

**Численные климатические оценки  
осадков и температуры приповерхностного воздуха  
для Черноморского региона**

© 2016 Д.А. Яровая, В.В. Ефимов

*Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия  
E-mail: vefim38@mail.ru, daryk777@inbox.ru*

Поступила в редакцию 25.11.2015 г.

Численные схемы расчета осадков, используемые в региональной модели *RegCM*, были адаптированы к Черноморскому региону. Подробно рассмотрены расхождения между результатами моделирования по *RegCM* и данными реанализа *ERA-Interim* на примере среднемесячных полей осадков и температуры приповерхностного воздуха. Проведены численные эксперименты с целью уменьшить завышение количества осадков над равнинной сушей к северу от Черного моря. Установлено, какие изменения в схемах расчета осадков, выпадающих в Черноморском регионе, в наибольшей степени влияют на их количество. С использованием данных о среднегодовом количестве осадков и испарении с поверхности Черного моря уточнена оценка суммарного расхода воды через Босфорский, Керченский проливы и речной сток.

**Ключевые слова:** Черноморский регион, региональное моделирование климата, параметризация осадков, реанализ.

**Введение.** В настоящее время пространственное разрешение глобальных атмосферных моделей уже достигает  $0,7^\circ$ , однако этого еще недостаточно для полноценного воспроизведения локальных особенностей метеорологических полей. Для этой цели результаты глобального моделирования в некоторой выделенной области пересчитываются на более мелкую сетку при помощи региональной модели атмосферы. При этом создать универсальную региональную модель, которая подходила бы для любого региона Земли, пока не представляется возможным. В большинстве случаев модель нужно настраивать для конкретного региона путем варьирования эмпирических коэффициентов в схемах параметризации, а также использования разных схем параметризации осадков, планетарного пограничного слоя и т. п. При этом результаты регионального моделирования сравниваются с данными наблюдений (данными спутников и метеостанций) или, в случае их отсутствия, с результатами глобальных атмосферных или других региональных моделей. Как правило, региональная модель оценивается по своей способности воспроизводить поля осадков и температуры приповерхностного воздуха.

Цель настоящей работы заключается в настройке региональной модели *RegCM* [1] и уточнении среднемесячных полей модельных осадков и температуры для Черноморского региона. Эту работу можно рассматривать как продолжение и развитие работы [2], в которой были подробно описаны основные расхождения между результатами моделирования по *RegCM* и данными ретроспективного анализа (реанализа) *ERA-Interim*, а также работы [3],

посвященной численным оценкам составляющих водного баланса Черного моря. На рис. 2 и 4 работы [2] приведены такие расхождения для летних и зимних полей осадков и приповерхностной температуры в расчетной области 30 – 58° с. ш., 7 – 69° в. д. При сравнении результатов моделирования и реанализа наибольшие расхождения были обнаружены над горами и на границе море – суша, что обусловлено различиями в высоте рельефа: горизонтальные разрешения *RegCM* и *ERA-Interim* составляют 25 км и 1,5°, т. е. различаются почти на порядок. И поскольку каждой точке расчетной сетки приписывается средняя по ячейке высота рельефа, меньший размер ячеек позволяет лучше описать высокогорную и прибрежную части рельефа [2]. Кроме того, были обнаружены существенные расхождения в величине осадков также и к северу от Черноморского региона, где гор нет, причем с июня по август количество осадков в модели *RegCM* в целом занижено, а в остальные месяцы – завышено [2]. Был сделан вывод, что эти различия связаны уже с недостатками самой модели *RegCM*. В настоящей работе путем проведения численных экспериментов по настройке параметров модели предлагаются способы устранения этих расхождений. Отметим, что в [4] разработчиками модели *RegCM* были проведены численные эксперименты по чувствительности для различных областей земного шара – Южной Америки, Восточной Азии, Африки и Европы (включая Черное море). Было установлено, в частности, что в Европейском регионе результаты моделирования осадков слабо зависят от выбора схемы параметризации пограничного слоя, но адаптация схем параметризации осадков для Черноморского региона в [4] не проводилась.

**Описание модели и входных данных.** Модель *RegCM* достаточно хорошо известна и широко используется для исследования региональных особенностей атмосферной циркуляции, поэтому мы не будем приводить здесь ее общее описание – ниже даны только схемы параметризации, которые адаптировались в численных экспериментах. Область моделирования и рельеф показаны на рис. 1.

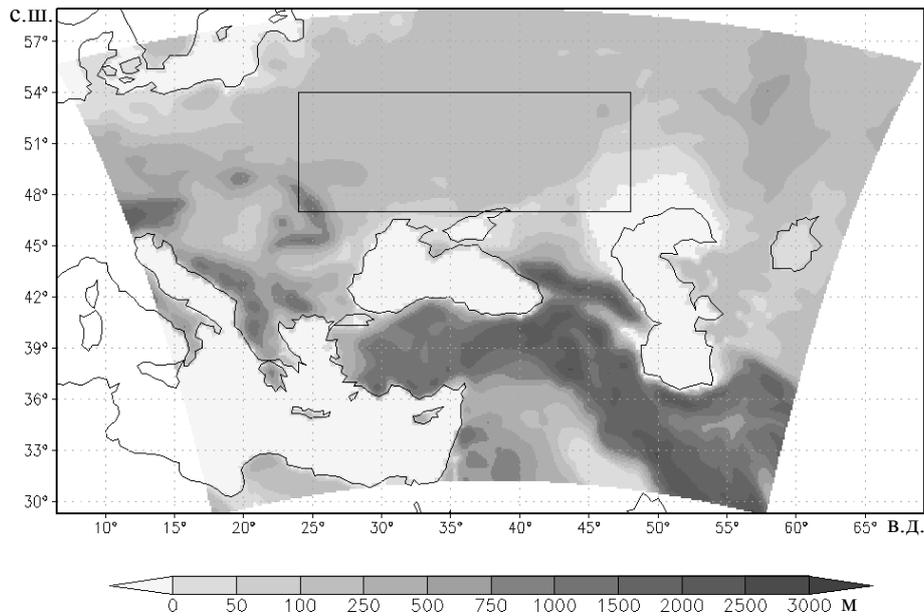
Начальные и граничные условия для температуры воздуха, геопотенциальной высоты, скорости ветра и относительной влажности в модели *RegCM* задавались из реанализа *ERA-Interim* [5]. Температура поверхности моря (ТПМ) при моделировании не рассчитывалась, а задавалась из начальных и граничных условий, т. е. поля ТПМ на входе и выходе модели одинаковы.

