

УДК 551.582; 551.583

И.В. Каипов¹
Канд. техн. наук Н.Р. Юничева²
Канд. геогр. наук И.Б. Есеркепова²
К. Бостанбеков²

ПОДБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЧИСЛЕННОЙ РЕГИОНАЛЬНОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ (РКМ) ДЛЯ ДОМЕНА «ЦЕНТРАЛЬНАЯ АЗИЯ»

Ключевые слова: климат, региональная климатическая модель, численные эксперименты, оптимальные параметры

Численные эксперименты на основе региональной климатической модели позволили подобрать оптимальные параметры для воспроизведения таких элементов климатической системы, как приземная температура, и осадки. В качестве граничных и начальных условий использовались данные реанализа Era-Interim Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды. Климатическая модель с оптимально заданными параметрами, даст возможность оценить параметры будущего климата в пределах домена Центральная Азия при различных сценариях выбросов парниковых газов.

Для исследования задач окружающей среды, вызванных все более быстро меняющимся климатом, требуются и более совершенные комплексные модели, включающие процессы взаимодействия атмосферы, водной среды, суши, криосферы и биоты. Главной методологической основой для решения задачи прогнозных оценок будущих параметров климата является численное моделирование климатической системы с помощью глобальных климатических моделей, основой которых являются глобальные модели общей циркуляции атмосферы и океана [1]. Ясно, что усовершенствование моделей климата требует формулирования более точных моделей конкретных физических процессов, определяющих динамику климатической системы. Основной задачей является определение чувствительности реальной климатической системы к малым внешним воздействиям. Необходимо решить последовательность следующих задач:

¹ Национальный центр космических исследований и технологий, Казахстан;

² Институт информационных и вычислительных технологий, Казахстан.

воспроизведение современного состояния климата, т.е. понимание физических механизмов формирования и его математическое описание; оценка возможных изменений климата под влиянием малых внешних воздействий – чувствительности климатической системы; прогноз изменений климата – проекция будущего климата.

В настоящее время глобальные и региональные гидродинамические модели являются одним из основных инструментов для изучения изменений климата под воздействием антропогенных и природных факторов. Глобальные модели общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) используются для изучения прошлого и текущего климата и на их основе получены проекции его изменений в будущем. Несмотря на то, что МОЦАО постоянно совершенствуются, дополняются модулями, описывающими криосферу, сушу и биоту, их пространственное разрешение в настоящее время еще недостаточно для корректного описания региональных особенностей атмосферных процессов, связанных с неоднородностями подстилающей поверхности, таких, как орография, характеристики почвы и растительности, очертания береговых линий. Для устранения этих недостатков при моделировании регионального климата применяют мезомасштабные гидродинамические модели, которые имеют более высокое пространственное разрешение и в которых учитываются локальные климатообразующие факторы.

Модели различных пространственных масштабов предназначены для различных целей. Модели общей циркуляции атмосферы используются для долгосрочных прогнозов и исследований изменения климата. Модели синоптического масштаба предназначены для прогноза развития (эволюции) синоптических объектов (циклонов, антициклонов и др.) размером в сотни и тысячи километров. По таким моделям прогнозируются только крупномасштабные вертикальные движения. Мезомасштабные модели предназначены для описания процессов, в которых вертикальные движения играют равную или ведущую роль (конвекция, нисходящие токи, атмосферные вихри) с горизонтальными движениями. В таких моделях можно проследить вихревые движения непосредственно по трехмерному полю скоростей.

Система уравнений определяет физические свойства и возможности модели описывать различные физические процессы, в том числе процессы различных пространственных масштабов: общециркуляционные процессы (глобальные макромасштабные), процессы синоптического масштаба, мезомасштабные и/или микромасштабные процессы.

