ст}$	$T_{ступ}$	$T_{нач}$	$T_{кон}$	N	$R_{тр}$
41256	12,4	15,1	1,3	1,39	2,82	2,97	1944	1930	2011	81	0,48
41316	14,7	14	1,37	1,35	3,27	4,42	1914	1881	2011	130	0,52
41480	18,6	23	1,51	1,69	5,8	5,87	1926	1881	2011	130	0,58

В связи с тем, что нестационарность могла быть обусловлена погрешностями в восстановленных данных, временные ряды с выявленной нестационарностью подвергались более детальному анализу на предмет выявления причин этой нестационарности. Так, для станции с индексом 41256 было установлено, что данные до 1971 г. являются восстановленными и поэтому было осуществлено дополнительное моделирование временного ряда, состоящего только из наблюдаемых данных за период с 1971 по 2011 г. Аналогичным образом, для рядов с индексами 41316 и 41480 также было повторено моделирование только на основе наблюдаемых данных. Новые результаты по этим пунктам приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Пересчитанные характеристики моделей временных рядов
(температура воздуха января, Аравийский п-в)**

Код ВМО	$\Delta_{тр}\%$	$\Delta_{ступ}\%$	$F_{тр}$	$F_{ступ}$	$F_{ст}$	$Sf_{ст}$	$T_{ступ}$	$T_{нач}$	$T_{кон}$	N	$R_{тр}$
41256	4,2	7,8	1,09	1,18	2,06	2,13	1990	1972	2011	40	0,29
41316	7,7	11,2	1,17	1,27	1,46	3,47	1977	1944	2011	68	0,38
41480	1,3	3,4	1,03	1,07	1,21	2,22	1976	1927	2009	83	0,16

Как следует по данным табл. 2, из трех рядов с эффективными нестационарными моделям после исключения восстановленных данных остался только один ряд на

станции 41316. Результаты моделирования также показали, что из нестационарных моделей наиболее эффективной является модель ступенчатых изменений со средним значением $\Delta_{\text{ступ}} = 3,3\%$ по сравнению с моделью линейного тренда, где среднее отличие от нестационарности составляет $\Delta_{\text{тр}} = 1,2\%$. Поэтому для построения пространственной интерполяционной модели отличий от стационарности [7, 8] использованы данные по $\Delta_{\text{ступ}}$. Полученная пространственная модель $\Delta_{\text{ступ}}$ для среднемесячной температуры января на Аравийском полуострове показана на рис. 2, где рядом с пунктами наблюдений приведены численные значения $\Delta_{\text{ступ}}$ в %. На рис. 2 видно, что области с нестационарными моделями на территории Аравийского п-ва практически отсутствуют.

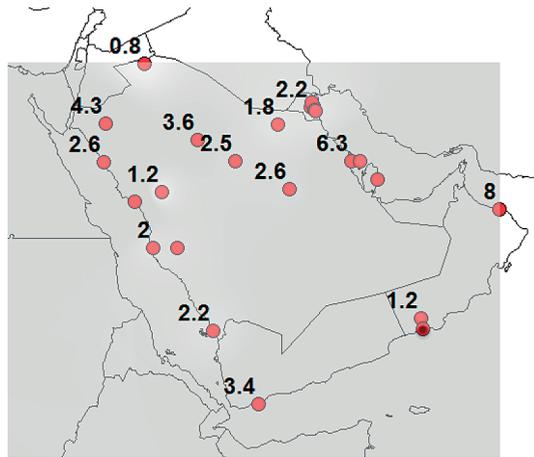


Рис. 2. Пространственная модель отличий от нестационарности $\Delta_{\text{ступ}}$ в % для среднемесячной температуры января

Аналогичным образом было осуществлено моделирование временных рядов среднемесячной температуры воздуха и для других месяцев. Также, если была установлена нестационарность, то оценивалась ее устойчивость путем исключения восстановленных данных, экстремумов, данных первой части ряда до 1950–1960-х гг. В результате получены следующие нестационарные модели температуры воздуха для остальных месяцев, которые приведены в табл. 3.

