

УДК [551.524+551.509.323]:551.581.24(53)

*В.А. Лобанов, Омар А. Шукри*

**БУДУЩИЙ ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ АРАВИЙСКОГО ПОЛУОСТРОВА**

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

*V.A. Lobanov, Omar A. Shukri*

**THE FUTURE TEMPERATURE REGIME OF THE ARABIAN PENINSULA**

В статье предложена методика оценки норм будущих сценарных температур на метеостанциях Аравийского полуострова. Методика включает в себя выбор эффективной климатической модели и учет поправок на локальные климатические особенности метеостанций. В качестве эффективной климатической модели из 10 рассмотренных была выбрана немецкая модель MPI. После внесения поправок в сценарные значения рассчитаны климатические нормы на метеостанциях полуострова за три 30-летних периода до конца XXI в. и получены карты будущих норм температур отдельных месяцев на территории полуострова для сценария RCP 4,5. Предлагаемая методика оценки будущих климатических норм может быть применена в любом регионе Земли и для любой климатической характеристики.

**Ключевые слова:** *будущие нормы температур, Аравийский полуостров, эффективная климатическая модель, поправки на локальный климат.*

The article suggests a methodology for estimating the norms of future scenario temperatures at meteorological stations in the Arabian Peninsula. The methodology includes the choice of an effective climate model and the inclusion of corrections for the local climatic features of weather stations. As an effective climate model of the 10 models considered, the German MPI climatic model was chosen. After the correction for the scenario values, climatic norms were calculated at the meteorological stations of the peninsula in the three 30-year periods until the end of the 21st century and maps of the future temperature norms for individual months on the peninsula for the RCP 4,5 scenario were obtained. The proposed methodology for assessing future climate norms can be applied in any region of the Earth and to any climatic characteristic.

**Keywords:** *future temperature norms, Arabian peninsula, effective climate model, corrections for local climate.*

**Введение**

Аравийский полуостров (от древнееврейского «араба» — пустыня) является самым большим в мире и одним из самых жарких и засушливых регионов нашей планеты, а его климат даже в современных условиях — одним из наиболее неблагоприятных для человека: континентальный жаркий сухой, на севере — субтропический, на юге — тропический. Ограниченное увлажнение, экстремально высокие температуры летнего периода и высокая испаряемость делают этот район наиболее непригодным для жизни человека, животных и растительности. Вместе с тем Аравийский полуостров в экономическом отношении является одним из важнейших сырьевых регионов мира.

Нефть и природный газ — главное богатство Аравийского полуострова, добыча которого вдохнула жизнь во многие его города. Целые страны, такие как Саудовская Аравия, Оман, Катар, ОАЭ, живут доходами от продажи «черного золота» и имеют возможности регулирования мировых цен на нефть. Самые крупные месторождения нефти сосредоточены на побережье Персидского залива, и на территории Саудовской Аравии ее запасы оцениваются в 264 млрд баррелей, или 24 % от всех разведанных запасов на Земле. Согласно *BP Statistical review of world energy*, в 2012 г. Саудовская Аравия была на первом месте в мире по добыче нефти, составившей 3,6 млн баррелей, что дало 45 % валового внутреннего продукта государства при ВВП на душу населения в 24 200 \$.

Современное потепление климата может привести к еще более неблагоприятным условиям на Аравийском полуострове, что скажется как на жизнедеятельности населения, так и на экономике, и как следствие — на политической стабильности. Проведенные исследования показывают, что температура воздуха имеет тенденцию к росту не только в глобальном масштабе [4], но и на Аравийском полуострове, особенно летом, и в центральных частях полуострова, причем осадки практически не изменяются [2, 3, 5, 6, 9, 10]. Поэтому важно оценить, какие климатические нормы можно ожидать на Аравийском полуострове за различные периоды XXI в. В соответствии с Пятым докладом МГЭИК, нормы температур на Аравийском полуострове должны повыситься по среднему сценарию RCP 4,5 для 50-процентного квантиля на 3 °С к концу века по сравнению с периодом 1986–2005 гг. [8]. Вместе с тем проекции дают достаточно равномерное повышение на всей территории, не учитывая локальные особенности климата. Это и не удивительно, т. к. модели климата не рассматривают особенности процессов подсеточного масштаба, которые и вносят различия в зональные температуры за счет азональных факторов. В результате сценарные оценки по ансамблю моделей могут существенно отличаться как от тех же оценок по отдельным моделям, так и от фактических температур на конкретных метеостанциях. Здесь же можно отметить, что проекции осадков для Аравийского полуострова в Пятом докладе МГЭИК вообще не представлены из-за их низкой достоверности.

Поэтому целью настоящего исследования является оценка пространственного поля будущих норм сценарных температур на Аравийском полуострове с учетом как выбранной наиболее эффективной климатической модели, так и путем корректировки результатов сценариев на локальные климатические особенности метеостанций.

