

Шукри Омар Абдулхаким Али

КЛИМАТИЧЕСКИЕ СЦЕНАРИИ И ИХ ПРИМЕНИМОСТЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ БУДУЩИХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА АРАВИЙСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ

O.A. Shukri

CLIMATE SCENARIOS AND THEIR APPLICABILITY TO THE EVALUATION OF FUTURE CLIMATE CHANGE IN THE ARABIAN PENINSULA

В статье обосновывается необходимость установить насколько надежно климатические сценарии отображают существующий климат и, тем самым, насколько обосновано их применение для оценки будущего климата на Аравийском полуострове.

Ключевые слова: изменения климата, Аравийский полуостров, сценарии климата, среднемесячная температура, данные наблюдений и моделирования, сравнение данных, сценарии температуры до конца XXI века.

The necessity to establish how reliable climate scenarios show the current climate and, thus, how justified their use to evaluate future climate in the Arabian Peninsula.

Keywords: climate change, the Arabian Peninsula, the scenarios of climate, the average temperature, observations and modeling, data comparison, scenarios of temperature by the end of XXI century.

Основным инструментом для оценки будущего климата являются физико-математические модели общей циркуляции атмосферы и океана с включением в них биологических, химических и других блоков [1, 4]. В связи с тем, что такие модели созданы или создаются в разных странах и разными учеными, необходимо было выбрать наилучшие из них.. Для этой цели в 1990 г. был создан международный проект по сравнению моделей климата AMIP (Atmospheric Model Intercomparison Project) в рамках которого проводится целенаправленное сравнение глобальных моделей общей циркуляции атмосферы (Global Atmospheric General Circulation Models – AGCMs), разработанных различными группами исследователей в различных странах мира, как между собой, так и с данными наблюдений [6]. Это дает возможность исследовать систематические погрешности в воспроизведении современного климата и оценить диапазон возможных его изменений, обусловленных различными воздействиями, например, антропогенными.

В 2005-2006 гг. рабочая группа по совместным моделям между атмосферой и океаном (Working Group on Coupled Modelling – WGCM) в рамках AMIP начала собирать результаты климатического моделирования ведущих научных центров по всему миру. Собранные в виде архивов результаты моделирования прошлого, настоящего и будущего климата сформировали третью фазу проекта по сравнению взаимосвязанных моделей (Coupled Model Intercomparison Project – CMIP3) [5]. В частности, WGCM организовала эту деятельность для того, чтобы специалисты за пределами крупных центров по климатическому моделированию могли использовать их результаты для

подготовки четвертого оценочного доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК или IPCC, 2007 г.).

В основном результаты моделирования предназначены для рабочей группы № 1 МГЭИК, деятельность которой направлена на изучение физических основ климатической системы (атмосферы, суши, океана и морских льдов) и выборе переменных, которые отражают компоненты этой системы и должны быть заархивированы. Эта коллекция результатов моделирования получила название «Мультимодельные наборы данных проекта СМIP3 Всемирной программы исследований климата» или «WCRP СМIP3 multi-model dataset». Она представляет собой всеобъемлющий архив большого набора данных по климату двадцатого и двадцать первого столетий и других экспериментов, что практически полностью изменяет способ анализа результатов климатического моделирования для исследователей, студентов и всех тех, кто интересуется проблемой современного изменения климата.

В список моделей, по которым выполняются численные эксперименты в настоящее время входят следующие [9]:

1. Модель пекинского климатического центра, Китай (Beijing Climate Centre, China, BCC-CM1 Model).
2. Модель Бьеркнессовского центра климатических исследований, Норвегия (Bjerknes Centre for Climate Research, Norway, BCM2.0 Model).
3. Модель канадского центра моделирования и анализа климата с разрешением T47 (Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis, CGCM3.1 Model, T47 resolution).
4. Модель канадского центра моделирования и анализа климата с разрешением T63 (Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis, CGCM3.1 Model, T63 resolution).
5. Японская модель MIROC3.2 с высоким разрешением (CCSR/NIES/FRCGC, Japan, MIROC3.2, high resolution).
6. Японская модель MIROC3.2 со средним разрешением (CCSR/NIES/FRCGC, Japan, MIROC3.2, medium resolution).
7. Модель центра атмосферных исследований Австралии версии Mk3.0 (CSIRO Atmospheric Research, Australia, Mk3.0 Model).
8. Модель центра атмосферных исследований Австралии версии Mk3.5 (CSIRO Atmospheric Research, Australia, Mk3.5 Model).
9. Модель HadCM3 Хэдли центра прогноза климата, Великобритания (Hadley Centre for Climate Prediction, Met Office, UK, HadCM3 Model).
10. Модель HadGEM1 Хэдли центра прогноза климата, Великобритания (Hadley Centre for Climate Prediction, Met Office, UK, HadGEM1 Model).
11. Модель национального института геофизики и вулканологии Италии (INGV, National Centre of Geophysics and Volcanology, Italy, ECHAM 4.6 Model).
12. Модель института численной математики, Россия (Institute for Numerical Mathematics, Russia, INMCM3.0 Model).
13. Французская модель CM4 V1 (IPSL/LMD/LSCE, France, CM4 V1).
14. Модель института атмосферной физики, Китай (LASG, Institute of Atmospheric Physics, China, FGOALS1.0_g Model).