Схема расчета неконвективных осадков. Неконвективные (крупномасштабные) осадки в модели *RegCM* рассчитываются при помощи схемы *SUBEX* [6], в которой облачность определяется через относительную влажность и облака образуются, если относительная влажность превосходит заданную пороговую величину:

$$FC = \sqrt{\frac{RH - RH_{\min}}{RH_{\max} - RH_{\min}}} \text{ при } RH > RH_{\min},$$

$$FC = 0 \text{ при } RH < RH_{\min},$$

где *FC* – часть ячейки расчетной сетки, покрытая облаками;  $RH_{\min}$  – минимальное значение относительной влажности, при котором начинают формироваться облака ( $RH_{\min}$  составляет 80% над сушей и 90% над морем).



**Рис. 1.** Высота рельефа над уровнем Черного моря (м). Севернее выделена область, по которой проводится осреднение количества осадков

В свою очередь осадки образуются, если удельное содержание облачных капель ( $Q_c$ ) превышает пороговую величину ( $Q_{cth}$ ,  $г \cdot кг^{-1}$ ), которая рассчитывается по формуле

$$Q_{cth} = C_{acc} \cdot 10^{-0,489+0,0134t},$$

где  $C_{acc}$  – эмпирический коэффициент;  $t$  – температура в градусах Цельсия. При этом количество образовавшихся осадков ( $P$ ,  $г \cdot кг^{-1} \cdot с^{-1}$ ) рассчитывается как

$$P = C_{ppt} (Q_c / FC - Q_{cth}) FC,$$

где  $C_{ppt}$  – характерная скорость формирования дождевых капель, в нашем случае она была одинакова над сушей и морем и равнялась  $2,5 \cdot 10^{-4} с^{-1}$ .

В схеме *SUBEX* также учитываются увеличение дождевых капель при их прохождении через облако (аккреция) и испарение осадков вне облака в процессе выпадения. Количество осадков, образовавшихся в результате аккреции ( $P_{acc}$ ), рассчитывается по формуле

$$P_{acc} = C_{acc} Q_c P_{sum},$$

где  $P_{sum}$  ( $кг \cdot м^{-3}$ ) – суммарное количество осадков на данном уровне модели (с учетом осадков, поступивших с вышележащих уровней); коэффициент  $C_{acc}$  – характерная скорость аккреции, в нашем случае она равна  $3 м^3 \cdot кг^{-1} \cdot с^{-1}$ . Количество испарившихся осадков ( $P_{evap}$ ) рассчитывается как

$$P_{evap} = C_{evap} (RH_{max} - RH) \sqrt{P_{sum}},$$

где коэффициент  $C_{evap}$  – характерная скорость испарения дождевых капель.

Также необходимо отметить, что в модели *RegCM* Черное и Каспийское моря рассматриваются в качестве подстилающей поверхности, относящейся к категории «внутренний водоем» (в отличие от Средиземного моря, которое относится к категории «океан»). В схеме *SUBEX* для суши и внутреннего водоема используются одни и те же значения коэффициентов  $C_{ppt}$  и  $C_{acc}$ , которые в общем случае отличаются от соответствующих значений для океана.

**Схема расчета конвективных осадков.** В данной работе для расчета конвективных осадков над морем применяется схема *MIT*, над сушей – схема *Grell* [6], такое сочетание схем используется в модели по умолчанию и, согласно [4], хорошо подходит для Европейского региона. Как будет показано ниже, в нашем случае требуется провести настройку схемы расчета конвективных осадков именно над сушей, поэтому приведем краткое описание только схемы *Grell*.

В схеме *Grell* количество осадков, выпавших в ячейке расчетной сетки, определяется как

$$P = I_1 m_1 - I_2 m_2 ,$$

где  $I_1$  – масса дождевых капель, образовавшихся в восходящем потоке, т. е. при подъеме частицы насыщенного воздуха единичной массы от нижней границы облака к верхней;  $I_2$  – масса дождевых капель, испарившихся в нисходящем потоке;  $m_1, m_2$  – плотность восходящего и нисходящего потоков воздуха соответственно. Предполагается, что в облаке  $m_1$  и  $m_2$  не изменяются с высотой, т. е. нет потока массы через его боковые границы. Величины  $m_1$  и  $m_2$  связаны соотношением

$$m_1 I_1 \beta = m_2 I_2 ,$$

здесь  $\beta$  определяется формулой

$$\beta = 1 - (C_1 + C_2 V_{\text{shear}} + C_3 V_{\text{shear}}^2 + C_4 V_{\text{shear}}^3) ,$$

где  $C_1, C_2, C_3, C_4$  – некоторые константы;  $V_{\text{shear}}$  – вертикальный сдвиг скорости ветра по модулю. Величина  $\beta$  показывает, какая часть осадков испарится в нисходящем потоке: чем меньше  $\beta$ , тем больше выпадет осадков вследствие конвекции. Разность  $1 - \beta$  называется эффективностью осадков.