### **Методика и исходные данные**

Для оценки будущих норм температур воздуха на отдельных метеостанциях Аравийского полуострова, когда учитываются как зональные, так и азональные климатические особенности, в данной работе предлагается методика, включающая следующие основные этапы:

– выбор наиболее эффективной климатической модели для территории полуострова путем сравнения данных наблюдений и моделирования за совместный период;

- оценку систематической погрешности «наилучшей» модели для каждой метеостанции за счет недоучета локальных особенностей;
- оценку достоверности перехода от данных наблюдений последнего периода к будущим проекциям.

В качестве данных наблюдений были выбраны среднемесячные температуры воздуха на 18 метеостанциях Аравийского полуострова за весь период наблюдений, названия и координаты которых приведены в табл. 1. Результатами климатического моделирования явились наборы данных проекта CMIP5, находящиеся в свободном доступе в Интернете, для двух основных экспериментов [1, 11, 12, 14]: а) исторического эксперимента за период 1850–2005 гг.; б) проекций среднемесячных температур воздуха с 2011 по 2100 г. в узлах регулярной сетки для трех основных сценариев: RCP: 2,6, 4,5 и 8,5 Вт/м<sup>2</sup>.

Из всего набора климатических моделей [7, 13] результаты экспериментов были представлены в свободном доступе только для 10 следующих (выделены сокращенные названия моделей, которые будут использованы в дальнейшем):

1. Модель HadCM3 Хэдли Центра прогноза климата, Великобритания (Hadley Centre for Climate Prediction, Met Office, UK, **HadCM3 Model**).
2. Модель института вычислительной математики РАН, Россия (Institute for Numerical Mathematics, Russia, **INM CM4.0 Model**).
3. Модель метеорологического института Макса Планка, Германия (Max Planck Institute for Meteorology, Germany, **ESMAM5 / MPI OM**).

Таблица 1

Коды ВМО, названия и координаты метеостанций на Аравийском полуострове

Код ВМО	Название	Широта	Долгота	Период наблюдений, годы
40405	Гассим	26.3	43.77	1967–2011
40430	Медина	24.55	39.7	1956–2011
40438	Эр-Риад	24.72	46.73	1941–2011
40439	Янбу	24.02	38.22	1967–2011
40580	Кувейт	29.28	47.93	1961–1980
40581	Шуваих	29.33	48.05	1961–1980
40582	Кувейт 2	29.52	47.98	1956–2011
40583	Эль-Ахмади	29.1	48.13	1961–1980
40584	Мина Эль-Ахмади	29.05	48.15	1961–1980
41036	Эт-Таиф	21.48	40.55	1961–2011
41150	Бахрейн	26.27	50.65	1902–2011
41170	Доха	25.25	51.57	1962–2011
41314	Тумрайт	17.6	54	1982–2009
41316	Салала	17.03	54.08	1942–2009
41404	Санаа	15.31	44.11	1983–2006
41452	Айбиби	14	44.2	1990–2006
41466	Таиз	13.41	44.8	1983–2006
41480	Аден	12.83	45.03	1881–2005

4. Модель пекинского климатического центра, Китай (Beijing Climate Centre, China, **BCC Model**).
5. Французская модель CM4 V1 института Лапласа (**IPSL/LMD/LSCE**, France, CM4 V1).
6. Модель Центра метеорологических национальных исследований, Франция (Meteo-France, Centre National de Recherches Meteorologiques, **CNRM**, CM3 Model).
7. Модель Бьеркнессовского центра климатических исследований, Норвегия (Bjerknes Centre for Climate Research, Norway, **BNU-ESM**, BCM2.0 Model).
8. Модель канадского Центра моделирования и анализа климата с разрешением T63 (Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis, **CanESM2**, CGCM3.1 Model, T63 resolution).
9. Японская модель MIROC3.2 с высоким разрешением (CCSR/NIES/FRCGC, Japan, MIROC3.2, high resolution), **MIROC-ESM**.
10. Модель института метеорологических исследований, Япония (Meteorological Research Institute, Japan, CGCM2.3.2a), **MRI-ESM1**.

Расположение выбранных метеостанций показано на рис. 1. Результаты климатических моделей интерполировались в узлы сетки размером  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  и затем выбирался узел, ближайший к метеостанции. Год начала наблюдений на станциях варьировал в широком диапазоне: от 1881 г. — для метеостанции Аден до 1990 г. — на станции Айбиби и в среднем составлял 44 года за совместный период с данными моделирования.