15. Модель института Макса Планка, Германия (Max Planck Institute for Meteorology, Germany, ECHAM5 / MPI OM).
16. Модель центра метеорологических национальных исследований, Франция (Meteo-France, Centre National de Recherches Meteorologiques, CM3 Model).
17. Модель метеорологического института боннского университета, Германия (Meteorological Institute of the University of Bonn, ECHO-G Model).
18. Модель института метеорологических исследований, Япония (Meteorological Research Institute, Japan, CGCM2.3.2a).
19. Модель C4x3 НАСА (NASA Goddard Institute for Space Studies, C4x3).
20. Модель Американского Космического Агентства E20/НУСКОМ, США (NASA Goddard Institute for Space Studies, Model E20/НУСКОМ).
21. Модель Американского Космического Агентства E20/Russell, США (NASA Goddard Institute for Space Studies, Model E20/Russell).
22. Модель национального центра атмосферных исследований CCSM3.0, США (National Center for Atmospheric Research, CCSM3.0).
23. Модель национального центра атмосферных исследований PCM1, США (National Center for Atmospheric Research, PCM1).
24. Модель CM2.0 геофизической лаборатории динамики жидкости Национального управления океанических и атмосферных исследований, США (NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, CM2.0 Model).
25. Модель CM2.1 геофизической лаборатории динамики жидкости Национального управления океанических и атмосферных исследований, США (NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, CM2.1 Model).

Для расчета по каждой из модели были заданы следующие численные эксперименты [9, 10, 11, 12].

1. Эксперимент по увеличению CO_2 на 1 % в год (до удвоения).
2. Эксперимент по увеличению CO_2 на 1 % в год (до увеличения концентрации в 4 раза).
3. Равновесный эксперимент по удвоению CO_2 .
4. Эксперимент по стабилизации CO_2 на уровне 550 ppm. В нем применяется сценарий B1 и условия концентрации конца XX века. Расчет осуществляется до 2100 г., после чего концентрация CO_2 фиксируется на уровне 550 ppm и моделирование продолжается до 2200 г.
5. Эксперимент по стабилизации CO_2 на уровне 720 ppm. В нем применяется сценарий A1B и условия концентрации конца XX века. Расчет осуществляется до 2100 г., после чего концентрация CO_2 фиксируется на уровне 720 ppm и моделирование продолжается до 2200 г.
6. АМIP-эксперимент, который применяется для диагностических исследований при реалистических значениях атмосферных компонент, полей температуры поверхности океана и площади морских льдов.
7. Эксперимент по климату XX столетия. Осуществляется моделирование климата XX столетия с антропогенными и природными воздействиями от доиндустриального периода с соответствующей концентрацией CO_2 до конца XX столетия.

8. Совершенный эксперимент по изменению климата, в котором моделирование осуществляется при задании начальных условий конца XX столетия.
9. Доиндустриальный контрольный эксперимент. Является поверочным для всех экспериментов, в которых осуществляются расчеты, начиная с доиндустриального периода.
10. Современный контрольный эксперимент. Применяется в качестве контрольного для экспериментов по увеличению CO_2 на 1 % в год до увеличения концентрации в 2 и 4 раза.
11. Эксперимент по сценарию A2, в котором в качестве начальных для моделирования по сценарию A2 задаются условия конца XX столетия.
12. Контрольный эксперимент для нединамического океана. Является поверочным для равновесного эксперимента по удвоению CO_2 .

Число климатических переменных и параметров, которые являются результатами моделирования, приближается к 100. Часто рассматриваются результаты численных экспериментов не по одной модели, а по их ансамблю. Пример полученных результатов моделирования среднегодовой температуры по ансамблю моделей для территории Аравийского полуострова показан на Рис.1 [3] .