В моделях общей циркуляции атмосферы и моделях синоптического масштаба интегрируются 2 уравнения движения (только горизонтальные компоненты скорости ветра). Вертикальные скорости определяются из диагностических соотношений (как правило, по уравнению неразрывности). В таких моделях плотность воздуха считается постоянной, а атмосфера квазигидростатической, производные от плотности воздуха по времени $d\rho/dt = 0$ (плотность не меняется со временем) и система уравнений упрощается. Упрощение касается также и ряда членов уравнений, величина которых существенно меньше (на 2...3 порядка) величины основных слагаемых. В таких моделях нет смысла использовать малый шаг по горизонтали, так как сама система уравнений ограничивает возможность описания процессов «подсеточного масштаба», т.е. процессов, пространственные масштабы развития которых, меньше горизонтального шага сетки.

В мезомасштабных моделях интегрируются все три уравнения движения, и вертикальная составляющая скорости ветра является эволюционной переменной – по отношению к ней записывается уравнение изменения во времени (уравнение эволюции характеристики). Атмосфера считается сжимаемой, плотность единицы воздушной массы переменная.

Региональное моделирование климата состоит в интегрировании региональной климатической модели (PKM) при использовании на боковых границах области исследования выходных данных глобальных климатических моделей. Следует отметить, что региональная климатическая модель, для выбранного домена исследований, требует настроек путем варьирования эмпирических коэффициентов в схемах параметризации, использования различных схем, описывающих микрофизику, планетарный пограничный слой, потоки коротковолновой и длинноволновой радиации и т.п.

В настоящем исследовании подбор параметров выполнялся для региональной климатической модели WRF (Weather Research and Forecasting). Модель WRF (Weather Research and Forecasting) это система для прогнозирования погоды и моделирования атмосферных процессов, пригодная как для оперативных, так и для исследовательских целей. Система является эффективным инструментом для разработки методов ассимиляции данных, параметризации процессов подсеточного масштаба, прогноза погоды и моделирования регионального климата [2, 3, 4, 6]. Модель WRF разработана в Национальном центре атмосферных исследований (National Center for Atmospheric Research, NCAR) совместно с Университетской корпорацией атмосферных исследований (University Corporation for Atmospheric Research, UCAR). Мо-

дель WRF представляет собой систему взаимодействующих модулей: модуль, обеспечивающий подготовку начальных и граничных данных (WRF Preprocessing System); вычислительный модуль – решающее ядро (Advanced Research WRF); модуль обработки результатов вычислений (WRF Postprocessing System). Большая часть модели, связанная с расчётами, написана на языке Fortran. Для обмена сообщениями используется программный интерфейс библиотеки MPI. На языке C созданы сервисные модули для работы с входными и выходными данными.

Система WRF состоит из следующих основных блоков: предварительной обработки (WRF Preprocessing System, WPS), инициализации, модели WRF (динамические модули ARW и параметризация) и системы подготовки и вывода модельной продукции (WRF-POST).

Система предварительной обработки представляет собой комплекс из трех программ, который готовит входные данные для программы инициализации `real.exe` при расчетах по реальным начальным данным. В первой программе `geogrid` определяются модельные области, и производится интерполяция географических и статических переменных в узлы сетки. Во второй программе `ungrib` выбираются необходимые поля из выходных данных глобальных моделей. В третьей программе `metgrid` производится горизонтальная интерполяция метеорологических полей в узлы модельных сеток, определенных в программе `geogrid`.

Инициализация данных производится в программе `real`, где выполняется вертикальная интерполяция начальных данных в орографические координаты модели и формируются граничные и начальные условия по данным глобальных моделей.

Динамический блок модели включает динамическое ядро и набор параметров физических процессов. Параметры для инициализации модели выбираются заданием соответствующих значений в списке переменных (`namelist.input`). Уравнения модели записаны с использованием вертикальной координаты η следующей за орографическими неровностями земной поверхности и выраженной через компоненты гидростатического давления.

$$\eta = (ph - pht) / \mu,$$

где $\mu = phs - pht$, ph – гидростатическое давление, phs и pht – соответственно его значения вдоль земной поверхности и на верхней границе. Такая координатная система была предложена в работе [7] и традиционно применяется во многих гидростатических моделях атмосферы. Величина η меняется от 1 у земной поверхности до 0 на верхней границе (рис. 1).