Для расчета восходящего потока массы в модели *RegCM* можно выбрать один из двух методов задания  $m_1$ :

$$m_1 = \frac{1}{NA} \frac{CAPE_{\tau}}{\tau_0} \quad (1)$$

или

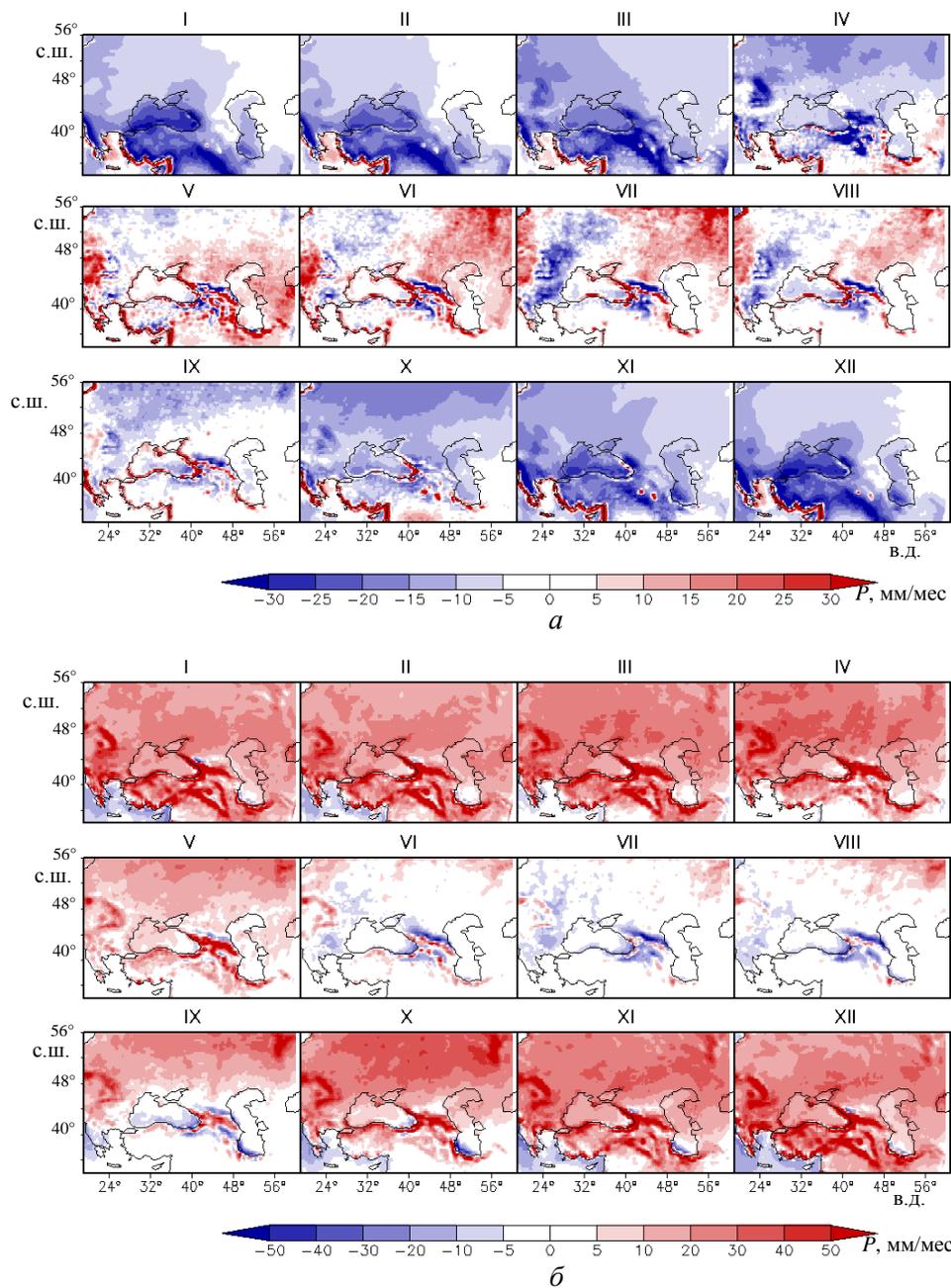
$$m_1 = \frac{1}{NA} \frac{CAPE_{\tau+\Delta\tau} - CAPE_{\tau}}{\Delta\tau} , \quad (2)$$

где  $CAPE_{\tau}, CAPE_{\tau+\Delta\tau}$  – конвективная доступная потенциальная энергия в моменты времени  $\tau$  и  $\tau + \Delta\tau$  соответственно;  $\Delta\tau$  – шаг по времени при моделировании (в нашем случае  $\Delta\tau = 1$  мин);  $\tau_0$  – временной масштаб ( $\tau_0 = 30$  мин);  $NA$  – скорость изменения  $CAPE$ , необходимая для возникновения восходящего потока массы единичной плотности.