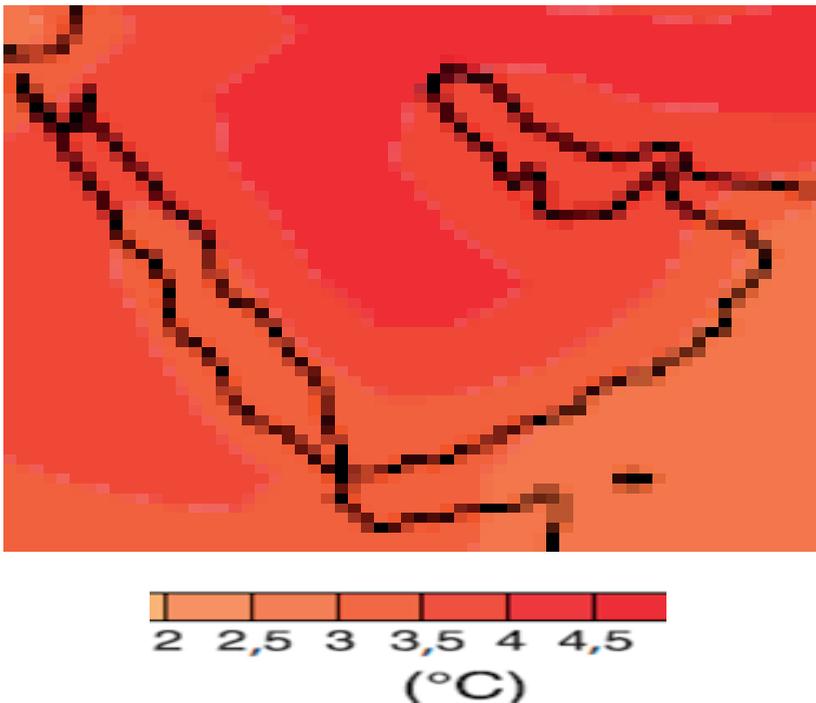


Рис. 1. Проекция изменений приземной температуры на конец XXI столетия (2090-2099 гг.). На карте показана усредненная проекция нескольких моделей МОЦАО для сценария A1B СДСВ. Все температуры показаны по отношению к периоду 1980-1999 гг.

Как следует из рис.1, к концу XXI столетия на территории Аравийского полуострова ожидается увеличение среднегодовой температура от 2 °С до 4 °С, причем наибольшее увеличение (до 4,5 °С) будет иметь место в центральной пустынной части полуострова, где достаточно жарко и сегодня.

Результаты моделирования зимних и летних осадков по ансамблю моделей для сценария А1В приведены на Рис.2 [7]. Из анализа рисунков следует, что к концу XXI века зимние осадки с большой достоверностью уменьшатся в северной части Аравийского полуострова на 10-20 % и несколько вырастут (до 10-15 %) на самом юге полуострова в районе Йемена. Летние же осадки останутся практически неизменными.

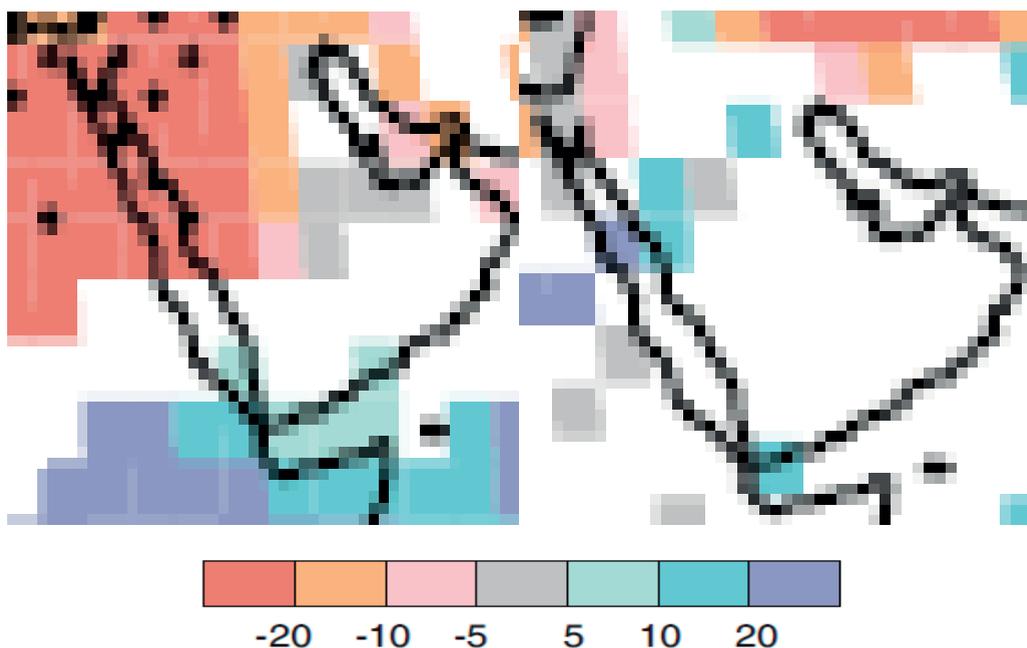


Рис. 2. Относительные изменения количества осадков (в процентах) за период 2090-2099 гг. по сравнению с 1980-1999 гг. Значения представляют собой мульти модельные средние величины, основанные на сценарии А1В СДСВ за период декабрь-февраль (слева) и июнь-август (справа). Белые участки – это места, где менее 66% моделей дают одинаковый знак изменения а пунктирные части (точки в ячейках сетки) – это места, где более 90 % моделей дают одинаковый знак изменения.

Конечно, не во всех моделях были реализованы все перечисленные сценарии и не весь полный набор климатических переменных представлен. Кроме того, необходимо оценить какая модель является наиболее эффективной для воспроизведения климата непосредственно на Аравийском полуострове. Поэтому целью настоящей статьи является установить насколько надежно климатические сценарии отображают существующий климат и, тем самым, насколько обосновано их применение для оценки будущего климата на Аравийском полуострове.

В качестве климатической характеристики рассматривается среднемесячная температура воздуха. Из всего набора моделей климата выбраны несколько, которые дают предельные и средние изменения глобальной приземной температуры воздуха при удвоении CO_2 . В таблице 1 приведены значения изменения глобальной температуры ΔT , полученные при удвоении CO_2 по разным моделям.