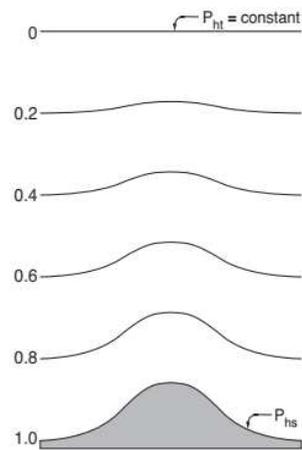


Рис. 1. Схема представления η координаты.

В модели WRF, численно решается система уравнений гидротермодинамики атмосферы с учетом процессов происходящих в верхних слоях, на поверхности суши или водных объектов. Для описания физических процессов подсеточного масштаба в атмосфере и подстилающей поверхности пользователь может воспользоваться разнообразным набором схем параметризации, включающих: микрофизику образования водяного пара, облаков, осадков; радиационные процессы, учитывающие длинноволновую и коротковолновую солнечную радиацию; обмен теплом и влагой между атмосферой и подстилающей поверхностью; процессы в почве, позволяющие учесть распределение температуры и влажности в нескольких слоях почвы, процессы замерзания и оттаивания почвы, физику снежного покрова; учитывать турбулентность в пограничном слое и свободной атмосфере, вертикальные градиенты температуры воздуха и ветра, высоту пограничного слоя.

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. Также использовать разные схемы 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.

В модели WRF имеется обширная библиотека процедур, описывающих физические процессы в пограничном слое атмосферы, на подстилающей поверхности и в почве. Набор различных процедур для описания одних и тех же физических процессов дает возможность подобрать комбинацию, наилучшим образом описывающую физические процессы в атмосфере с учетом местных условий и заданных пространственных масштабов. Важным этапом конфигурирования модели для расчета проекций будущего климата является оптимальный выбор схем параметризации. Комбинирование всех возможных вариантов схем не представляется возможным. Исходя из того, что для климатических оценок в настоящем исследовании основное внимание уделяется скорости приповерхностного ветра, осадкам и испарению, были более подробно рассмотрены схемы параметризации пограничного слоя и микрофизических процессов.

Для микрофизических процессов есть возможность использовать 9 вариантов параметризации с различной степенью учета гидрометеоров в жидкой и твердой фазах и соответствующих им процессов. В микрофизические схемы включены процессы, связанные с водяным паром, облаками и осадками. Основная разница между схемами состоит в количестве рассматриваемых гидрометеоров. В работе [7], посвященной исследованию Каспийского моря на основе сопряженных моделей атмосферы, моря и волн, протестированы 2 схемы. В одномоментной схеме Томпсона [8] используются 5 гидрометеоров (вода в облаках, осадки, лед в облаках, снег и снежная крупа), а благодаря использованию таблицы поиска, для льда в облаках также прогнозируется числовая концентрация, как и в двух моментных схемах. В одномоментную схему WRF Single Moment 6-class (WSM6) [9] кроме водяного пара, воды в облаках, льда в облаках и снега добавлена снежная крупа.

Разница между этими микрофизическими схемами была рассмотрена в [5], при исследованиях на калифорнийском побережье США. Было отмечено, что концентрация отдельного гидрометеора широко варьировалась в различных схемах, однако общее количество материала в облаке оставалось приблизительно одинаковым. Также выявлено, что обе схемы завышают количество дождевых осадков, а схема WSM6 дает большее количество осадков, чем схема Томпсона. В работе [5] показано, что облачность на всех ярусах зависит как от схем на границах, так и от микрофизики.

В модели WRF могут быть выбраны 4 варианта параметризации пограничного слоя, дающие вертикальные турбулентные потоки количе-

ства движения, тепла и влаги. Рассмотрим две наиболее часто используемые в исследованиях климата параметризации.

Параметризация Меллора-Ямады-Янича (Mellor-Yamada-Janjic (MYJ)) строится на уравнении турбулентной кинетической энергии, в правую часть которого входят члены, зависящие от вертикальных градиентов ветра и потенциальной температуры, которые продуцируют турбулентную кинетическую энергию. Масштаб длины, входящий в уравнение, рассчитывается по формуле, предложенной в работе Меллора и Ямады.

