

**СОЗДАНИЕ АРХИВА ИСТОРИЧЕСКИХ ДАННЫХ КЛИМАТА  
ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ  
ПРОЕКТА CORDEX ПРИ ПОМОЩИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ  
МЕЗОМАСШТАБНОЙ МОДЕЛИ WRF**

*Каипов Ильдан Валиевич, ildan.kaipov@gmail.com,*

*Юничева Надия Рафкатовна, naduni@mail.ru,*

*Алимова Анель Нурданбековна, anic2002@mail.ru,*

*Бостанбеков Кайрат Аратович, kairat.boss@gmail.com*

*Институт информационных и вычислительных технологии КН МОН РК,*

*Казахский национальный исследовательский технический*

*университет имени К.И. Сатпаева, г. Алматы*

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, 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].

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 [2-5]. Модель 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.

В модели WRF численно решается система уравнений гидротермодинамики атмосферы с учетом процессов, происходящих в верхних слоях атмосферы, на поверхности суши или водных объектов. Для описания физических процессов подсеточного масштаба в атмосфере и подстилающей поверхности можно воспользоваться разнообразным набором схем параметризаций, включающих следующие наборы:

- 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.

Для моделирования регионального климата на основе мезомасштабных моделей необходимо задание граничных и начальных условий, что требует предварительной обработки данных. Подготовка входных данных является основой достоверности результатов. В среде моделирования WRF для предварительной обработки данных используется предпроцессинговый модуль WPS (WRF Preprocessing System, WPS). В модуле WPS производится установка статических полей: рельефа, типа почв, типа

подстилающей поверхности, чтение анализов и прогнозов из материнской модели и горизонтальная интерполяция всех полей в узлы вычислительной сетки модели. При работе с реальными полями активируется блок `real`, где производится интерполяция на  $\eta$  - уровни орографической системы координат, а также инициализация модели.

Процесс подготовки данных состоит из нескольких последовательных этапов. На первом шаге в программе `geogrid` определялась модельная область (домен исследований) и производилась интерполяция географических и статических переменных в узлы расчетной сетки.

Для выбора домена исследования и задания таких параметров как тип координатной системы, размер домена, размер пространственной сетки обычно используется Java-приложение `Domain Wizard`.

Интуитивно понятная графическая среда позволяет пользователю легко определить домен исследований, проекцию координат, редактировать `namelist.input`, запускать через графическую среду программы `geogrid`, `ungrib`, и `metgrid`.

На рисунке 1 представлен домен исследований Центральная Азия, полученный с помощью приложения `Domain Wizard`.

После определения стационарных полей в программе `geogrid`, на основе специально разработанного программного скрипта для запуска модулей препроцессинговой обработки, вызывающего программу `ungrib`, выбирались необходимые 2-х и 3-х мерные поля метеорологических переменных из данных ERA-Interim в формате `grib`, а также в программе `metgrid` производилась горизонтальная интерполяция метеорологических полей в узлы модельной сети, определенной в программе `geogrid`.

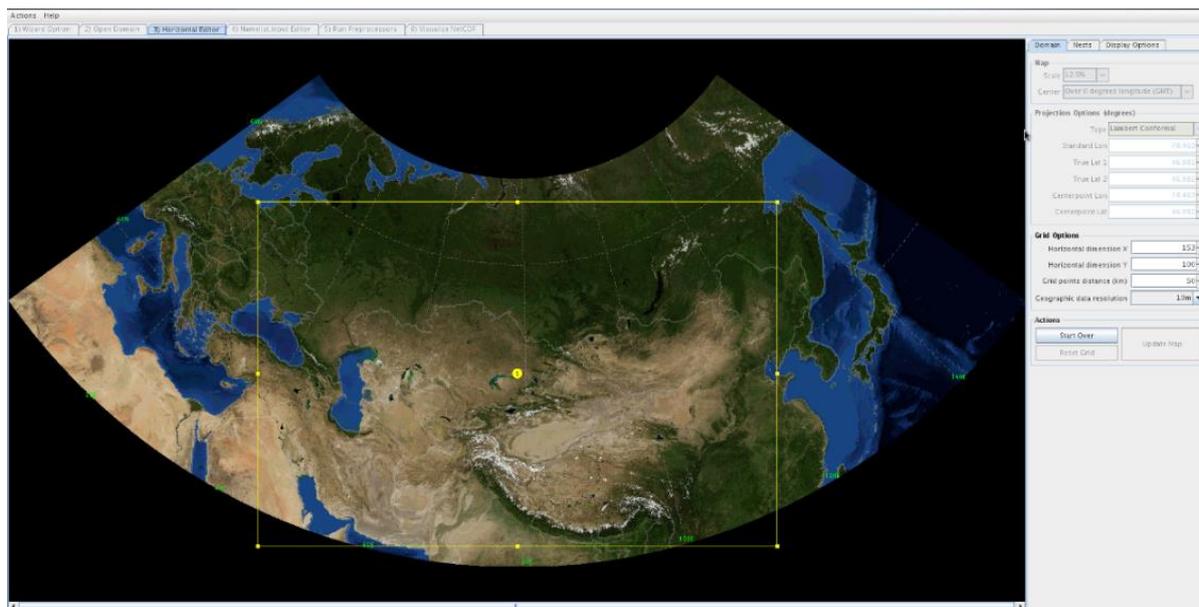


Рисунок 1 – Домен Центральная Азия

Инициализация модели выполнялась в программе `geal`, где производится вертикальная интерполяция начальных данных в орографические координаты модели и определяются граничные условия на срок моделирования.