Таблица 1

Увеличение глобальной температуры воздуха, полученное по моделям климата при сценарии удвоения CO_2

№	Модель	ΔT (К)
1	UKMO – HadGEM1, Великобритания	4.4
2	IPSL – CM 4, Франция	4.4
3	MIROC 3.2 (hires), Япония	4.3
4	MIROS 3.2 (medres), Япония	4.0
5	CGCM 3.1 (T63) Канада	3.4
6	ECHAMS /MPI-OM, Германия	3.4
7	CFDL – CM 2.1, США	3.4
8	UKMO – HadCM 3, Великобритания	3.3
9	ECHO – G, Германия/Корея	3.2
10	MRI – CGCM 2.3.2, Япония	3.2
11	CSIPO – Mk 3.0, Австралия	3.1
12	GFDL – CM 2.0, США	2.9
13	CCM 3, США	2.7
14	GISS – EN, США	2.7
15	GISS – ER, США	2.7
16	INM – CM 3.0, Россия	2.1
17	PCM, США	2.1

Как следует из данных таблицы 1, изменения глобальной температуры варьируют от 2,1 К до 4,4 К, т.е. отличаются более, чем в 2 раза. Модели выбирались также еще и из условия, по ним имеются данные моделирования, которые приведены в Интернете. В результате были отобраны 4 модели.

- модель института вычислительной математики РАН, Россия (Institute for Numerical Mathematics, Russia, INMCM3.0 Model), которая дает наименьшее увеличение глобальной температуре при удвоении CO_2 , равное 2,1 К;
- модель HadGEM1 Хэдли центра прогноза климата, Великобритания (Hadley Centre for Climate Prediction, Met Office, UK, HadGEM1 Model), которая дает наибольшее увеличение глобальной температуре при удвоении CO_2 , равное 4,4 К;
- модель канадского центра моделирования и анализа климата с разрешением T63 (Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis, CGCM3.1 Model, T63

resolution), которая дает среднее увеличение глобальной температуре при удвоении CO_2 , равное 3,4 К.

Дополнительно была выбрана модель центра метеорологических национальных исследований, Франция (Meteo-France, Centre National de Recherches Meteorologiques, France, CM4 V1 Model), которая также дает наибольшее увеличение глобальной температуре при удвоении CO_2 , равное 4,4 К.

Для оценки будущих значений температуры воздуха выбраны также два основных сценария:

- эксперимент по увеличению CO_2 на 1 % в год до удвоения.
- эксперимент по увеличению CO_2 на 1 % в год до увеличения концентрации в 4 раза.

В первом сценарии моделируются среднемесячные температуры воздуха в течение 220 лет с начальным годом моделирования 1850 г. и окончанием моделирования – 2069 г. По второму сценарию моделируются среднемесячные температуры воздуха в течение 290 лет, из которых первые 150 лет представляют период до роста и последующие 140 лет после увеличения в 4 раза. В связи с тем, что начало инструментальных наблюдений относится к концу XIX века, то существует достаточно продолжительный совместный период за который имеют место и модельные данные и данные наблюдений на станциях для их сравнения.

Помимо моделей и сценариев была выбрана также территория исследования, которой является Аравийский полуостров, ограниченный по широте с севера 30° с.ш., с юга – 14° с.ш. и по долготе с запада – 35° в.д., с востока – 57° в.д. В связи с тем, что модели имеют разное разрешение, то для единообразия все моделированные данные были проинтерполированы в узлы регулярной сетки с размером ячейки $1^\circ \times 1^\circ$.

Прежде всего, было осуществлено сопоставление результатов моделирования с данными наблюдений за совместный период. Для этой цели выбраны 3 метеостанции в разных частях Аравийского полуострова [2]: метеостанция Иордания (30.17, 35.78,), находящаяся на севере, метеостанция Эр-Риад (24.72, 46.73) – в центре и метеостанция Аден (12.50, 44.50,) – на юге полуострова, которые имеют наиболее продолжительные ряды наблюдений (рис. 3). Средний коэффициент корреляции между среднемесячными температурами воздуха на метеостанциях Иордания и Эр-Риад равен $R = 0,72$, а средняя связанность между температурами в Эр-Риаде и Адене $R = 0,41$ и между данными в Иордании и Адене $R = 0,28$. Поэтому можно считать, что данные на станции Иордания отображают условия севера полуострова, на метеостанции Эр-Риад – пустынной центральной части и на метеостанции Аден – юга полуострова [8].

Периоды наблюдений на метеостанциях следующие:

- метеостанция Аден с 1881 по 2006 гг.;
- метеостанция Эр-Риад с 1941 по 2011 гг.;
- метеостанция Иордания с 1961 по 2011 гг.

Для каждой метеостанции выбраны ближайшие узлы регулярной сетки и вычислены коэффициенты корреляции между данными наблюдениями на станциях и данными

моделирования. Рассчитанные коэффициенты корреляции между наблюдаемыми и смоделированными данными приведены в табл. 2-4. Цифры в таблицах соответствуют следующим моделям:

1. Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis, CGCM3.1 Model, T63 resolution.
2. Hadley Centre for Climate Prediction, Met Office, UK, HadGEM1 Model.
3. Institute for Numerical Mathematics, Russia, INMCM3.0 Model.
4. IPSL/LMD/LSCE, France, CM4 V1 Model.