Расчеты выполняются в следующем порядке: рассчитывается турбулентная кинетическая энергия, а затем масштаб длины. После этого рассчитываются коэффициенты двух уравнений замыкания. Решением этих уравнений находятся значения двух вспомогательных функций для потоков количества движения и тепла, а по ним определяются коэффициенты вертикального турбулентного обмена для количества движения, тепла и пассивного скаляра.

Параметризация университета Ёнсей (YSU) является модификацией параметризации MRF, которая относится к классу так называемых нелокальных моделей. Не локальность состоит в том, что вводится поправка к локальному градиенту, которая учитывает вклад крупных вихрей. В схеме производится расчет коэффициента вертикального обмена для количества движения с использованием информации о вертикальных градиентах температуры и ветра, рассчитывается турбулентный аналог числа Прандтля, и определяется коэффициентом турбулентности для использования в уравнениях переноса температуры и влажности. Вклад от крупных вихрей определяется в зависимости от величины конвективных потоков на верхней границе приземного слоя, которые выражаются через функции устойчивости. По сравнению со схемой MRF, в схему YSU добавлен слой вовлечения на верхней границе пограничного слоя. Вовлечение предполагается пропорциональным потоку плавучести в приземном слое, что соответствует результатам прямого моделирования неустойчиво стратифицированного пограничного слоя. Это позволило понизить рассчитываемую высоту пограничного слоя, которая в схеме MRF систематически завышалась.

В настоящем исследовании, с использованием модели WRF, потоки количества движения и энергии для поверхностного слоя рассчитываются по схемам, основанным на теории подобия Монина-Обухова [8], которая одинаково пригодна как для поверхности суши, так и водной поверхности. Скрытый поток тепла в теории определяется соотношением:

$$E_q = L_e \rho M C_q U (q_s - q_\alpha),$$

где L_e – скрытая теплота парообразования, ρ – плотность воздуха, M – коэффициент влажности (пределы изменения величин от 0 до 1), U – скорость ветра, q_s и q_α – удельная влажность поверхности и воздуха соответственно.

Массовый переходной коэффициент C_q – рассчитывается по формуле:

$$C_q = \frac{k^2}{\left[\ln\left(\frac{z}{z_0}\right) - \psi\left(\frac{z}{L}\right) \right]^2},$$

здесь k – постоянная Кармана, $\psi\left(\frac{z}{L}\right)$ – функция стабильности, которая зависит от масштаба длины Монино-Обухова L .

В модели WRF необходимо задать трехмерные начальные и граничные условия для температуры, относительной влажности, высоты геопотенциала и горизонтальных скоростей ветра, а также 2-мерные поля приповерхностного давления, относительной влажности, скоростей ветра, температуры у поверхности суши и водных объектов.

Для оценки точности воспроизведения текущего состояния регионального климата на основе РКМ, а также инициализации модели в настоящей работе используется данные реанализа ERA-Interim с шести часовым интервалом. Данные ERA-Interim имеют пространственное разрешение $1,5^\circ$ градуса по всей поверхности Земли, что составляет около 150 км для домена Центральной Азии. Поля метеорологических параметров представлены с интервалом 6 часов, на 37 изобарических уровнях.

Следует отметить, что данные реанализа ERA-Interim, по мнению многих исследователей, являются наиболее полными с точки зрения количества представленных метеорологических параметров, а также качества их воспроизведения. Продукт ERA-Interim нашел широкое применение для исследований в области прогнозов погоды и климата на основе численных гидродинамических моделей.

Несмотря на то, что глобальные климатические модели дают информацию о том, как климат Земли может измениться в будущем, последствия изменения климата и стратегии адаптации, необходимые для их решения, будут рассматриваться в региональных и национальных масштабах. Поэтому региональное климатическое моделирование в рамках про-

граммы CORDEX играет важную роль, предоставляя проекции будущего климата с гораздо большей детализацией и более точным представлением локальных экстремальных явлений. Программа CORDEX – это инициатива призванная объединить усилия региональных групп исследователей для предоставления региональной климатической информации конечным пользователям, обмена опытом и создание научного потенциала через проведение совместных семинаров и публикаций. Региональные исследовательские группы CORDEX являются частью глобальной программы исследования климата – World Climate Research Programme (WCRP) и сотрудничают с другими группами по глобальному изменению.