Как следует из данных табл. 3, в зимние месяцы нестационарные модели практически отсутствуют, а их наибольшее число имеет место в июле и августе и составляет до 40–45 % от всех случаев. При этом, среднее $\Delta_{\text{ступ}}$ по территории для мая 12,5 %, для июня 10,5 %, для июля 15,2 %, для августа 18,0 % и для сентября 10,6 %. В сравнении с этим для зимних месяцев: $\Delta_{\text{ступ}} = 4,8\%$ для декабря, $\Delta_{\text{ступ}} = 3,3\%$ для января и $\Delta_{\text{ступ}} = 4,2\%$ для февраля. Практически во всех случаях нестационарность обусловлена ступенчатым ростом температуры и в большинстве случаев эта дата относится к 1980–1990 гг. Примеры некоторых нестационарных рядов приведены на рис. 3, из графиков которого следует, что ступенчатый рост температуры имеет место, начиная с середины 1980-х гг. Модель линейного тренда менее эффективна, чем ступенчатых

изменений и средние значения $\Delta_{\text{тр}}\%$ за теплое полугодие составляют: 9,6 % — для мая, 6,9 % для июня, 11,4 % для июля, 12,5 % для августа и 7,7 % для сентября.

Таблица 3

**Эффективные нестационарные модели и их характеристики
(температура воздуха, Аравийский п-в)**

Код ВМО	$\Delta_{\text{тр}}\%$	$\Delta_{\text{ступ}}\%$	$F_{\text{тр}}$	$F_{\text{ступ}}$	$F_{\text{ст}}$	$Sf_{\text{ст}}$	$T_{\text{ступ}}$	$T_{\text{нач}}$	$T_{\text{кон}}$	N	$R_{\text{тр}}$
март											
41316	16,6	19,6	1,44	1,55	3,95	4,27	1985	1941	2011	60	0,55
апрель											
40405	7	10,5	1,16	1,25	1,29	5,07	1999	1901	2011	111	0,37
40438	10	13,3	1,24	1,33	1,4	4,41	1999	1938	2011	71	0,44
40439	13,7	12,6	1,34	1,31	1,38	3,09	1978	1967	2011	45	0,5
41316	29,9	26,4	2,03	1,84	3,1	5,45	1984	1937	2010	71	0,71
май											
40373	13,3	17,3	1,33	1,46	1,6	5,79	1995	1902	2011	94	0,5
40394	19,9	17,8	1,56	1,48	1,91	4,54	1987	1902	2011	65	0,6
40438	25,2	25,2	1,79	1,79	2,4	4,85	1973	1923	2011	79	0,66
40439	6	15,2	1,13	1,39	1,7	4,13	1987	1944	2010	63	0,34
40580	14,7	14	1,37	1,35	1,43	6,12	1994	1888	2011	121	0,52
40581	13,3	11,7	1,33	1,28	2,24	4,19	1920	1888	2011	121	0,5
40582	10,9	15,3	1,26	1,39	1,39	5,96	1985	1900	2011	110	0,45
40583	14,1	16	1,36	1,42	1,64	6,61	1987	1888	2011	121	0,51
41020	6	10,9	1,13	1,26	1,76	4,51	1996	1937	2010	71	0,34
41140	5,9	18,9	1,13	1,52	2,14	-4,57	1963	1911	2011	93	-0,34
41150	23	19,3	1,69	1,53	2,29	7,54	1975	1878	2011	133	0,64
41170	19	22,3	1,52	1,66	2,07	6,72	1975	1900	2011	111	0,59
41314	14,2	16,1	1,36	1,42	1,99	4,73	1948	1906	2010	94	0,51
июнь											
40356	11	17,7	1,26	1,48	2,83	3,59	1989	1962	2011	50	0,46
40394	14,3	22,7	1,36	1,67	1,69	4,43	1995	1962	2011	50	0,52
40405	25,6	30,4	1,81	2,07	2,61	5,28	1996	1962	2011	50	0,67
40438	18,6	24,3	1,51	1,75	2,16	5,91	1994	1941	2011	71	0,58
40439	14,2	13,1	1,36	1,32	1,49	3,2	1994	1967	2011	45	0,51
40582	0,7	10,4	1,01	1,24	4,28	-2,32	1925	1901	2011	108	0,12
41150	20,1	19,2	1,57	1,53	1,58	6,96	1995	1902	2011	110	0,6
июль											
40356	13,3	16,6	1,33	1,44	1,84	4,47	1996	1951	2011	61	0,5