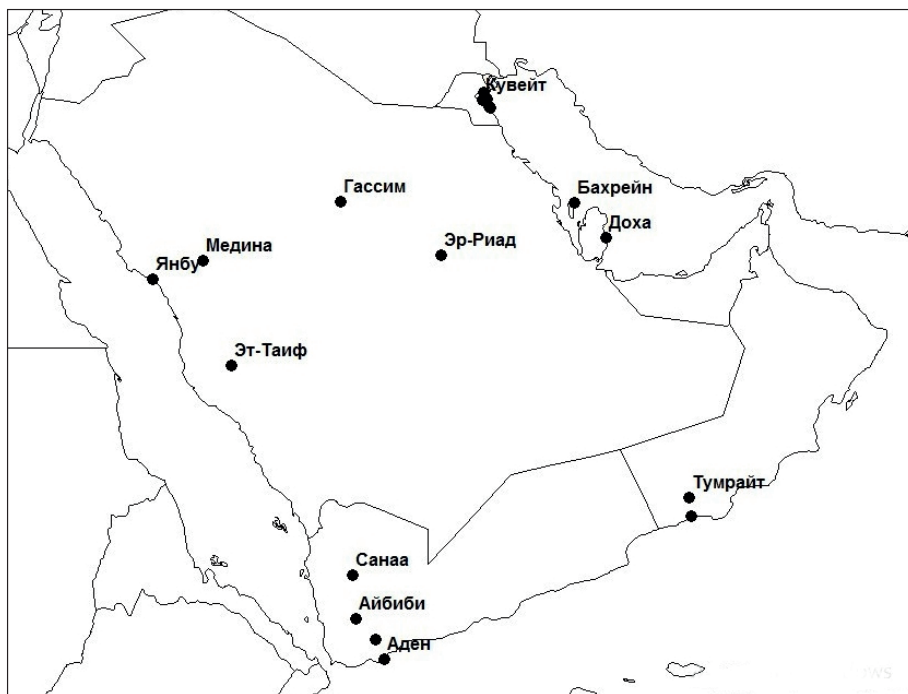


Рис. 1. Расположение метеостанций на Аравийском полуострове

**Полученные результаты и их обсуждение**

В связи с тем, что климатические модели не предназначены для надежного воспроизведения погодичных данных, что выражается в крайне низких коэффициентах корреляции между многолетними рядами наблюдаемых и смоделированных среднемесячных температур ( $R < 0,5$ ), было осуществлено сравнение только на уровне климатических норм. В качестве примера в табл. 2 показаны разности климатических норм между данными моделирования и наблюдений для двух метеостанций Гассим и Медина, находящихся в северной части полуострова. В табл. 2 приведены разности норм температур за совместный период наблюдений и моделирования для 10 климатических моделей за каждый месяц и за год как средняя разность по модулю из модулей разностей за каждый месяц года. Жирным шрифтом выделены наименьшие значения разностей по климатической модели за год, а в последней строке после всех моделей приведены наблюдаемые средние многолетние температуры («среднее»).

Таблица 2

Разности норм температур между смоделированными и наблюдаемыми значениями ( $t_{\text{мод}} - t_{\text{набл}}$ ) за совместный период (°C)

Модель	Месяцы												Ср. год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1. Метеостанция 40405 Гассим (1967–2005 гг.)													
HadGEM	-5,9	-3,4	-2,4	-1,2	-2,0	-2,0	-2,8	-4,0	-5,8	-3,9	-4,1	-5,9	3,6
INM	-8,7	-7,3	-4,8	-3,5	-3,8	-3,2	-2,7	-4,3	-5,9	-8,7	-10,6	-10,0	6,1
MPI	-2,0	-1,4	-0,3	-0,2	-1,4	-0,4	-0,3	-0,6	-1,4	-1,9	-0,5	-1,9	<b>1,0</b>
BCC	-3,0	-2,2	-2,0	-2,0	-3,8	-1,1	-0,2	-0,8	1,9	-2,3	-3,2	-2,9	2,1
IPSL	-4,5	-4,0	-3,4	-3,3	-3,8	-2,1	-1,9	-1,8	-3,7	-5,0	-4,6	-5,2	3,6
CNRM	-3,3	-0,9	-0,9	-1,8	-2,8	-1,4	-2,4	-3,0	-2,7	-2,9	-3,3	-4,2	2,5
BNU	-1,9	-2,0	-1,4	-1,9	-1,9	1,2	2,8	1,4	-0,8	-2,2	-2,9	-2,3	1,9
CanESM	-2,8	-1,8	-0,6	-0,9	-1,1	1,1	1,6	1,3	-0,3	-1,8	-2,0	-3,8	<b>1,6</b>
MIROC	-1,1	-0,3	-0,1	-0,7	-2,6	-1,5	1,2	1,1	-0,8	-3,7	-3,1	-2,4	<b>1,6</b>
MRI-ESM	-4,5	-2,8	-2,6	-2,8	-3,6	-2,1	-1,3	-2,7	-3,1	-4,2	-4,5	-4,7	3,2
среднее	12,6	14,5	19,0	24,3	30,2	33,4	34,6	34,6	31,8	26,5	19,0	13,8	24,5
2. Метеостанция 40430 Медина (1968–2005 гг.)													
HadGEM	-5,2	-4,0	-3,1	-2,5	-2,8	-2,5	-3,2	-4,3	-5,5	-4,8	-4,8	-6,0	4,0
INM	-11,3	-10,3	-8,0	-6,5	-6,2	-5,8	-3,9	-5,6	-8,8	-11,2	-12,4	-12,6	8,6
MPI	-5,0	-4,7	-3,9	-3,2	-3,1	-1,9	-0,8	-1,7	-3,6	-3,7	-3,8	-5,1	<b>3,4</b>
BCC	-5,0	-5,2	-5,4	-5,5	-6,0	-4,7	-3,3	-3,6	-2,3	-4,4	-5,0	-5,3	4,6
IPSL	-7,2	-7,4	-7,3	-6,7	-6,7	-6,1	-4,9	-5,6	-7,0	-7,2	-7,1	-8,0	6,8
CNRM	-7,7	-6,1	-6,0	-6,2	-6,3	-5,1	-4,9	-6,0	-6,5	-6,9	-8,0	-8,8	6,5
BNU	-5,0	-5,2	-4,8	-4,9	-4,4	-2,2	0,2	-1,0	-3,8	-4,8	-5,8	-6,0	4,0
CanESM	-5,3	-4,8	-3,9	-3,6	-3,3	-2,0	-1,4	-1,6	-3,3	-4,0	-4,4	-6,1	<b>3,6</b>
MIROC	-3,6	-3,1	-3,2	-3,4	-3,9	-3,0	-0,3	-1,2	-3,3	-5,0	-5,0	-4,5	3,9
MRI-ESM	-7,8	-7,0	-6,8	-6,8	-7,5	-7,0	-4,1	-5,4	-7,1	-7,6	-7,8	-8,6	7,0
среднее	17,7	19,8	23,7	27,9	32,5	35,9	35,9	36,1	34,8	29,8	23,5	19,4	28,1