Вся земная поверхность разделена на домены – области исследования текущего и будущего климата на основе региональных статистических и динамических моделей (исключая области релаксации модели). В настоящее время определено 14 доменов с пространственным разрешением $0,44 \times 0,44^\circ$, что приблизительно соответствует 50 км. Каждый новый домен должен соответствовать определенным требованиям и быть одобрен научной группой – Science Advisory Team (SAT). Оценивается научная значимость выбранной территории, какая информация будет получена в результате исследований, требуются ли дополнительные сопряженные модели (т.е. модели моря или озера). Домен должен включать специфические физические процессы, важные для климатологии выбранного региона. Иметь мезомасштабные или меньшие пространственно-временные размеры, которые не отражаются более грубыми глобальными моделями. Еще одним критерием является дополнительная информация, получаемая региональными моделями по сравнению с глобальными.

Оценивается также потребность в полученной информации для конечных пользователей (международные и региональные организации, частные компании, научные сообщества и т.д.), принимающих решения по мерам адаптации и смягчению последствий изменения климата.

Необходима оценка имеющихся вычислительных ресурсов для выполнения значительного объема расчетов в соответствии со спецификациями CORDEX – пространственное разрешение региональных моделей, временной период, сценарии изменения климата. Определяется приблизительное количество численных экспериментов, количество исследовательских групп.

Для определения конфигурации домена исследований проводятся численные эксперименты по определению его чувствительности к размерам и пространственному разрешению. Позволяет ли выбор набора физи-

ческих параметров (модели земной поверхности, конвекции, радиации, облачности) более точно моделировать региональный климат. Основываясь на изложенных критериях, определяется домен исследований.

Домен Центральной Азии определен научной группой Science Advisory Team (SAT) и выглядит следующим образом (рис. 2):

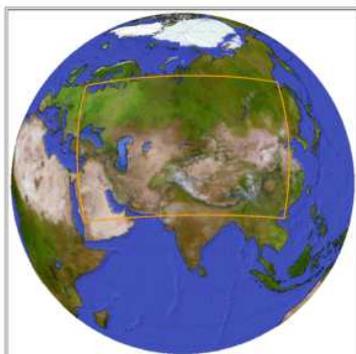


Рис. 2. Домен Центральная Азия.

Территория выбранного региона обширна и занимает огромное пространство суши земной поверхности. Она простирается на тысячи километров по Евразии, содержит большое количество рек и озёр. Рельефность поверхности изменяется от высоких гор до низменностей, лежащих ниже уровнем моря. Включает несколько климатических зон – областей земной поверхности, внутри которых приблизительно однородный климат по всей их протяжённости.

Целью численных экспериментов в настоящем исследовании является оценка того, насколько модель адекватно отражает процессы, происходящие в атмосфере, на суше и водной поверхности, при взаимном влиянии, ошибки воспроизведения данных наблюдений и ограничения модели. Результаты наземных наблюдений и дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) обеспечивают модель входными данными и также используются для калибровки и верификации, а моделирование в дальнейшем позволяет получить характеристики сред для неизученных ситуаций. Климатическая модель с оптимально заданными параметрами, позволит провести численные эксперименты по оценке будущего климата в пределах домена Центральная Азия при различных сценариях выбросов парниковых газов.

В настоящей работе рассматриваются 3 различных варианта задания параметров модели WRF. Используется комбинация схемы планетарного пограничного слоя MYJ PBL в сочетании с микрофизикой Томпсона (Thompson microphysics); во втором варианте используется та же микрофизика, но пара-

метры пограничного слоя задаются по схеме YSU PBL; в третьем варианте используется микрофизика WSM6 в комбинации с YSU схемой.

Результаты расчетов приземной температуры для исследуемого домена Центральной Азии показали, что все 3 комбинации схем микрофизики и пограничного слоя адекватно отражают сезонные годовые колебания. На рис. 3 показаны поля приземной температуры, полученные по выходным данным модели и интерполированным в узлы пространственной сетки данным наблюдений CRU – Climate Research Units.