Код ВМО	$\Delta_{тр}\%$	$\Delta_{ступ}\%$	$F_{тр}$	$F_{ступ}$	$F_{ст}$	$St_{ст}$	$T_{ступ}$	$T_{нач}$	$T_{кон}$	N	$R_{тр}$
40373	13	15,6	1,32	1,4	2,36	4,58	1996	1952	2011	60	0,49
40375	5,3	10,1	1,11	1,24	1,01	4,37	1996	1923	2011	89	0,32
40400	8,1	23,7	1,18	1,72	1,74	5,25	1995	1951	2011	61	0,39
40405	17,8	23,8	1,48	1,72	2,39	4,63	1996	1962	2011	50	0,57
40416	2	12,4	1,04	1,3	1,3	3,87	1996	1949	2010	62	0,2
40430	13,1	12,9	1,32	1,32	2,53	3,69	1986	1951	2011	61	0,49
40438	30,4	26,6	2,07	1,86	8,09	4,82	1978	1941	2011	71	0,72
40439	15,4	25,2	1,4	1,79	2,24	5,65	1995	1950	2011	62	0,53
40581	16,2	28,4	1,42	1,95	5,06	5,08	1987	1951	2011	61	0,55
40582	37,4	35,5	2,55	2,4	9,9	4,57	1980	1951	2011	61	0,78
41020	12,4	12,4	1,3	1,3	1,69	3,85	1994	1952	2005	53	0,48
41150	22,3	31,5	1,66	2,13	2,58	7,32	1996	1939	2011	73	0,63
41170	33,3	31,1	2,25	2,1	3,15	5,33	1997	1962	2011	49	0,75
август											
40373	26,5	31,7	1,85	2,15	3,84	4,7	1985	1954	2010	57	0,68
40375	3	16,3	1,06	1,43	1,69	4,61	1998	1951	2010	60	0,24
40394	13,9	23,2	1,35	1,69	2,06	5,44	1998	1951	2010	60	0,51
40405	18,6	30,6	1,51	2,08	2,49	6,61	1998	1951	2010	60	0,58
40416	0,3	14	1,01	1,35	5,68	-2,33	1967	1949	2010	62	-0,08
40430	24,1	25,7	1,74	1,81	2,55	6,42	1995	1941	2010	70	0,65
40438	41,7	30,7	2,95	2,08	3,42	5,73	1985	1938	2010	67	0,81
40439	29,3	29,6	2	2,02	2,42	6,4	1995	1947	2010	64	0,71
40580	14,4	24,6	1,37	1,76	4,2	4,48	1988	1957	2010	54	0,52
40582	33,4	38	2,25	2,6	3,95	6,23	1995	1958	2010	53	0,75
40583	10,6	33,5	1,25	2,26	2,54	6,73	1998	1951	2010	58	0,45
41036	20,2	24	1,57	1,73	4,05	4,2	1983	1951	2010	60	0,6
41140	15,1	15,8	1,39	1,41	1,27	2,83	1961	1906	2009	62	0,53
41150	2,8	18	1,06	1,49	1,68	4,72	1998	1951	2010	60	0,24
41170	27,5	20,6	1,91	1,59	2,31	3,81	1979	1962	2009	46	0,69
сентябрь											
40394	15,6	14,3	1,4	1,36	2,59	3,13	1965	1951	2010	59	0,54
40405	0,1	10,2	1	1,24	7,93	2	1915	1904	2010	105	0,04
40430	13,5	16,4	1,34	1,43	1,73	3,73	1996	1963	2010	48	0,5
40438	39,4	28,3	2,73	1,94	4,47	5,56	1965	1941	2010	70	0,8
40439	28,1	39,6	1,93	2,75	9,22	4,72	1979	1931	2010	62	0,69
40581	10,9	12,4	1,26	1,3	2,93	3,35	1972	1941	2003	63	0,45
41140	13,3	14,7	1,33	1,37	1,13	3,38	1995	1965	2010	46	0,5