Из приведенных в табл. 2 данных следует, что все модели и практически во все месяцы года занижают нормы температур, причем наибольшее занижение составляет 11–12 °С в зимние месяцы по модели INM. В среднем же за год занижения нормы температур варьируют: от 1,0 °С — для модели MPI до 8,6 °С — для модели INM, причем для двух этих станций наилучшей оказалась модель MPI. Систематическое занижение температуры даже по «наилучшей» модели зимой может составлять до 5 °С, как раз и характеризующее вклад азональных факторов, которые дают температуру зимой выше в данной местности. Причина систематического занижения температур по моделям связана с климатическими особенностями полуострова, главным образом, с наличием пустынь, что формирует температурную аномалию с наиболее высокими температурами на Земном шаре.

Аналогичные расчеты были выполнены для всех 18 метеостанций, и обобщенные результаты приведены на рис. 2, где около каждой станции представлены диаграммы отклонений норм, вычисленных по моделям от наблюдаемой нормы температуры в °С, порядок моделей аналогичен табл. 2. Врезкой выделены столбчатые диаграммы для пяти близко расположенных метеостанций в районе Кувейта. Как следует из рис. 2, наименьшее значение отклонений соответствует 3-й модели, т. е. модели MPI, которая является наилучшей для 11 метеостанций из 18.

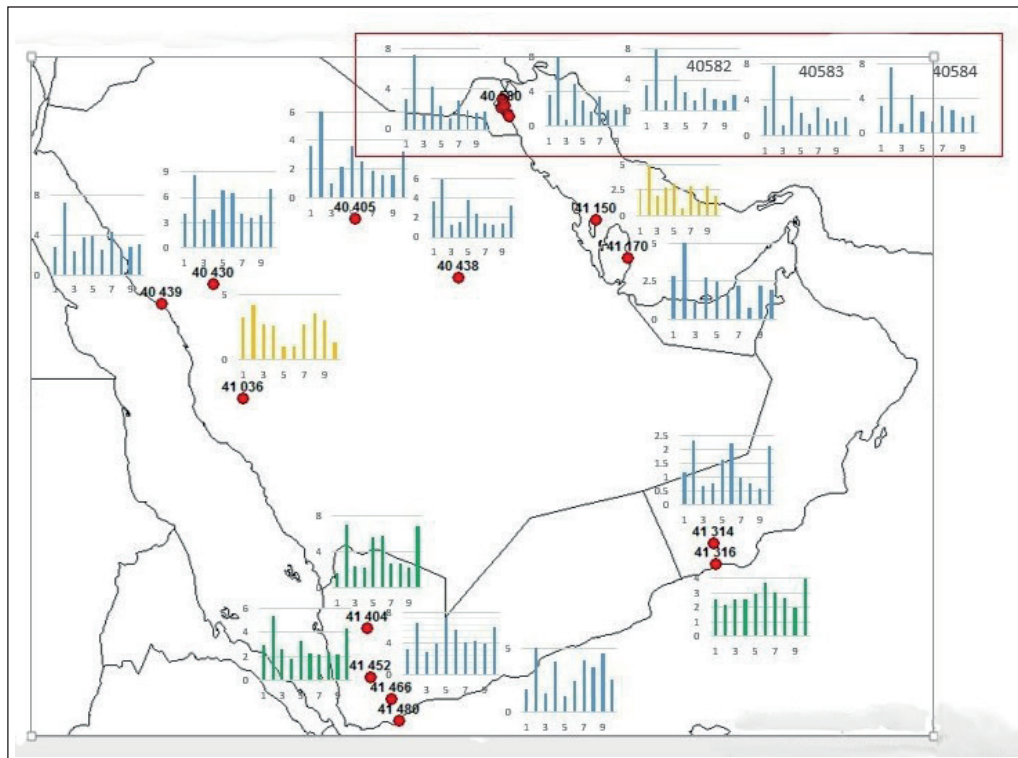


Рис. 2. Отклонения по модулю норм среднегодовых температур, полученных по 10 климатическим моделям и по данным наблюдений, °С