и следующим сценариям:

1. 1%/year CO₂ increase experiment (to doubling).
2. 1%/year CO₂ increase experiment (to quadrupling).

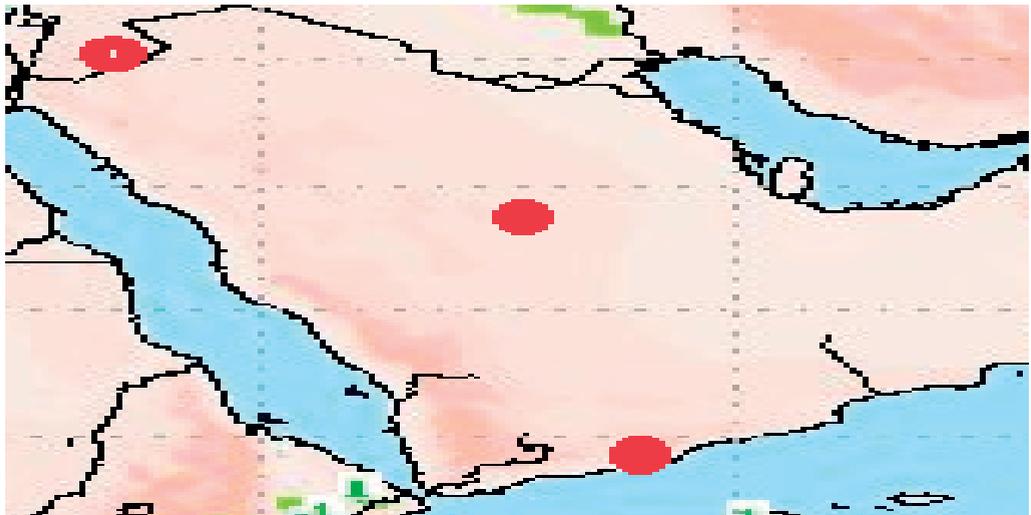


Рис. 3. Расположение трех выбранных метеостанций на территории Аравийского полуострове (с севера на юг: Иордания, Эр-Риад, Аден).

Таблица 2

Коэффициенты корреляции между наблюдаемой температурой на метеостанции Иордания и расчетной по моделям и сценариям за совместный период

Сценарий	Модель							
	1	2	3	4	1	2	3	4
	январь				февраль			
1	0,04	0,13	0,01	0,02	0,01	0,15	0,04	0,04
2	0,07	0,37	0,07	0,12	0,03	-	0,09	0,33
	март				апрель			
1	0,04	0,13	0,03	0,25	0,08	0,03	0,06	0,13
2	0,08	0,12	0,12	0,16	0,19	0,12	0,05	0,04
	май				июнь			
1	0,1	0,21	0,14	0,36	0,02	0,24	0,09	0,11
2	0,05	0,24	0,18	0,17	-	0,14	0,26	0,07
	июль				август			
1	0,05	0,13	0,04	0,21	0,1	0,03	0,12	0,06
2	0,43	-	0,23	0,38	0,15	0,28	0,16	0,14
	сентябрь				Октябрь			
1	0,08	0,10	0,02	0,04	0,01	0,35	0,14	0,07
2	0,13	0,25	0,14	0,19	0,21	0,15	0,02	0,11
	ноябрь				декабрь			
1	0,1	0,07	0,26	0,08	0,1	0,04	0,06	0,07
2	0,15	0,09	0,13	0,10	0,04	0,30	0,05	0,27

Совместный период для которого рассчитаны коэффициенты корреляции в табл. 2 составляет: для сценария 1: 1961-2011 гг. (модель 1), 1980-2011 гг. (модель 2), 1961-2011 гг. (модель 3), 1961-2011 гг. (модель 4) и для сценария 2: 1961-2011 гг. (модель 1,2), 1961-2011 гг. (модель 3), 1961-2011 гг. (модель 4).

Таблица 3

Коэффициенты корреляции между наблюдаемой температурой на метеостанции Эр-Рияд и расчетной по моделям и сценариям за совместный период

Сценарий	Модель							
	1	2	3	4	1	2	3	4
	январь				февраль			
1	0,07	0,30	0,12	0,03	0,1	0,08	0,08	0,22
2	0,11	0,12	0,06	0,10	0,13	0,20	0,12	0,17
	март				апрель			
1	0,10	0,45	0,10	0,05	0,04	0,15	0,03	0,11
2	0,02	0,26	0,03	0,22	0,11	0,25	0,30	0,03
	май				июнь			
1	0,25	0,01	0,26	0,06	0,14	0,23	0,10	0,16
2	0,50	0,36	0,31	0,51	0,50	0,36	0,24	0,37
	июль				август			
1	0,25	0,09	0,11	-	0,14	0,06	0,11	-
2	0,43	0,54	0,50	0,57	0,56	0,46	0,58	0,63
	сентябрь				октябрь			
1	0,30	0,22	0,05	-	0,09	0,45	0,19	0,01
2	0,69	0,51	0,39	0,51	0,28	0,25	0,36	0,23
	ноябрь				декабрь			
1	0,06	0,29	0,24	0,09	0,06	0,09	0,21	0,07
2	0,09	0,04	0,31	0,03	0,2	-	0,09	0,30

Совместный период для которого рассчитаны коэффициенты корреляции в табл. 3 составляет для сценария 1: 1941-2011 гг. (модель 1), 1980-2011 гг. (модель 2), 1941-2010 гг. (модель 3), 1941-2010 гг. (модель 4), для сценария 2: 1941-2010 гг. (модель 1), 1941-1999 (модель 2), 1941-2010 гг. (модель 3), 1941-2000 гг. (модель 4).