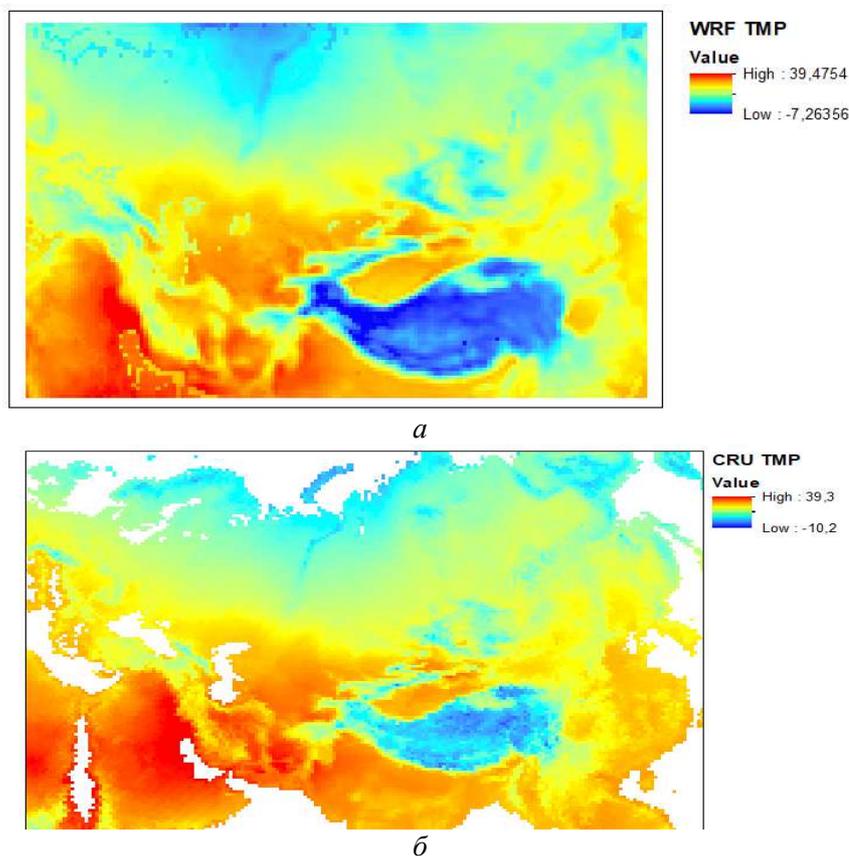


Рис. 3. Поля приземной температуры по данным расчетов (а) и наблюдений (б).

Годовой ход температуры для данных CRU и WRF, приведенный в качестве примера для г. Алматы, показывает хорошее соответствие (рис. 4).

Разница температурных полей между расчетными и наблюдаемыми данными лежит в диапазоне ± 9 °С. Пространственная изменчивость разности температур зависит от сложности рельефа, а также от количества наблюдательных станций и их частоты (рис. 5).

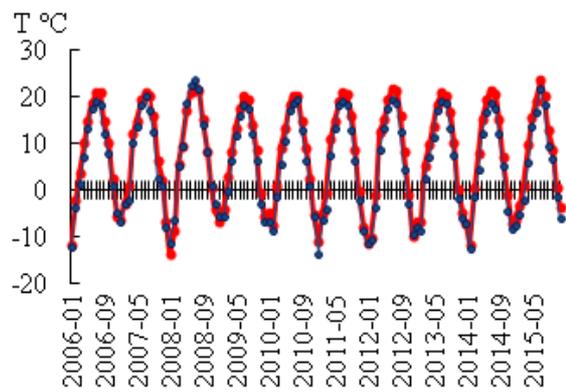


Рис. 4. Годовой ход приземной температуры по данным CRU (красная линия) и WRF (синяя линия).