Код ВМО	$\Delta_{тр}\%$	$\Delta_{ступ}\%$	$F_{тр}$	$F_{ступ}$	$F_{ст}$	$Sf_{ст}$	$T_{ступ}$	$T_{нач}$	$T_{кон}$	N	$R_{тр}$
41314	9,1	13,7	1,21	1,34	1,56	3,57	1987	1953	2010	58	0,42
октябрь											
40373	4	10,8	1,09	1,26	1,17	3,11	1986	1952	2009	56	0,28
40430	10,3	12,9	1,24	1,32	1,13	3,31	1986	1956	2010	55	0,44
40438	21,9	22,9	1,64	1,68	1,71	4,99	1985	1941	2010	68	0,62
40439	38,8	34,7	2,67	2,35	4,28	4,1	1986	1961	2010	50	0,79
41036	7,5	10,9	1,17	1,26	2,14	3,3	1985	1951	2010	58	0,38
41170	15	17,4	1,38	1,47	1,58	3,86	1995	1963	2010	46	0,53
41316	22,3	22	1,66	1,65	2,8	5,09	1985	1943	2008	66	0,63
ноябрь											
41036	16,5	19	1,43	1,52	3,69	4,23	1987	1952	2010	59	0,55
41140	7	10,7	1,16	1,25	1,89	3,48	1999	1961	2010	50	0,37
41314	7,6	12,4	1,17	1,3	1,33	3,35	1993	1961	2010	50	0,38
40480	12	22,7	1,29	1,67	1,14	4,58	1986	1942	2006	122	0,48

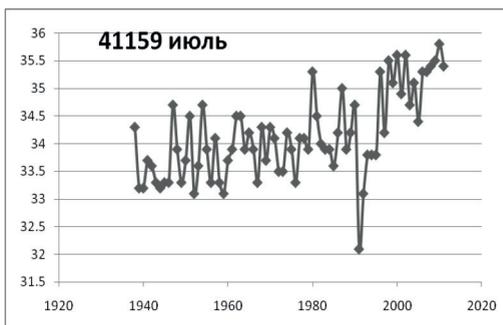
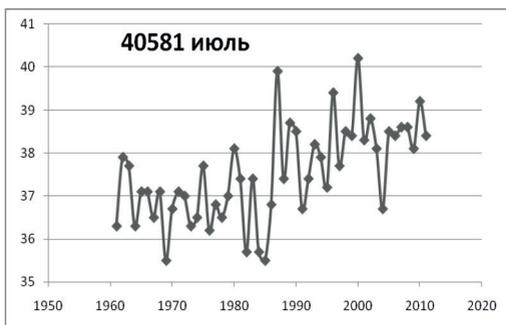
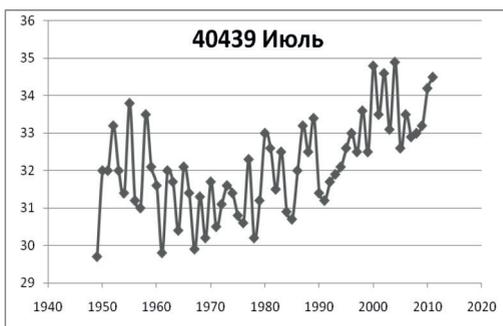
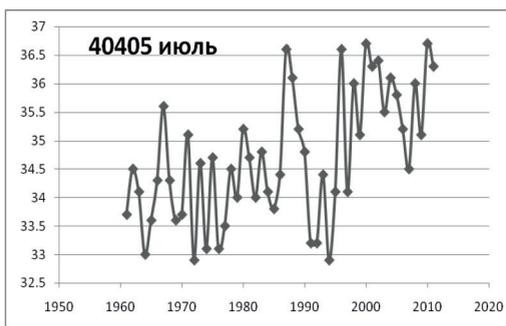


Рис. 3. Примеры нестационарных рядов среднемесячных температур воздуха на станциях Аравийского п-ва

На рис. 4 приведены пространственные распределения отклонений $\Delta_{\text{ступ}}$ для температуры июля и августа, имеющей наибольшее отличие от стационарной модели, где территория эффективной нестационарной модели при $\Delta_{\text{ступ}} > 10\%$ представлена темным цветом.