Коэффициенты корреляции между наблюдаемой температурой на метеостанции Аден и расчетной по моделям и сценариям за совместный период

Сценарий	Модель							
	1	2	3	4	1	2	3	4
	январь				февраль			
1	0,40	0,09	0,21	0,06	0,24	0,65	0,09	0,01
2	0,49	0,01	-	0,36	0,29	0,00	0,00	0,29
	март				апрель			
1	0,21	0,04	0,01	0,01	0,10	0,30	0,01	0,15
2	0,36	0,10	0,14	0,31	0,01	0,13	0,06	0,10
	май				июнь			
1	0,15	0,38	0,29	0,01	0,45	0,68	0,01	0,21
2	0,31	-	0,45	0,25	0,60	0,17	0,10	0,72
	июль				август			
1	0,01	0,32	0,11	0,34	0,27	0,21	0,01	0,39
2	0,42	0,51	0,22	0,59	0,34	0,47	0,44	0,60
	сентябрь				Октябрь			
1	0,12	0,39	0,01	0,22	0,01	0,17	0,12	0,01
2	0,27	0,45	0,24	0,50	0,26	0,00	0,28	0,13
	ноябрь				декабрь			
1	0,01	0,40	0,01	0,20	0,18	0,01	0,00	0,33
2	0,15	0,00	0,00	0,13	0,53	-	0,20	0,43

Совместный период для которого рассчитаны коэффициенты корреляции в табл. 4 составляет для сценария 1: 1881–2006 гг. (модель 1), 1980–2006 гг. (модель 2), 1941–2006 гг. (модель 3), 1931–2006 гг. (модель 4), для сценария 2: 1881–2006 гг. (модель 1,2), 1941–2006 гг. (модель 3), 1881–2000 гг. (модель 4).

В таблицах 2–4 ярким цветом выделены коэффициенты корреляции между наблюдаемыми и модельными данными при $R > 0,5$. Как следует из результатов, такие коэффициенты получены для двух станций Эр-Риад и Аден и только для отдельных месяцев, сценариев и моделей. Для обеих станций значения $R > 0,5$ наблюдаются только за месяцы теплого периода года с мая по сентябрь. Наибольшее значения коэффициента корреляции $R = 0,72$ имеет место для температуры июня при сценарии 2 и для модели центра метеорологических национальных исследований, Франции. В общем же можно сделать выводы, что для метеостанции Аден подходит модель 4 и сценарий 2 и только за период июнь–сентябрь. Для метеостанции Эр-Риад также больше всего подходит модель 4 и сценарий 2 и только за период май–сентябрь. Для метеостанции Иордания не подходит ни один сценарий и не одна модель.

Пример временных графиков среднемесячной температуры июня по данным наблюдений и моделирования для метеостанции Аден показан на рис. 4 при $R = 0,72$.

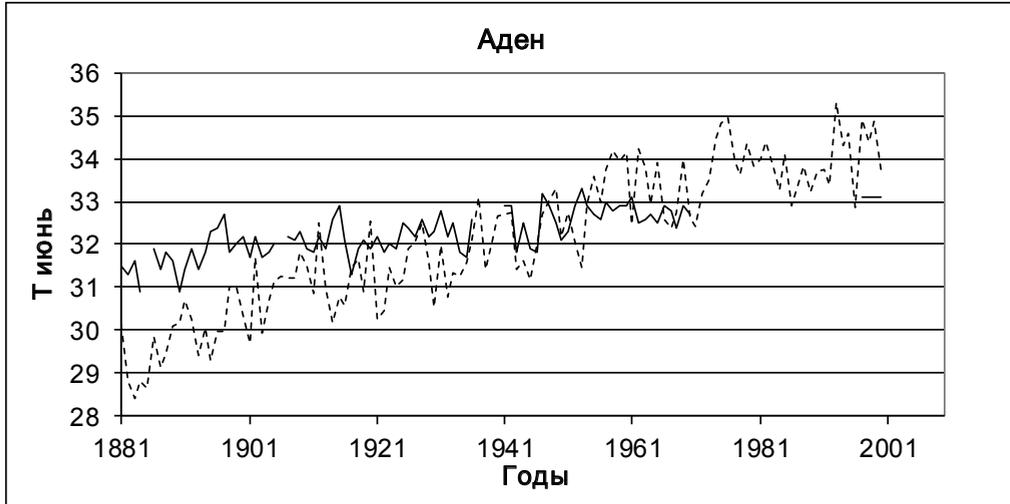


Рис. 4. Хронологические графики наблюдаемой (сплошная линия) и смоделированной (пунктирная линия) температуры июня по метеостанции Аден за период с 1881 по 2000 гг. для сценария 2 и модель центра метеорологических национальных исследований Франции.