**Результаты расчета осадков.** Сравним вначале результаты расчета осадков за 34-летний период (1980 – 2013 гг.) по исходной модели *RegCM* с данными реанализа *ERA-Interim*. На рис. 2 показаны расхождения между результатами моделирования и данными реанализа для двух типов осадков: конвективных и неконвективных. Видно, что для Черноморского региона количество конвективных осадков в модели *RegCM* в целом занижено, а неконвективных – завышено. Интересно отметить, что над Черным морем количество конвективных осадков занижено больше, чем над сушей – это различие связано с тем, что в модели используются разные схемы расчета конвективных осадков над сушей и над морем. Завышение количества осадков в северной части расчетной области было обнаружено при сравнении не только с данными реанализа *ERA-Interim*, но и, как будет показано ниже, с данными из других источников. На рис. 2, а в летне-осенний период хорошо выделяются области завышенных значений конвективных осадков вблизи Кавказского побережья Черного моря – это связано с тем, что по сравнению с реанализом в модели используется более мелкая пространственная сетка и лучше воспроизводится рельеф гор и связанные с ним региональная атмосферная циркуляция и осадкообразование. Отметим также, что на рис. 2, б расхождения по модулю в количестве осадков для летних месяцев невелики, так как в это время неконвективные осадки в Черноморском регионе незначительны.

Рассмотрим теперь осредненные по пространству величины осадков. На рис. 3, а показаны их среднемесячные значения по данным из разных источников, осредненные по пространству для области, выделенной на рис. 1. Полученные по модели *RegCM* поля осадков сравнивались с доступными данными наблюдений, а также с данными реанализов, перечисленными в Приложении 1. Реанализы *ERA-Interim* и *MERRA* представляют собой результаты глобального атмосферного моделирования, проведенного с ассимиляцией данных наблюдений. Массивы *E-OBS* и *CRU* – данные измерений с расположенных на суше метеостанций, интерполированные на равномерные сетки, а *ECA&D* и *NCDC* – массивы данных наблюдений непосредственно с отдельных метеостанций. Разумеется, во всех случаях показания берутся с одних и тех же метеостанций, но при этом используются различные методы отбраковки недостоверных данных, различные алгоритмы интерполяции и сглаживания. Как видно из рис. 3, а, в модели *RegCM* действительно завышено количество осадков над равнинной сушей к северу от Черноморского региона. Интересно отметить, что над самим Черным морем, как следует из рис. 3, б, расхождения результатов моделирования с данными реанализов относительно невелики, несмотря на то что пространственное разрешение модели *RegCM* в 5 – 6 раз меньше, чем у *ERA-Interim* и *MERRA* (см. Приложение 1). Как следует из рис. 2, это малое расхождение объясняется тем, что над морем расхождения в величинах конвективных и неконвективных осадков противоположны по знаку, но близки по модулю. Таким образом, в численных экспериментах необходимо корректировать расчет осадков только над сушей. Кроме того, для корректирования схем расчета осадков над морем данные наблюдений отсутствуют. В настоящее время разработаны методы, позволяющие косвенно оценить количество осадков над морем по спутниковым данным о яркостной температуре облаков или о количестве отраженной сол-

нечной радиации. Однако такие данные об осадках либо имеют грубое пространственное разрешение  $2,5 \times 2,5^\circ$  (массивы *GPCP*, *CMAP*) и не подходят для региональных исследований климата, либо содержат большие погрешности в районе Черного моря (массивы *TRMM*, *HOAPS*).



**Рис. 2.** Расхождения среднемесячных значений конвективных (*a*) и неконвективных (*б*) осадков, рассчитанных по модели *RegCM*. Осреднение по времени проводилось за период 1980 – 2013 гг.