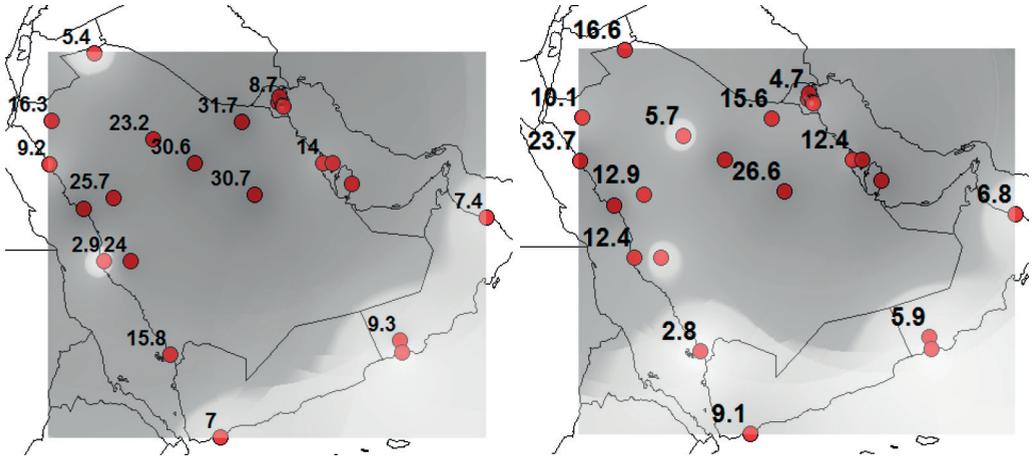


Рис. 4. Пространственная модель отличий от нестационарности $\Delta_{\text{ступ}}$ в % для среднемесячной температуры июля и августа

Как следует из рис. 4, нестационарные модели преобладают практически на всей территории Аравийского п-ва, за исключением его южной части, что особенно проявляется для температур августа. В целом же по остальным месяцам можно сделать следующие выводы: в марте нестационарность проявляется в отдельных станциях на юге; в апреле — на юге и в центре полуострова; в мае — практически на всем полуострове, за исключением его западной части; в июне — стационарными остаются только юг и юго-запад; в сентябре стационарность переходит на восточную часть полуострова, в октябре дополнительно стационарным становится и юго-запад; в ноябре стационарность проявляется уже на большей части полуострова, за исключением отдельных областей юга и запада; в декабре, январе и феврале нестационарные модели на полуострове отсутствуют.

Для многолетних рядов сумм месячных осадков были проведены аналогичные исследования. После корректировки результатов с учетом восстановления, исключения отдельных экстремумов осадков на фоне их малых значений были получены следующие обобщенные показатели нестационарных моделей, приведенные в табл. 4.

Как следует из табл. 4, средние территориальные отклонения от стационарной модели очень малы и варьируют от 4,5 % до 7,7 % для модели ступенчатых изменений и от 1,8 % до 3,6 % для модели линейного тренда. Число нестационарных рядов также мало и изменяется от 0 до 4 для модели ступенчатых изменений и от 0 до 2 для модели линейного тренда, что в процентном отношении дает до 12 % и до 7 % от общего числа рядов соответственно для модели ступенчатых изменений и линейного тренда.

Поэтому пространственное распределение нестационарных рядов отсутствует, а нестационарность проявляется на отдельных станциях, расположенных в прибрежных районах юга и запада полуострова.

Таблица 4

Средние территориальные значения $\Delta_{\text{ступ}}$ и $\Delta_{\text{тр}}$ (в %) и процент эффективных нестационарных моделей (%н) для сумм месячных осадков на Аравийском п-ве

Показатель	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\Delta_{\text{ступ}}$	7,7	5,2	5,1	4,5	5,6	4,8	4,7	6,8	5,0	5,6	5,7	5,0
%н	12,5	5,7	7,7	0	0	12,5	3,4	10,7	5,9	11,8	5,5	0
$\Delta_{\text{тр}}$	3,2	3,6	2,8	2,3	2,4	1,8	1,9	3,5	2,2	2,5	2,7	2,0
%н	6,2	5,9	3,8	0	0	4,2	0	7,7	6,7	0	0	0

Основные выводы из выполненного исследования состоят в том, что нестационарность имеет место в рядах среднемесячных температур летнего полугодия и характеризуется ступенчатым подъемом температуры в конце 1980-х — середине 1990-х гг. Для этого периода года практически вся территория Аравийского п-ва представлена нестационарными моделями, а стационарность имеет место только на юге. Ряды среднемесячных температур зимнего сезона являются практически стационарными. Многолетние ряды сумм месячных осадков также являются стационарными, за исключением отдельных станций на южном и западном побережьях полуострова.