Для остальных 7 метеостанций в трех случаях наилучшей была модель CNRM, и по одному случаю модели MIROC, HadGEM, BCC и IPSL. Отклонения этих 7 моделей от MPI не такое большое и варьирует для норм годовых температур от 0,1 °С на метеостанции Санаа до 1,7 °С на метеостанции Эт-Таиф. Отклонения же норм годовых температур модели MPI от наблюдаемых норм имеют закономерные изменения по территории от наименьших значений в 0,7–0,8 °С на востоке до 2,6–2,7 °С и 3,4 °С (метеостанция Медина) — на западе. В результате проведенного исследования сделан вывод, что климатическая модель MPI является наиболее подходящей из 10 рассмотренных и может быть применена для оценки будущих норм температур воздуха на Аравийском полуострове.

Если рассматривать абсолютные отклонения норм температур модели MPI от наблюдаемых за каждый месяц, то они будут несколько больше и достигают 5–6 °С для метеостанций на востоке (Медина, Эт-Таиф) и юго-востоке (Сана, Айбиби) полуострова. Полученные систематические отклонения, как за весь совместный период, так и за последний с 1980 г., характеризуют систематические погрешности моделирования, связанные с локальными климатическими особенностями каждой метеостанции. Как правило, эти отклонения норм за весь период и последний с 1980 г. совпадали, а если разница составляла более 0,5 °С, предпочтение отдавалась норме температур за последний период наблюдений. В табл. 3 приведены разницы климатических норм для каждой метеостанции за месяцы зимнего и летнего сезонов, которые являются систематическими погрешностями и должны быть

Таблица 3

Систематические погрешности расчетных норм по модели MPI в °С ( $t_{\text{набл}} - t_{\text{мод}}$ )

Код станции	Зима (месяцы)			Лето (месяцы)		
	12	1	2	6	7	8
40405	1,6	1,9	1,4	1,8	0,5	0,8
40430	4,6	4,6	4,2	2,6	0,9	1,9
40438	2,4	2,5	2,3	0,0	0,0	0,8
40439	3,5	3,4	2,8	-4,0	-4,6	-4,1
40580	-1,5	-1,8	-1,0	-0,8	-1,7	-2,2
40581	-1,0	-1,2	-0,4	-0,3	-1,1	-1,3
40582	-3,0	-2,3	-2,2	1,0	0,0	-0,9
40583	1,0	-1,7	-0,6	-0,4	-1,2	-1,7
40584	-0,2	-0,7	-0,4	-1,1	-2,0	-2,2
41036	-0,5	0,0	-1,0	-4,1	-4,5	-3,5
41150	-2,5	-2,4	-2,0	-2,1	-2,9	-3,3
41170	-2,7	-2,5	-1,7	0,1	-1,4	-2,1
41314	-0,9	-0,3	1,3	-0,3	-0,6	-0,3
41316	3,6	4,2	4,0	-1,0	0,0	-1,0
41404	4,6	6,2	5,6	-0,3	1,1	2,3
41452	1,8	2,2	2,2	-4,0	-3,0	-4,0
41466	4,0	4,8	5,0	0,8	1,8	1,4
41480	3,0	3,3	2,6	-1,0	0,2	0,1



учтены при корректировке норм будущих температур. В связи с тем, что это систематические поправки, которые следует добавлять к будущим сценарным температурам, то они рассчитывались как разность между наблюдаемыми и модельными нормами:  $t_{\text{набл}} - t_{\text{мод}}$ .

Как следует из данных табл. 3, систематические поправки в основном положительны, т. е. модель занижает температуры на большинстве станций, причем иногда даже до 5–6 °С, в основном, в зимние месяцы (метеостанция 41404 Санаа, 41466 Таиз). Однако есть метеостанции, для которых модель завышает данные до 4–4,5 °С (40439 Янбу, 41036 Эт-Таиф, 41452 Айбиби), в основном, в летние месяцы. Эти метеостанции находятся на востоке полуострова ближе к Красному морю, и за счет близости водоема летом здесь фактические температуры ниже средних зональных. Также на метеостанциях вдоль Персидского залива (коды станций: 40580, 40581, 40582, 40583, 40584, 41036, 41150, 41170) наблюдаемая температура практически во все месяцы меньше, чем по модели, т. е. локальный климат за счет близости залива прохладнее, чем дают расчеты по модели.