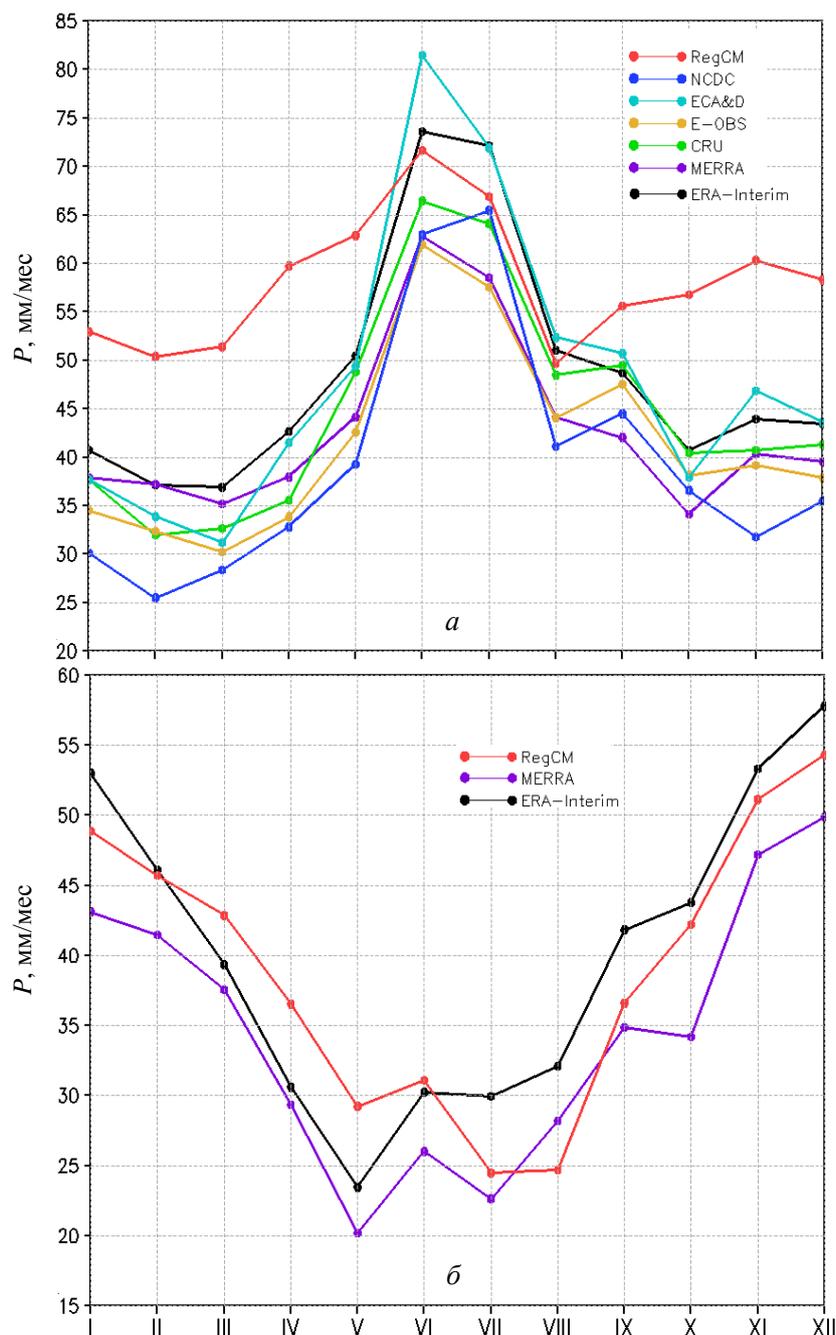
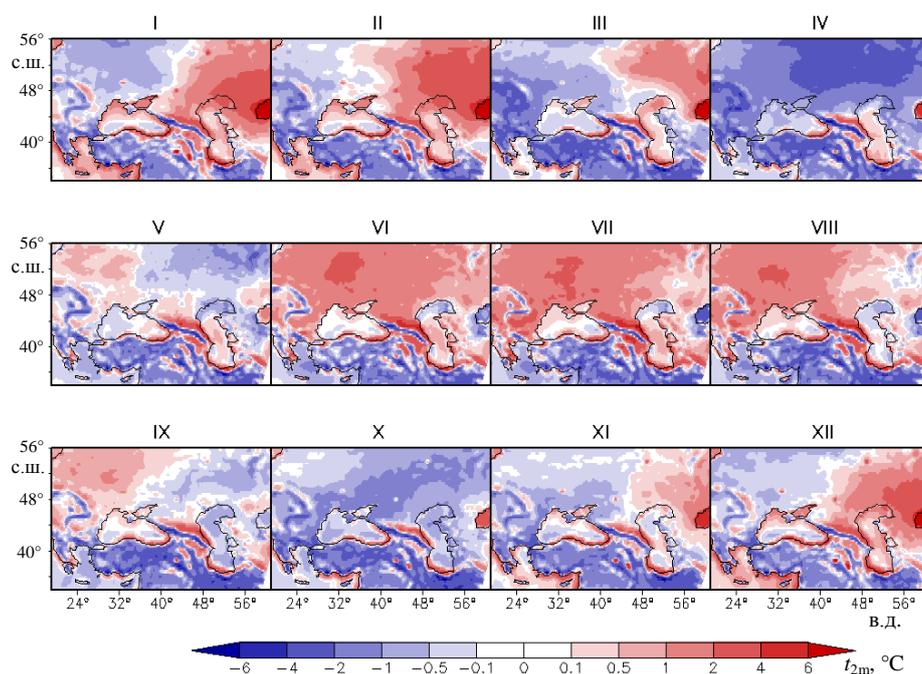


Рис. 3. Среднемесячные значения осадков, осредненные по области, выделенной на рис. 1, – а и по Черному морю – б. Осреднение проводилось по данным из различных источников за период 1980 – 2013 гг.

Согласно [7], завышение количества неконвективных осадков в модели *RegCM* корректировалось путем увеличения эмпирических коэффициентов  $C_{acc}$  и  $C_{evap}$  в схеме расчета таких осадков *SUBEX*. В нашем случае оставлены

без изменения значения этих коэффициентов для подстилающих поверхностей, относящихся к категориям «океан» или «внутренний водоем». Согласно [7, 8], схема *Grell*, используемая для расчета конвективных осадков, наиболее чувствительна к изменению величины  $\beta$ , а также к способу параметризации восходящего потока массы (формулы (1) или (2)).

**Результаты расчета температуры приповерхностного воздуха.** При сравнении среднемесячных полей температуры приповерхностного воздуха ( $t_{2m}$ ) из *ERA-Interim* и модели *RegCM* можно увидеть следующие расхождения (рис. 4). Во-первых, занижение температуры над Понтийскими горами, связанное, очевидно, с расхождениями в высоте рельефа: в реанализе *ERA-Interim* горы ниже, чем в модели *RegCM*. Во-вторых, завышение  $t_{2m}$  над сушей к северу от Черного моря летом и занижение зимой, что связано с погрешностями в воспроизведении осадков в этой области, рассмотренными выше.



**Рис. 4.** Разность между среднемесячными значениями температуры приповерхностного воздуха, полученными по модели *RegCM* и данным реанализа *ERA-Interim*. Осреднение по времени проводилось за период 1980 – 2013 гг.