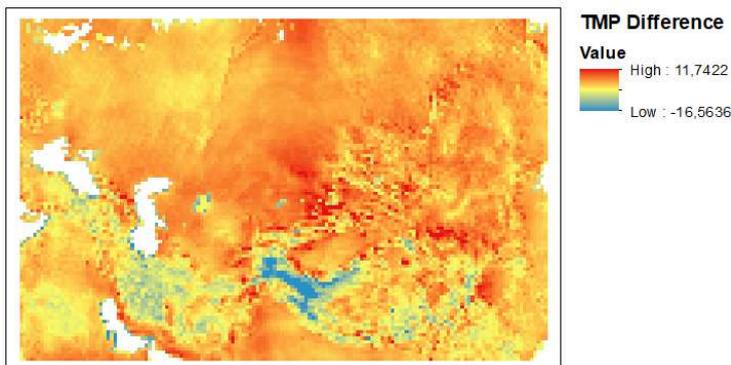


Рис. 5. Разница температур между данными CRU и WRF.

Анализ выходных данных модели показал, что схема с микрофизикой WSM6 в комбинации с YSU схемой завышает отрицательные значения приземной температуры в холодный период (рис. 6).

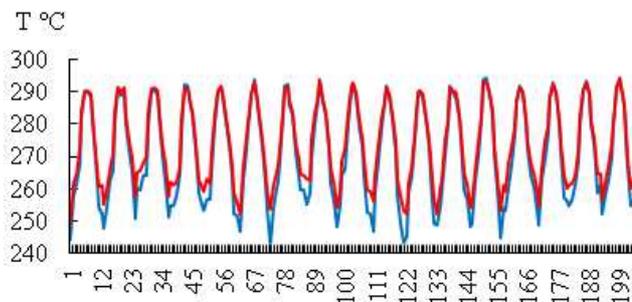


Рис. 6. Годовой многолетний ход температуры с использованием схем MYJ PBL + Thompson (красная линия) и WSM6 + YSU (синяя линия).

Осадки в модели WRF рассчитывались по трем уже упомянутым выше схемам параметризации.

Дождевые осадки для всех схем схожи, однако, для параметризации с заданием WSM6-микрофизика – значительно выше в местах их интенсивного выпадения. Как результат средние за год осадки по схеме WSM6 завышают данные при использовании схемы YSU-Thompson, а для схемы MYJ-Thompson эта величина имеет небольшие отклонения от схемы YSU-Thompson, что говорит о незначительной разнице при использовании различных схем параметризации пограничного слоя.

В исследовании [5] было проведено сравнение данных мульти-спутникового анализа, продукта 3B43 (the TRMM Multi-Satellite Precipitation Analysis (TMPA)) с данными наземных наблюдений глобального климатического центра осадков (Global Precipitation Climatology Center (GPCC)). Результаты сравнения показали, что сезонные данные 3B43 хорошо согласуются с данными GPCC как в пространственном распределении, так и во временных вариациях. Комбинация TMPA и GPCC позволила повысить точность данных и расширить их пространственный диапазон от 50° с.ш. до 50° ю.ш.

Осадки за период с 1 декабря 2007 г. по 1 декабря 2008 г., полученные по результатам моделирования, сравнивались с данными, полученными по спутниковым наблюдениям TRMM-GPCC. Для оценки результатов моделирования с использованием различных схем параметризации было проведено сравнение годовых сумм осадков с данными космического мониторинга. Моделирование с микрофизикой Томпсона слегка недооценивает общее количество осадков, а значения по схеме WSM6 больше, чем спутниковые наблюдения. Основываясь на полученных результатах, можно сделать вывод, что данные моделирования с использованием схем параметризации для пограничного слоя MYJ PBL и микрофизики Thompson хорошо согласуются с данными наблюдений за осадками.

В заключение необходимо отметить, что численная региональная модель WRF с подобранными схемами параметризации, по результатам калибровки и верификации, может быть использована для моделирования проекций будущего климата в пределах домена Центральная Азия для различных сценариев содержания парниковых газов в атмосфере (RCP 4.5, RCP 8.5).