Из рис. 4 видно, что имеет место систематическое отличие наблюдаемых температур и температур, полученных по модели за совместный период. Так до 1940-х годов данные моделирования были систематически меньше, чем наблюдаемые, а после 1960-х — больше. Эти систематические отличия за период наблюдений могут сказаться и в будущих температурах воздуха. Поэтому было проведено сравнение средних температур, как за весь период наблюдений, так и за период расчета климатической нормы, рекомендуемый ВМО (1961–1990 гг.). Результаты расчетов приведены в табл. 5.

Результаты табл. 5 свидетельствуют о том, что средние значения, полученные по моделям, как правило, систематически больше, чем по данным наблюдений. Причем наибольшие систематические различия, достигающие 4°C – 5°C и выше, имеют место в самые теплые месяцы года: июль–август. Также из сравнения средних следует, что отличие модельных и наблюдаемых данных на метеостанции Эр-Риад, больше, чем на метеостанции Аден, где оно не превышает $3,6^{\circ}\text{C}$. Также на этой метеостанции имеет место и некоторое превышение норм наблюдаемых температур по сравнению с смоделированными до $1,2^{\circ}\text{C}$ в мае и сентябре. Поэтому можно сделать вывод, что данные моделирования уже завышены по отношению к наблюдаемым данным при сравнении их норм за совместный период, причем до 2 – 5°C в зависимости от месяца и периода осреднения на метеостанции Эр-Риад и до 1 – 3°C — на метеостанции Аден. Это систематическое завышение следует учитывать и при оценке будущих температур.

**Климатические средние многолетние температуры воздуха,
полученных по данным моделирования и наблюдений (модель 4, сценарий 2)**

Среднее многолетнее	Месяцы				
	май	июнь	июль	август	сентябрь
Метеостанция Аден					
совместный период					
Наблюдения	30,8	32,2	31,4	30,7	31,3
Модель	29,6	31,6	33,1	32,6	30,2
период 1961-1990 гг.					
Наблюдения	30,4	32,7	31,5	31,5	32,2
Модель	32	33,6	35,1	34,8	32,4
Метеостанция Эр-Риад					
совместный период					
Наблюдения	31,1	34	34,9	34,7	31,8
Модель	33	38,2	40,1	38,9	35,2
период 1961-1990 гг.					
Наблюдения	31,1	34	34,9	34	31,8
Модель	32,8	38,4	40,3	39,2	35,4

После того, как выбрана наиболее подходящая модель и сценарий на основе сопоставления с данными наблюдений, можно оценить какие значения температур следует ожидать в будущем. Будущие оценки температуры были даны для двух метеостанций Аден и Эр-Риад на период с 2014 по 2100 г. для температур воздуха с мая по сентябрь по сценарию 2 и по модели 4 (центра метеорологических национальных исследований Франции). Пример будущей температуры июня по метеостанции Аден показан на рис. 5, из которого следует, что за XXI столетие следует ожидать небольшое увеличение температуры – около 0,5 °С.

Чтобы оценить динамику изменения будущих температур, весь период с 2014 по 2100 гг. был разделен на 3 интервала, продолжительностью примерно 30 лет каждый: 2014-2040гг., 2041-2070 гг. и 2071-2100 гг. Рассчитанные климатические нормы за каждый будущий период и рассматриваемые месяцы для метеостанций Аден и Эр-Риад приведены в табл. 6.

Из анализа динамики температур следует, что температура на метеостанции Аден в течение XXI века монотонно растет, но рост ее норм составляет всего 0,5 °С. По метеостанции Эр-Риад изменение норм еще меньше (до 0,1-0,2 °С). Поэтому можно считать, что нормы среднемесячных температур в течение XXI века, полученные по сценарию 2 (рост CO₂ на 1 % в год до увеличения концентрации в 4 раза) и модели центра метеорологических национальных исследований Франции следует ожидать практически стационарными.

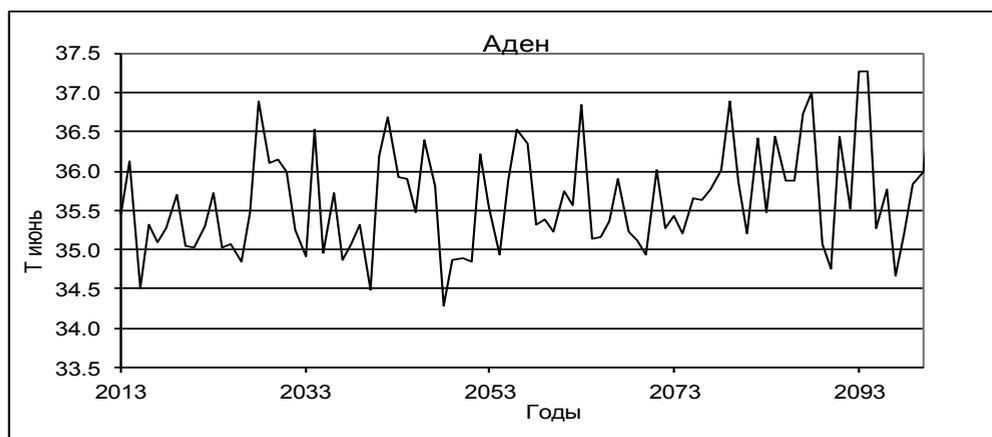


Рис. 5. Модельные значения температуры июня для метеостанции Аден по сценарию 2 и модели центра метеорологических национальных исследований Франции (2014-2100 гг.).