В следующей части исследования были получены многолетние ряды сценарных значений среднемесячных температур с 2011 по 2100 г., проинтерполированы из узлов регулярной сетки в каждую метеостанцию и рассчитаны нормы температур за три тридцатилетних периода: 2011–2040 гг., 2041–2070 гг. и 2071–2100 гг. В полученные нормы внесены систематические поправки из табл. 3. Однако при анализе динамики норм температур в ряде случаев получено, что разность между нормой последнего периода наблюдений (1981–2010 гг.) и первого сценарного периода (2011–2040 гг.) существенно больше, чем средняя разность между сценарными нормами за соседние 30-летние периоды (см. рис. 3, а). Очевидно, что такой резкий переход от наблюдений к проекции обусловлен погрешностями, и сценарные нормы должны быть скорректированы, чтобы уменьшить этот градиент. Другая ситуация (см. рис. 3, б) имела место, когда первая (и остальные) сценарные нормы были меньше, чем последняя наблюдаемая норма, что также следует корректировать.

Поэтому была введена вторая поправка на градиент норм температур. Рассчитывался средний градиент между сценарными нормами за 30-летний будущий

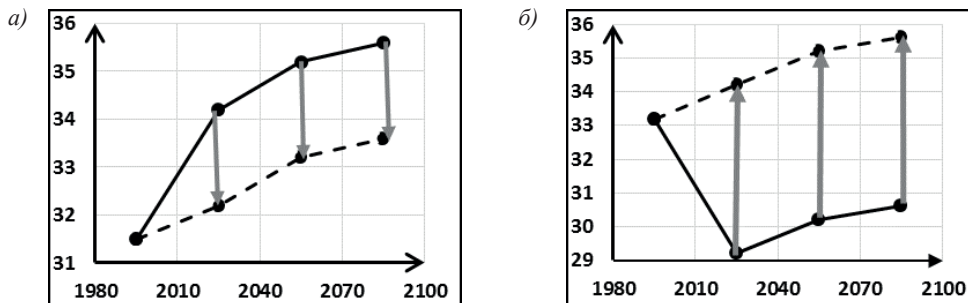


Рис. 3. Ситуации корректировки сценарных норм: градиент перехода к первой сценарной норме большой (а) или первая сценарная норма меньше последней наблюдаемой (б), стрелками показано направление корректировки, пунктиром — линия откорректированных норм



период, и если градиент между нормами за 1980–2010 гг. и 2011–2040 гг. отличался от сценарного градиента более, чем на 1 °С, то он корректировался на средний сценарный, и сценарные нормы на столько же уменьшались. При противоположной ситуации, когда норма за первый сценарный период была ниже, чем за последний наблюдаемый, сценарные нормы увеличивались на эту разность плюс средний градиент (см. рис. 3).

Средний сценарный градиент норм температуры ( $dT$ ) вычислялся по формуле

$$dT = (T_{н3} - T_{н1})/2, \quad (1)$$

где  $T_{н1}$ ,  $T_{н3}$  — нормы температур за периоды 2011–2040 гг. и 2071–2100 гг., а градиент между наблюдаемыми и сценарными нормами ( $dT'$ ) рассчитывался как:

$$dT' = (T_{н1} - T_{н0}), \quad (2)$$

где  $T_{н0}$  — нормы температур за последний наблюдаемый период 1981–2010 гг.

И если  $dT' - dT > 1$  °С, то сценарные нормы уменьшались на эту разность, а если  $T_{н1} - T_{н0} < 0$ , т. е. сценарные нормы были меньше наблюдаемых, то градиентная поправка рассчитывалась как:  $T_{н0} - T_{н1} + dT$  и на нее сценарные нормы увеличивались. Значения суммарной поправки (систематической и градиентной) приведены в табл. 4.

Таблица 4

Суммарная (систематическая и градиентная) поправка к сценарным нормам температур

Код станции	Зима (месяцы)			Лето (месяцы)		
	12	1	2	6	7	8
40405	0,9	1,4	0,6	-0,7	-1,0	-0,3
40430	4,2	4,1	3,9	1,1	-0,1	0,7
40438	1,8	1,9	1,3	-0,7	-1,2	-0,5
40439	3,3	3,2	2,0	-4,0	-5,2	-4,8
40580	-3,2	-2,8	-2,3	-2,7	-3,6	-3,6
40581	-2,7	-2,0	-1,7	-2,2	-2,5	-2,8
40582	-3,4	-2,5	-2,7	-0,6	-1,3	-1,8
40583	-1,0	-2,6	-2,0	-2,2	-3,2	-3,2
40584	-1,9	-1,5	-1,7	-3,0	-3,9	-3,8
41036	-1,6	-1,0	-1,3	-4,1	-4,5	-3,9
41150	-1,5	-1,6	-2,0	-4,3	-4,9	-5,2
41170	-2,1	-2,5	-1,8	-2,7	-3,9	-4,5
41314	1,9	-0,3	0,7	0,2	0,2	0,8
41316	3,6	4,2	3,9	-2,1	-3,1	-3,1
41404	4,6	6,0	5,6	-0,3	0,5	1,0
41452	1,8	2,2	3,0	-4,0	-4,8	-5,0
41466	4,0	4,8	4,8	0,8	1,2	0,7
41480	3,0	1,4	2,6	-0,3	0,0	-0,8

Из сопоставления данных табл. 3 и 4 следует, что обе поправки не компенсируют друг друга, а скорее всего, дополняют, особенно в средних ситуациях.