Данная работа выполнена при поддержке грантового финансирования научных проектов КН МОН РК № AP05135848 «Моделирование будущего климата Центральной Азии в рамках международного проекта CORDEX (COordinated Regional climate Downscaling Experiment)».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шерстюков Б.Г., Салугашвили Р.С. Новые тенденции в изменениях климата Северного полушария Земли в последнее десятилетие // Тр. ГУ ВНИИГМИ-МЦД. – 2010. – Вып. 175. – С. 43-51.
2. Klemp J.B., Skamarock W.C., and Dudhia J. Conservative split-explicit time integration methods for the compressible nonhydrostatic equations *Mon. Wea. Rev.*, 2007:135, 20-36.
3. Michalakes J., Chen S., Dudhia J., Hart L., Klemp J., Middlecoff J. and Skamarock W. Development of a Next Generation Regional Weather Research and Forecast Model. *Developments in Teracomputing: Proceedings of the Ninth ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology*. Eds. Walter Zwiefelhofer and Norbert Kreitz // World Scientific. – 2001. – P. 269-275.
4. Michalakes J., Dudhia J., Gill D., Henderson T., Klemp J., Skamarock W., and Wang W. The Weather Research and Forecast Model: Software Architecture and Performance. *Proceedings of the Eleventh ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology*. Eds. Walter Zwiefelhofer and George Mozdzyński // World Scientific. – 2005, P. 156-168.
5. Schneider et al (2017): Evaluating the Hydrological Cycle over Land Using the Newly-Corrected Precipitation Climatology from the Global Precipitation Climatology Centre (GPCP).
6. Skamarock W. et al, A Description of the Advanced Research WRF Version 2, NCAR Technical Memorandum, NCAR/TN-468+STR, 2005.
7. Takle E.S., and Coauthors, 1999: Project to Intercompare Regional Climate Simulations (PIRCS): Description and initial results. *J. Geophys. Res.*, 104 (D16), 19 443–19 461. Tao, W.-K., and J. Simpson, 1989: Modeling study of a tropical squall-type convective line. *J. Atmos. Sci.*, 46, 177–202.
8. Tao, W.-K., and J. Simpson, 1989: Modeling study of a tropical squall-type convective line. *J. Atmos. Sci.*, 46, 177–202.
9. Zhu, J., and X.-Z. Liang, 2005: Regional climate model simulation of U.S. soil temperature and moisture during 1982–2002. *J. Geophys. Res.*, 110, D24110, doi:10.1029/2005JD006472.

Поступила 26.09.2018

	И.В. Каипов
Техн. ғылымд. канд.	Н.Р. Юничева
Геогр. ғылымд. канд.	И.Б. Есеркепова
	К. Бостанбеков

«ОРТАЛЫҚ АЗИЯ» ДОМЕНІНЕ АРНАЛҒАН САНДЫҚ АЙМАҚТЫҚ КЛИМАТТЫҚ МОДЕЛЬДІҢ ОҢТАЙЛЫ ПАРАМЕТРЛЕРІН ТАҢДАУ

Түйінді сөздер: климат, өңірлік климаттық модель, сандық эксперимент, оңтайлы параметрлер

Аумақтық климаттық моделі негізінде сандық тәжірибелер, климаттық жүйенің жер беті температурасы және жауын-шашын сияқты элементтерін шығаруға тиімді параметрлерді таңдап алуға мүмкіндік берді. Шекаралық және бастапқы шарттар ретінде Еуропалық орталықтың ауа-райының орташа тәуліктік болжауының Era-Interim қайта талдау мәліметтері қолданылды. Тиімді тапсырылған параметрлермен климаттық моделі, Орталық Азия домені шегіндегі парникті газдардың шығарылуының әртүрлі сценарилері бойынша болашақ климат параметрлерін бағалауға мүмкіндік береді.

Kaipov I.V., Yunicheva N.R., Yesserkepova I.B., Bostanbekov K.

SELECTION OF OPTIMAL PARAMETERS OF THE NUMERICAL REGIONAL CLIMATIC MODEL (RCM) FOR THE CENTRAL ASIA DOMAIN

Key words: climate, regional climate model, numerical experiments, optimal parameters

Based on a regional climate model the numerical experiments made it possible to select the optimal ones for reproducing such elements of the climate system as the surface temperature and precipitation. As the boundary and initial conditions the data of the Era-Interim European Center for Medium-Range Forecasts reanalysis were used. The climate model with optimally specified parameters will provide an opportunity to assess the parameters of the future climate within the Central Asia domain under different greenhouse gas emission scenarios.