Представляет интерес выяснить причину теплой аномалии над Аральским морем, поскольку если она связана с погрешностями модели, то достоверность результатов моделирования  $t_{2m}$  над Черным морем, находящимся в той же расчетной области, становится сомнительной. Как оказалось, теплая аномалия возникла из-за того, что входные данные модели о температуре воздуха и ТПМ взяты из разных источников. Температура воздуха получена из реанализа *ERA-Interim*, где среднемесячная температура Аральского моря

зимой на 10 – 15 К меньше, чем в климатических массивах *GISST* и *OI\_WK*, которые использовались для задания ТПМ при моделировании. Таким образом, указанная теплая аномалия не связана с погрешностями модели, а обусловлена тем, что в качестве входных данных использовались несогласованные между собой поля температуры воздуха и ТПМ для Аральского моря. Исправить этот недостаток можно, изменив во входных данных температуру поверхности Аральского моря.

**Численные эксперименты.** Прежде всего необходимо отметить, что схемы расчетов в модели хорошо согласованы: в результате изменения поля осадков соответствующим образом изменяются поля других метеорологических величин – приповерхностных температуры и давления, потока явного тепла от поверхности. В тех областях, где количество суммарных осадков уменьшилось, температура приповерхностного воздуха в целом увеличилась вследствие того, что уменьшилось охлаждение воздуха за счет испарения дождевых капель. И наоборот, области, в которых количество суммарных осадков возросло, соответствуют областям, в которых  $t_{2m}$  уменьшилась. Кроме того, области, в которых  $t_{2m}$  увеличилась, в целом соответствуют областям, в которых уменьшилось приповерхностное давление. Над сушей температура подстилающей поверхности в численных экспериментах качественно изменяется так же, как и  $t_{2m}$ . Температура поверхности моря в модели *RegCM* задается из входных данных, а не рассчитывается, поэтому поля ТПМ в численных экспериментах и контрольном прогоне не отличаются.

Численные эксперименты с моделью *RegCM* проводились следующим образом: в схеме расчета неконвективных осадков *SUBEX* изменялись коэффициенты  $C_{acc}$  и  $C_{evap}$ , в схеме расчета конвективных осадков над сушей *Grell* изменялись способ расчета плотности восходящего потока массы, а также величины  $\beta_{min}$  и  $\beta_{max}$ .

В связи с тем что для выбранной области (рис. 1) время моделирования одного года составляет ~1 сут, при проведении численных экспериментов расчеты по модели *RegCM* проводились для относительно небольшого 5-летнего периода 1979 – 1983 гг. Разумеется, по результатам моделирования всего лишь за 5-летний период нельзя получить климатические поля осадков, но главная цель экспериментов – установить, насколько модель *RegCM* чувствительна к изменению эмпирических коэффициентов в схемах расчета осадков, а, согласно [4], 5-летнего периода для проведения таких экспериментов по чувствительности достаточно.

В нашем случае оказалось, что изменение коэффициента  $C_{evap}$  приводит лишь к незначительным изменениям полей осадков. Кроме того, установлено, что результаты моделирования количества осадков почти не зависят от способов расчета в схеме *Grell* – формулы (1) или (2). Было обнаружено, что такие результаты наиболее чувствительны к изменению коэффициента  $C_{acc}$ , а также величин  $\beta_{min}$  и  $\beta_{max}$  (Приложение 2). На рис. 5 приведены среднemesячные значения осадков, осредненные по области, показанной на рис. 1, и по Черному морю. Как видно, выполненная коррекция в параметризации расчета осадков по модели *RegCM* позволила существенно уменьшить расхождение с наземными данными, при этом количество осадков, выпадающих над морем, почти не изменилось.

Для всех месяцев года модельные величины находятся в середине семейства кривых, а отклонения от данных прямых измерений в целом малы.