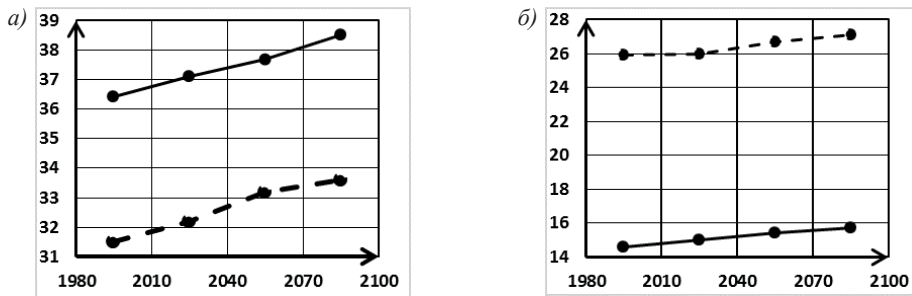


Рис. 4. Динамика откорректированных норм температур июля (а) и января (б) для метеостанций 41480 Аден (пунктирная линия) и 40438 Эр-Риад (сплошная линия), °С

Поэтому предельные значения суммарной поправки остаются примерно такими же, как и для систематической — 5...6 °С, а для средних условий суммарная поправка обычно выше систематической по модулю на 1,0...1,5 °С.

Динамика скорректированных норм температур в современный и будущие периоды приведена на рис. 4 для сценария RCP 4,5, для двух метеостанций, находящихся в разных климатических условиях: Аден на юге у моря и Эр-Риад в центре полуострова.

Как следует из рисунков, в центре полуострова в июле температура, и так высокая и равная сегодня в среднем 36,4 °С, в конце XXI в. еще увеличится, и ее норма будет составлять 38,5 °С. Норма температуры января для этой метеостанции, достаточно низкая в наше время и равная 14,6 °С, увеличится к концу века всего на 1,1 °С. В то же время температура в Адене в январе, равная 25,9 °С — одна из самых высоких на полуострове в этот сезон, увеличится к концу века еще на 1,2 °С, а в июле — на 2,1 °С. В результате по всем станциям получено, что летние температуры на полуострове, и сейчас высокие, будут расти больше, чем зимние, — в среднем на 2 °С, в то время как зимние в среднем вырастут на 1 °С.

Пространственные закономерности изменения норм летних температур за четыре 30-летних периода общей продолжительностью 120 лет до конца века по сценарию RCP 4,5 приведены в виде интерполяционных схем на рис. 5.

Как следует из пространственных особенностей, температуры воздуха на полуострове уменьшаются с севера-востока и центра на запад и юго-запад. При этом структура пространственного поля со временем практически не изменяется, и там, где наблюдались территориальные максимумы и минимумы, в этих же местах они будут и в будущем. Увеличение норм температуры до конца этого столетия практически во всех частях полуострова составит 2 °С.

### Заключение

Основные выводы из выполненной работы состоят в следующем.

Для оценки будущих проекций климата необходимо выбирать наиболее подходящую для рассматриваемого региона климатическую модель и для метеостанций Аравийского полуострова такой наиболее эффективной моделью оказалась немецкая модель MPI.

В сценарные значения климатических характеристик при их приложении к конкретным метеостанциям необходимо вносить как систематическую поправку за счет индивидуальных особенностей метеостанции, так и градиентную поправку при переходе от наблюдаемых норм к будущим сценарным, и суммарные значения этих поправок для метеостанций Аравийского полуострова достигают 5...6 °С.

Для метеостанций Аравийского полуострова были получены наиболее обоснованные будущие нормы температур до конца века, и их динамика свидетельствует, что уже современные высокие летние температуры в среднем могут вырасти еще на 2 °С, а зимние — на 1 °С до конца этого столетия.