Таблица 6

Нормы среднемесячных температур воздуха по метеостанциям Аден и Эр-Риад и за будущие периоды до конца XXI столетия

Среднее многолетнее	Месяцы				
	май	июнь	июль	август	сентябрь
Метеостанция Аден					
2014-2040 гг.	33,4	35,4	36,8	36,4	33,7
2041-2070 гг.	33,7	35,6	37,1	36,5	34,2
2071-2100 гг.	33,9	35,9	37,3	36,9	34,6
Эр-Риад					
2014-2040 гг.	34,8	34,8	42,1	41	37,8
2041-2070 гг.	35	35	42,2	41,2	37,5
2071-2100 гг.	34,9	34,9	41,7	41,1	37,9

Из выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. По ансамблю климатических моделей и сценарию А1В к концу XXI века для Аравийского полуострова [3, 7] получено увеличение среднегодовой температуры на 2 °С (юг) – 4 °С (центральная часть), уменьшение зимних осадков на 10-20 % на севере и некоторый их рост (до 10-15 %) на юге при практической неизменности летних осадков.
2. Для более детального исследования сценарных оценок изменения среднемесячных температур воздуха на Аравийском полуострове на основе климатических мультимодельных наборов данных проекта СМIP3, размещенных в Интернете [13], были выбраны данные 4-х климатических моделей и двух климатических

- сценариев с середины XIX века по конец XXI века и данные наблюдений по трем метеостанциям, находящимся в разных частях полуострова (север, цент и юг).
- Сравнение модельных данных с данными наблюдений среднемесячных температур воздуха на Аравийском полуострове показывает, что коэффициенты корреляции в среднем для всех месяцев, моделей и сценариев невысокие. Наибольшие значения коэффициентов корреляции между наблюдаемыми и смоделированными температурами составили всего 0,60-0,72 и только для летних месяцев и для модели 4 (Франция) и сценария 2 (возрастание CO₂ в 4 раза). Кроме того, для севера полуострова (метеостанция Иордания) все коэффициенты корреляции были менее 0,5.
 - Сопоставление норм температур по данным наблюдений и моделирования за совместный период показало, что данные моделирования уже завышены по отношению к наблюдаемым данным до 2-5 °С в зависимости от месяца и периода осреднения на метеостанции Эр-Риад и до 1-3 °С – на метеостанции Аден.
 - Анализ модельных данных с 2014 по 2100 г. показал, что рост средних температур за 30-летние отрезки времени или очень мал (до 0,5 °С на метеостанции Аден) или практически отсутствует (метеостанция Эр-Риад).
 - В связи с тем, что для территории Аравийского полуострова результаты климатического моделирования слабо связаны с данными наблюдений, следует осуществить анализ как качества и надежности данных наблюдений, так и оценить климатические изменения на основе этих данных.

Литература

- Дымников В.П., Лысков В.Н., Володин Е.М. Моделирование климата и его изменений. – М.: Наука, 2006. – 173 с.
- Информация о многолетних рядах среднемесячной температуры воздуха и сумм осадков за месяц. // KNMI [Электронный ресурс] / The Royal Netherlands Meteorological Institute. – Амстердам, Нидерланды, 2010. – Режим доступа: [http://www.knmi.nl/about_knmi/].
- МГЭИК 2007: Изменение климата, 2007. Обобщающий доклад. Вклад рабочих групп I, II и III в Четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата (Пачаури Р.К., Райзингер А. и основная группа авторов (ред.)). – МГЭИК, Женева, Швейцария. – 104 с.
- Переведенцев Ю.П. Теория климата. Казанский государственный университет, 2009. – 503 с.
- About the WCRP CMIP3 Multi-Model Dataset Archive at PCMDI: [http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/about_ipcc.php].
- Atmospheric Model Intercomparison Project: [<http://www-cmdi.llnl.gov/projects/amip/index.php>].
- IPCC Standard Output from Coupled Ocean-Atmosphere GCMs: [http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/standard_output.html#Experiments].
- Kidson J.W. Index cycles in the Northern Hemisphere during Global Weather Experiment. – Month. Wea. Revd., vol. 113, 1985, p.607-623.
- The WCRP CMIP3 Multimodel dataset – A new era in Climate change research. 12 pp: [http://nldr.library.ucar.edu/repository/assets/ams-pubs/ams_pubs_200083.pdf].
- [http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/contents.html].
- [http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/contents.html].
- [http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/contents.html].
- [<https://esg.llnl.gov:8443/about/overviewPage.do>].