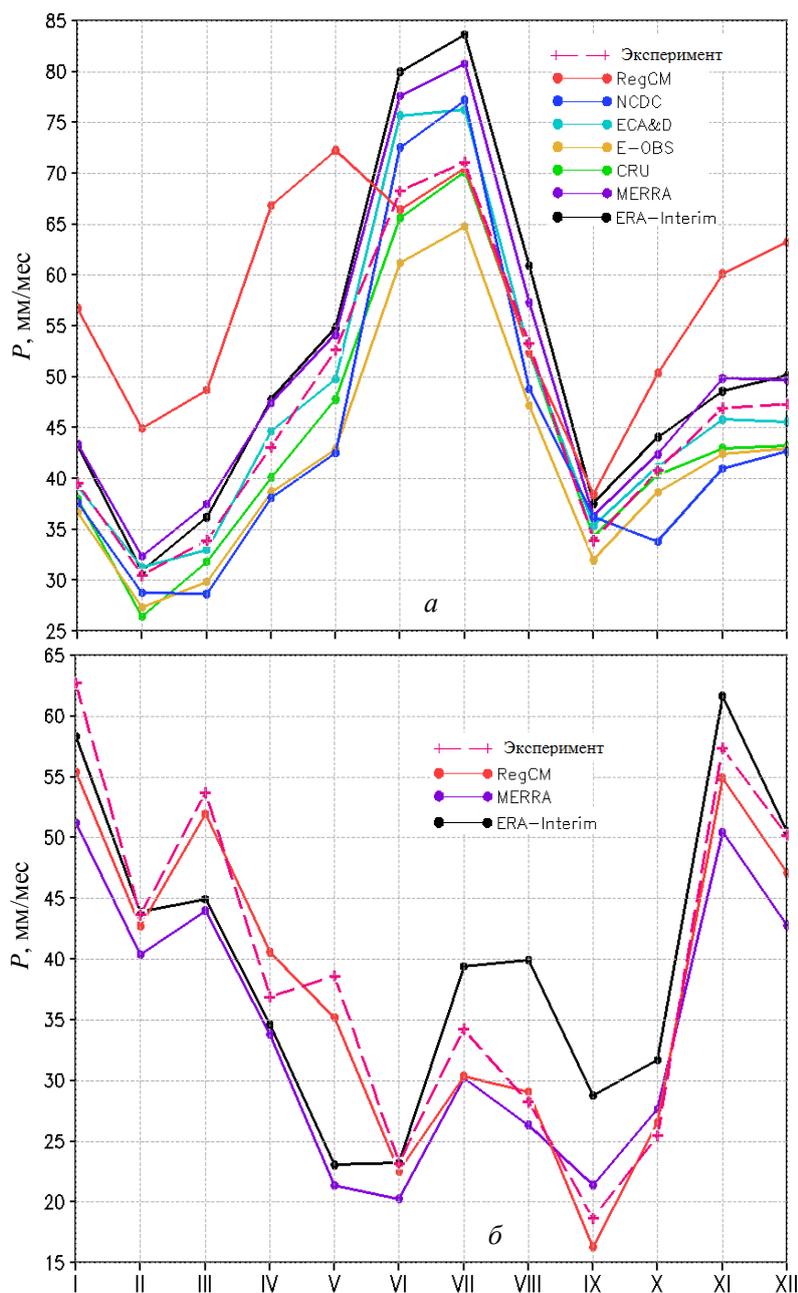


Рис. 5. То же, что на рис. 3, для периода 1980 – 1984 гг. Показаны результаты численного эксперимента

**Составляющие водного баланса Черного моря.** Уравнение баланса Черного моря имеет вид

$$V^+ - V^- = R + P - E,$$

где  $V^+$ ,  $V^-$  – приток и сток воды через проливы;  $R$  – речной сток;  $P$  – количество осадков;  $E$  – количество испарения. Разность  $E - P$  определяет расход воды через Босфорский, Керченский проливы и речной сток. В связи с отсутствием необходимых данных наблюдений количество осадков и испарение над Черным морем определяются путем расчетов, при этом, согласно [3], наиболее достоверные результаты дает региональное численное моделирование, т. е. пересчет данных реанализа с низким пространственным разрешением на сетку с более высоким разрешением. В работе [3] приводятся значения  $P$  и  $E$ , полученные при помощи региональной модели *HadRM3P (PRECIS)*. Представляет интерес сравнить их с соответствующими значениями, рассчитанными по результатам региональной модели *RegCM* (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

**Среднегодовое количество осадков и среднегодовое испарение, рассчитанные по различным моделям**

Модель, период расчета	$P$ , мм	$E$ , мм	$E - P$ , мм
<i>RegCM</i> , 1980 – 2013 гг.	475	844	<b>369</b>
<i>PRECIS</i> с <i>ERA-Interim</i> , 1990 – 2001 гг.	528	900	<b>372</b>
<i>PRECIS</i> с <i>ERA-40</i> , 1958 – 2001 гг. [3]	564	924	<b>360</b>

Поскольку в работе [3] в качестве входных данных для модели *PRECIS* использовался уже устаревший реанализ *ERA-40*, было проведено повторное региональное моделирование при помощи *PRECIS*, но уже с улучшенным реанализом *ERA-Interim* на входе модели. Как видно из табл. 1, величины  $P$  и  $E$  при этом изменились незначительно. Интересно отметить, что хотя осадки и испарение в модели *RegCM* в среднем меньше, чем в *PRECIS*, разность  $E - P$  в обеих модели отличается незначительно, что подтверждает оценку расхода воды через Босфорский, Керченский проливы и реки, приведенную в [3].

Также представляет интерес проверить, как изменилось количество осадков и испарения над Черным морем в численном эксперименте (см. Приложение 2).

Т а б л и ц а 2

**Среднегодовое количество осадков и среднегодовое испарение, рассчитанные по модели *RegCM* за период 1980 – 1984 гг.**

Расчеты	$P$ , мм	$E$ , мм	$E - P$ , мм
Контрольный прогон	461	807	<b>346</b>
Численный эксперимент	468	754	<b>286</b>

В эксперименте количество осадков, выпадающих над Черным морем (табл. 2), осталось практически неизменным, что ожидаемо, так как изменения в модель вносились таким образом, чтобы уменьшить количество осадков только над сушей. При этом испарение с поверхности Черного моря уменьшилось. Учитывая, что достоверная оценка разности  $E - P$  находится в диапазоне 350 – 370 мм/г, можно предположить, что в модели *RegCM* количество осадков над Черным морем все-таки завышено, несмотря на хорошее согласование с данными реанализа.

**Заключение.** В данной работе при помощи численных экспериментов проведена адаптация схем расчета конвективных и неконвективных осадков в модели *RegCM* для Черноморского региона. Было показано, что в модели завышено количество неконвективных осадков над равнинной сушей к северу от Черного моря, это подтверждено сравнением результатов расчетов по модели *RegCM* как с результатами реанализов, так и с данными наблюдений. Также было установлено, что над Черным морем расхождения результатов моделирования по *RegCM* с данными реанализа *ERA-Interim* относительно невелики вследствие того, что над морем количество конвективных осадков в модели *RegCM* занижено, а неконвективных – завышено. Поэтому изменения в модель вносились таким образом, чтобы уменьшить количество осадков, выпадающих только над сушей. Показано, что расхождения между среднемесячными полями температуры приповерхностного воздуха в *RegCM* и *ERA-Interim* связаны с различиями в высоте рельефа, погрешностями *RegCM*, завышающей количество осадков над равнинной сушей, и погрешностями входных данных модели.