Литература

1. *Закс Л.* Статистическое оценивание. — М.: Статистика, 1976. — 598 с.
Zaks L. Statistisches otsenivanie. — M.: Statistika, 1976. — 598 s.
2. *Дрейпер Н., Смит Г.* Прикладной регрессионный анализ. — М.: Статистика, 1973. — 392 с.
Dreyper N., Smit G. Prikladnoy regressionnyy analiz. — M.: Statistika, 1973. — 392 s.
3. Информация о многолетних рядах среднемесячной температуры воздуха и сумм осадков за месяц. // KNMI, The Royal Netherlands Meteorological Institute. — Амстердам, Нидерланды, 2010. — Электронный ресурс: [http://www.knmi.nl/about_knmi/].
Informatsiya o mnogoletnikh ryadakh srednemesyachnoy temperatury vozdukhа i summ osadkov za mesyats. // KNMI, The Royal Netherlands Meteorological Institute. — Amsterdam, Niderlandy, 2010. — Elektronnyy resurs: [http://www.knmi.nl/about_knmi/].
4. *Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е.* Практикум по климатологии. Часть 1. Учебное пособие. — СПб., 2011. — 144 с.
Lobanov V.A., Smirnov I.A., Shadurskiy A.E. Praktikum po klimatologii. Chast' 1. Uchebnoe posobie. — SPb., 2011. — 144 s.
5. *Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е.* Практикум по климатологии. Часть 2. Учебное пособие. — СПб., 2012. — 141 с.
Lobanov V.A., Smirnov I.A., Shadurskiy A.E. Praktikum po klimatologii. Chast' 2. Uchebnoe posobie. — SPb., 2012. — 141 s.
6. *Лобанов В.А., Тошчакова Г.Г.* Проявление современных изменений климата на территории Костромской области. Монография. — Кострома: ФГБУ «Костромской центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», 2013. — 171 с.
Lobanov V.A., Toshchakova G.G. Proyavlenie sovremennykh izmeneniy klimata na territorii Kostromskoy oblasti.

- Monografiya. — Kostroma: FGBU «Kostromskoy tsentr po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchey sredy», 2013. — 171 s.
7. *Лобанов В.А., Шадурский А.Е.* Выделение зон климатического риска на территории России при современном изменении климата. Монография. — СПб.: РГГМУ, 2013. — 123 с.
Lobanov V.A., Shadurskiy A.E. Vydelenie zon klimaticheskogo riska na territorii Rossii pri sovremennom izmenenii klimata. Monografiya. — SPb.: RGGMU, 2013. — 123 s.
 8. *Малинин В.Н.* Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. — СПб.: РГГМУ, 2008. — 408 с.
Malinin V.N. Statisticheskie metody analiza gidrometeorologicheskoy informatsii. — SPb.: RGGMU, 2008. — 408 s.
 9. Рекомендации по статистическим методам анализа однородности пространственно-временных колебаний речного стока. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 78 с.
Rekomendatsii po statisticheskim metodam analiza odnorodnosti prostranstvenno-vremennykh kolebaniy rechnogo stoka. — L.: Hidrometeoizdat, 1984. — 78 s.
 10. *Шукри Омар А.* Климатические сценарии и их применимость для оценки будущих изменений климата на Аравийском полуострове. // Ученые записки РГГМУ, 2013, № 29, с. 110–124.
Shukri Omar A. Klimaticheskie stsenarii i ikh primenimost' dlya otsenki budushchikh izmeneniy klimata na Araviyskom poluostrove. // Uchenye zapiski RGGMU, 2013, № 29, s. 110–124.