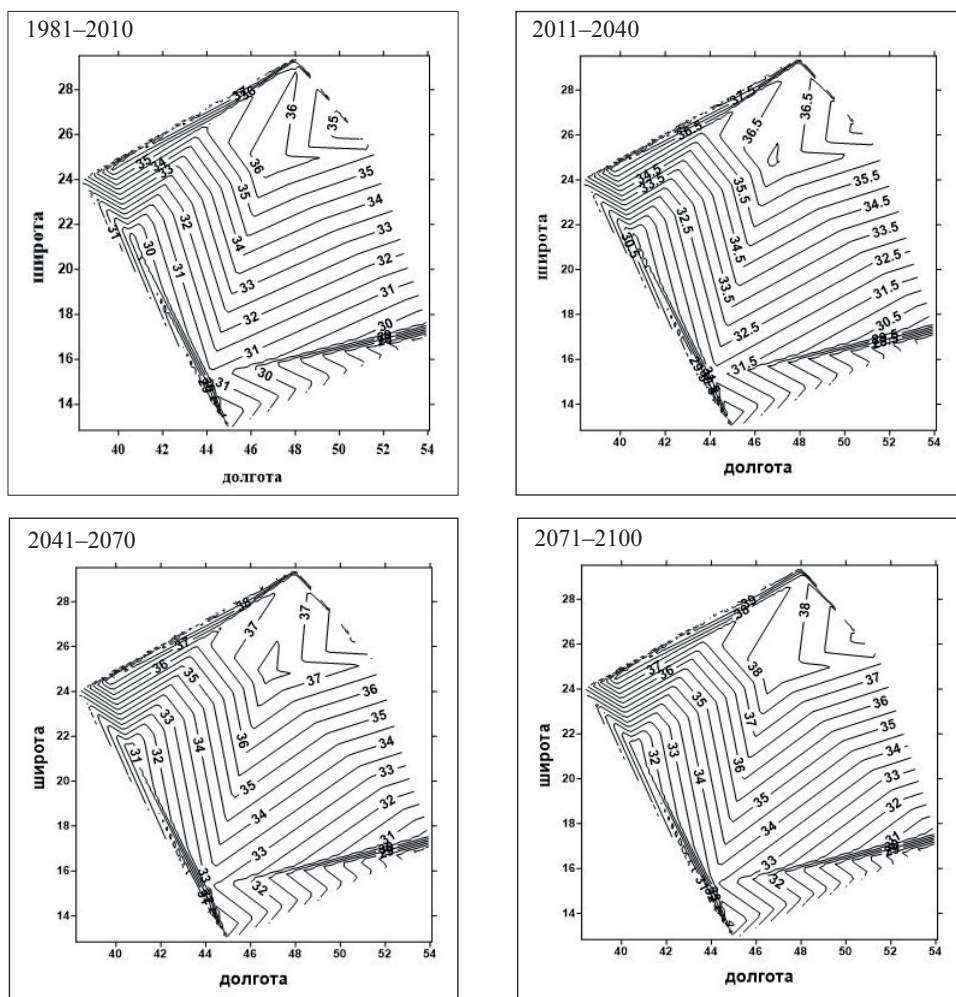


Рис. 5. Схемы пространственных распределений норм температур воздуха июля на Аравийском полуострове по сценарию RCP 4,5 за четыре 30-летних периода

*Литература*

1. Лобанов В.А., Кандове А.Л., Шукри О.А.А. Методические указания по выполнению лабораторной работы «Сценарные оценки будущего климата на основе моделей общей циркуляции атмосферы и океана и данных проекта CMIP5». — СПб.: РГГМУ, 2015 — 46 с.
2. Лобанов В.А., Шукри О.А.А. Оценка климатических изменений температуры воздуха и осадков на Аравийском полуострове // Учен. зап. РГГМУ. 2015. № 37. — С. 72–83.
3. Лобанов В.А., Шукри Омар А.А. Моделирование пространственных климатических изменений на Аравийском полуострове // Учен. зап. РГГМУ. 2015. № 38. — С. 152–162.
4. Малинин В.Н., Гордеева С.М. О современных изменениях глобальной температуры воздуха // Общество. Среда. Развитие. 2011. № 2. — С. 215–221.
5. Шукри Омар А.А. Современные климатические изменения температуры воздуха и осадков в Йемене и прилегающих территориях // Учен. зап. РГГМУ. 2011. № 21. — С. 86–94.
6. Шукри Омар Абдулхаки Али Климатические сценарии и их применимость для оценки будущих изменений климата на Аравийском полуострове // Учен. зап. РГГМУ. 2013. № 29. — С. 110–124.
7. Gates W.L., 1992: AMIP: The Atmospheric Model Intercomparison Project. Bull. Amer. Meteor. Soc., 73, pp.1962–1970.
8. 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*. Cambridge University Press: Cambridge, p. 1552.
9. Lobanov V.A., O.A. Shukri Statistical methods for analysis and modeling of climate change in the Arabian Peninsula. Abstracts of STAHY2014 workshop, 10–11 November 2014, Abu-Dhabi, p. 73.
10. Said AlSarmi I and R. Washington (2011) Recent observed climate change over the Arabian Peninsula Journal of Geophysical Research, Vol. 116, D11109, doi:10.1029/2010JD015459, 2011.
11. Taylor K.E., J.R. Stouffer, G.A. Meehl, 2012. An overview of CMIP5 and experiment design. Bull. American Meteorological Society. April 2012, pp. 485–498.
12. About the WCRP CMIP5 Multi-Model Dataset Archive at PCMDI [Электронный ресурс]. [сайт] URL: [http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/about\\_ipcc.php](http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/about_ipcc.php) (дата обращения 26.05.17).
13. Atmospheric Model Intercomparison Project. [Электронный ресурс]. [сайт] URL: <http://www-pcmdi.llnl.gov/projects/amip/index.php> (дата обращения 26.05.17).
14. CMIP5 Coupled Model Intercomparison Project. WCRP World Climate Research Programme [Электронный ресурс]. [сайт, раздел «Доступ к данным»] URL: [http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/data\\_portal.html](http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/data_portal.html) (дата обращения 26.05.17).