Были проведены численные эксперименты с целью уменьшения среднемесячного количества неконвективных осадков над сушей. Установлено, что результаты моделирования осадков по *RegCM* наиболее чувствительны к изменению пороговой величины, определяющей удельное содержание облачных капель, при котором начинают формироваться облака, а также к изменению минимально и максимально возможных пороговых значений  $\beta$ . Характерная скорость испарения дождевых капель и способ расчета восходящего потока массы в облаке слабо влияют на результаты моделирования неконвективных осадков.

Несмотря на то что среднегодовые величины осадков и испарения над Черным морем в модели *RegCM* меньше, чем в *PRECIS*, разность  $E - P$  в обеих моделях составляет ~370 мм. То есть обе модели дают близкую оценку расхода воды в Черном море через Босфорский, Керченский проливы и речной сток. В численном эксперименте среднегодовое испарение с поверхности Черного моря уменьшилось, вследствие чего уменьшилась разность  $E - P$ . Если принять, что в контрольном прогоне была получена достоверная оценка  $E - P$ , то в модели *RegCM* необходимо корректировать также схемы расчета осадков над морем. Такое корректирование представляется темой для дальнейших исследований.

## Приложение 1

Приведем краткое описание использованных в работе климатических массивов данных об осадках.

Источник данных	Пространственное разрешение,	Период, гг.	Наличие данных об осадках над морем
<i>ERA-Interim</i>	0,5 × 0,5	1979 – 2012	Есть
<i>MERRA</i>	2/3 × 1/2	1979 – 2014	«
<i>E-OBS</i>	0,25 × 0,25	1950 – 2013	Нет
<i>CRU</i>	0,5 × 0,5	1901 – 2014	«
<i>ECA&amp;D</i>	Данные с отдельных метеостанций	1781 – 2015	«
<i>NCDC</i>		1929 – 2014	«
<i>RegCM</i>	0,11 × 0,11	1979 – 2013	Есть

## Приложение 2

Приведем значения эмпирических коэффициентов для наиболее успешного численного эксперимента:  $\beta_{\min} = 0,2$ ,  $\beta_{\max} = 0,45$ , а также  $C_{\text{acc}}$  в разные месяцы года.

$C_{\text{acc}}$	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Над сушей	14	16,5	14	15	25	0,2	0,4	0,4	3	3	7	9
Над морем	5	6	4,5	6	7,5	0,2	0,2	0,2	2	2	3	3,5

Примечание. Изначально в модели *RegCM* приняты следующие обозначения:  $\beta_{\min} = 0,25$ ,  $\beta_{\max} = 0,5$ ,  $C_{\text{acc}} = 0,4$ .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Elguindi N., Bi X., Giorgi F. et al.* Regional climatic model RegCM user manual. Version 4.3. – URL: <https://gforge.ictp.it/gf/download/docmanfileversion/31/753/ReferenceMan.pdf> (дата обращения: 16.02.2016).
2. *Анисимов А.Е., Яровая Д.А., Барабанов В.С.* Реанализ атмосферной циркуляции для Черноморско-Каспийского региона // Морской гидрофизический журнал. – 2015. – № 4. – С. 14 – 28.
3. *Ефимов В.В., Белокопытов В.Н., Анисимов А.Е.* Оценка составляющих водного баланса Черного моря // Метеорология и гидрология. – 2012. – № 12. – С. 69 – 76.
4. *Giorgi F., Coppola E., Solmon F. et al.* RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains // Clim. Res. – 2012. – 52. – P. 7 – 29.

5. *Dee D.P., Uppala S.M., Simmons A. J. et al.* The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system // *Quart. J. Roy. Met. Soc.* – 2011. – 137. – P. 553 – 597.
6. *Grell G.A.* Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations // *Mon. Wea. Rev.* – 1993. – 121. – P. 764 – 787.
7. *Giorgi F., Marinucci M.R., Bates G.T. et al.* Development of a second-generation regional climate model (RegCM2). Part II: Convective processes and assimilation of lateral boundary conditions // *Ibid.* – 1993. – 121. – P. 2814 – 2832.
8. *Giorgi F., Elguindi N., Cozzini S. et al.* Regional climatic model RegCM user's guide. Version 4.3. – URL: <https://gforge.ictp.it/gf/download/docmanfileversion/33/755/UserGuide.pdf> (дата обращения: 16.02.2016).

## **Numerical climatic estimations of precipitation and surface air temperature for the Black Sea region**

**D.A. Iarovaia, V.V. Efimov**

*Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia*  
*e-mail: vefim38@mail.ru, daryk777@inbox.ru*

Parameterization schemes for calculating precipitation used in the regional model *RegCM* are adapted to the Black Sea region. The divergences between the results of the *RegCM* modeling and the *ERA-Interim* reanalysis data are considered in details on the example of the monthly average fields of precipitation and surface air temperature. The performed numerical experiments are aimed at decreasing overstating of the precipitation amount over the flat land to the north from the Black Sea. It is defined which changes in the schemes for calculating precipitation in the Black Sea region produce the strongest influence upon the *RegCM*-derived precipitation amount. The data on the annual average precipitation and evaporation in the Black Sea permit to specify the estimate of the total water discharge through the Bosphorus and Kerch straits, and river runoffs.

**Keywords:** Black Sea region, climate regional modeling, parameterization of precipitation, reanalysis.