Таким образом, с помощью разработанного скрипта обработаны данные из 166560 файлов за период с 1979 по 2016 гг. В результате получены входные данные для использования в качестве начальных и граничных условий в региональной модели климата.

Одним из важнейших этапов исследования с использованием региональной модели климата является планирование экспериментов с учетом большого объема входных и выходных данных, вариантов расчетов и особенностями проведения интенсивных многочасовых параллельных вычислений.

Программу `geogrid.exe` необходимо выполнить лишь один раз для всей серии экспериментов, однако другие программы (`ungrib` и `metgrid`) запускаются на каждой итерации препроцессингового шага. Каждая из этих программ записывает промежуточные данные на диск, а последующая программа считывает их с диска т.е. обмен данными на

каждом препроцессинговом шаге осуществляется через файловую систему. Это неэффективно, поскольку программы, при выполнении ввода/вывода данных ограничены в своей производительности, а в высокопроизводительной вычислительной среде файловая система является ненадежным ресурсом, так как она разделяемая.

Продолжительность каждого эксперимента в настоящем исследовании составляет 17 моделируемых лет, что приблизительно равно 9-10 дням реального расчетного времени. За столь продолжительный срок возникает числовая нестабильность, вызванная ошибками округления. Исходя из этих соображений был выбран моделируемый интервал равный 1 месяцу (один шаг). Эксперимент продолжительностью 17 модельных лет включает 204 шага. На каждом шаге осуществляется рестарт модели, загружаются начальные и граничные данные. Для автоматизации этого процесса были разработаны программные модули:

- для автоматического скачивания метеорологических данных;
- для валидации данных

Выходные данные региональной модели климата должны удовлетворять запросам широкого круга потребителей (ученых, специалистов в области адаптации и смягчения последствий изменения климата). Некоторые необходимые переменные не вычисляются в ходе расчетов по модели WRF и требуют дополнительных пост процессинговых процедур. Для расчета недостающих параметров непосредственно во время выполнения динамического модуля WRF в работе [6] разработан дополнительный модуль *module\_diag\_cordex*, позволяющий вычислять недостающие переменные в соответствии с требованиями проекта CORDEX.

Одной из целей численных экспериментов является оценка того, насколько модель адекватно отражает процессы, происходящие в атмосфере, на суше и водной поверхности, при их взаимном влиянии, определение возможных причин возникающих ошибок, а также ограничения модели. Результаты

наземных наблюдений используются для верификации модели, а моделирование в дальнейшем позволяет получить характеристики сред для неизученных ситуаций.

Проведен ряд численных экспериментов на высокопроизводительном вычислительном кластере для тестирования различных схем параметризации микрофизики и процессов, происходящих в пограничном слое с целью выбора такой схемы, которая наилучшим образом воспроизводит основные характеристики климата. Были рассмотрены три комбинации схем микрофизики и пограничного слоя. Одномоментная схема микрофизики Томпсона, использующая 5 классов гидрометеоров (вода в облаках, осадки, лед в облаках, снег и снежная крупа) в сочетании с двумя схемами пограничного слоя атмосферы (YSU и MYJ) и схема WRF Single Moment с 6 классами гидрометеоров в сочетании со схемой YSU.

В результате проведенных численных экспериментов был собран архив климата Центральной Азии, содержащий большие объемы данных различных метеорологических параметров при трех комбинациях схем микрофизики и пограничного слоя модели WRF.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта грантового финансирования № AP05135848 «Моделирование будущего климата Центральной Азии в рамках международного проекта CORDEX (COordinated Regional climate Downscaling Experiment)».

### *Литература*

- 1 Шерстюков Б.Г., Салугашвили Р.С. Новые тенденции в изменениях климата Северного полушария Земли в последнее десятилетие // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 2010. №175. – С.43-51.
- 2 Skamarock, W., et al. A Description of the Advanced Research WRF Version 2 // [https://arcc.ou.edu/~rockee/NRA\\_2007\\_website/WRF-weather-model-arw\\_v2.pdf](https://arcc.ou.edu/~rockee/NRA_2007_website/WRF-weather-model-arw_v2.pdf): 30.01.2007.

- 3 Klemp J.B., Skamarock W.C., and Dudhia J. Conservative split-explicit time integration methods for the compressible nonhydrostatic equations // *Monthly Weather Review*. – 2007. – № 135, 2897-2913.
- 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 // *Use of High Performance Computing in Meteorology*. – 2005. – PP.156–168.
- 5 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*. – 2001. – PP.269-276 // <https://pdfs.semanticscholar.org/c9cb/ef0374a8417be2804a39a0a77116a39053aa.pdf>: 30.09.2018.
- 6 L. Fita, R. Pennel, J. Polcher, K. Béranger, S. Bastin, T. Arsouze, E. Katragkou, T.M. Giannaros, and T. Lorenz CORDEX-WRF: creation of a module for WRF to provide the extra CORDEX output// [http://wiki.cima.fcen.uba.ar/mediawiki/images/archive/0/0b/20180525144642\\_21module\\_CORDEX\\_WRF.pdf](http://wiki.cima.fcen.uba.ar/mediawiki/images/archive/0/0b/20180525144642_21module_CORDEX_WRF.pdf): 04.05.2018