

тельными элементами, позволяет существенно снизить загрязнение поверхностных и подземных вод сельскохозяйственных районов выносимыми компонентами минеральных удобрений.

Список литературы

1. Экологические проблемы применения удобрений / В.Н. Кудеяров [и др.] ; под ред. В.А. Ковды. – Москва : Наука, 1984. – 211 с.
2. Лысухо, Н.А. Воздействие объектов размещения отходов на окружающую среду / Н.А. Лысухо, Д.М. Ерошина // Отходы производства и потребления, их влияние на природную среду: монография / Н.А. Лысухо, Д.М. Ерошина. – Минск.: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2011. – Гл. 3. – С. 37–142.
3. Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень, 2001 год / НАН Беларуси, Ин-т природопользования ; под общ. ред. В.Ф. Логинова. – Минск : Минсктиппроект, 2002. – 232 с.
4. Печковский, В.В. Технология калийных удобрений / В.В. Печковский, Х.М. Александрович, Г.Ф. Пинаев ; под ред. В.В. Печковского . – Минск : Вышэйш. школа, 1968. – 264 с.
5. Смычник, А.Д. Основные направления утилизации шламовых отходов перерабатывающих производств / А.Д. Смычник, С.Ф. Шемет, В.В. Сапешко // Горный журнал. – 2010. – № 8. – С.89-91.
6. Воробьева, Е.В. Полимерные комплексы в водных и солевых средах / Е.В. Воробьева, Н.П. Крутько. – Минск: Беларус. навука, 2010. – 175 с.
7. Палладина, Т.А. Функционирование ионов натрия, калия АТФазы у сахарной свеклы / Т.А. Палладина // Современные проблемы физиологии и биохимии сахарной свеклы : сб. науч. трудов / Ин-т физиологии растений АН УССР ; под общ. ред. Д.М. Гродинского. – Киев : «Наукова думка», 1981. – С.100-103.
8. Вострухин, Н.П. Сахарная свекла / Н.П. Вострухин. – Минск : Минская фабрика цветной печати, 2011. – 384 с.

УДК 551.509.313

ОПЕРАТИВНЫЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС МЕЗОМАСШТАБНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ WRF-ARW. РЕАЛИЗАЦИИ СЧЕТА В ГИДРОМЕТЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Лаппо П.О.

ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды», г.Минск, Республика Беларусь, laporo@bsu.by

This article presents the general information about WRF-ARW model in Hydromet of the Republic of Belarus and the results of verification output data in model WRF in 2015. Also article is supported to give information about techniques of adjustment of additional characteristics in objective analysis - OBSGRID. This system is now being implemented for the operational work of the Hydromete Center of the Republic of Belarus.

Введение

Широкое применение численных моделей для составления прогноза погоды, обусловлено способностью современных моделей отражать как глобальные, так и локальные особенности атмосферных процессов. Кроме того, увеличение временного и пространственного разрешений моделей позволяет специалисту идентифицировать развитие локального атмосферного процесса.

Привлечение мезомасштабных моделей для прогноза погоды в Беларуси является приоритетным, так как позволяет через представленные схемы параметризации, произвести учет подсеточных процессов (конвекция, турбулентность, радиационный обмен) и дать своевременный прогноз опасных явлений погоды (локальные грозовые ячейки, туман, гололед и др.).

В данной статье представлены результаты, основные достижения и будущие направления в области использования модели WRF-ARW в Гидромете Республики Беларусь.

В 2014 году сотрудниками Гидромета запущен автоматизированный программный комплекс, на основе мезомасштабной негидростатической модели WRF-ARW, для составления прогноза метеорологических характеристик по территории Республики Беларусь.

Мезомасштабная модель WRF-ARW является полностью сжимаемой негидростатической моделью, которая имеет достаточное количество пользователей по всему миру.

На сегодняшний день для моделирования мезомасштабных процессов используется модель WRF-ARW версии 3.7. Расчет реализован 3 раза в день за исходные сроки 00, 06 и 12 ч ВСВ. Для моделирования прогнозов высокого разрешения используется кластер Hewlett-Packard, HP BladeSystem C7000, с вычислительной мощностью более 5 TFlops.

Расчет осуществляется с заблаговременностью 48 часов в двух пространственных разрешениях: 15 и 3 км с использованием принципа вложенной области (материнская и вложенная область) (табл.1).

Технологическая схема системы оперативного прогноза мезомасштабной модели представлена следующим образом:

1. В качестве начальных и граничных данных для модели WRF-ARW используются данные глобальной модели GFS (Global Forecast System) с территориальным разрешением 0.25°;
2. С помощью системы подготовки данных WPS происходит инициализация входных данных и определение географических характеристик территории;
3. Основным этапом является расчет самой модели WRF;
4. После расчета по выходные данные модели визуализируются (карты, графики, метеограммы). Синоптикам для анализа предоставляются карты приземной температуры воздуха, карты высот и температуры изобарической поверхности, скорости ветра и т.д.
5. Завершающим шагом является верификация выходной продукции модели на основе расчета статистических характеристик: средняя ошибка (ME), корень среднеквадратической ошибки (RMSE), индекс критической успешности (CSI), вероятность обнаружения события (POD), вероятность обнаружения отсутствия события (PODN), коэффициент ложных тревог (FAR).

Таблица 1

	Внешний домен	Вложенный домен
Шаг горизонтальной сетки	15 км	3 км
Разрешение (X, Y, Z)	250/240/27	586/586/27
Исходные данные	GFS 0.25°	GFS 0.25°
Граничные условия	GFS 0.25°	Прогноз материнского домена WRF

Для упрощения верификации результатов прогноза модели была разработана автоматизированная система верификации результатов. Данная система включает оценку полей метеорологических величин, а также оценку результатов по данным

наземных наблюдений. Для верификации результатов моделирования используется пакет MET (Model Evaluation Tools), предоставляющий широкие возможности статистической оценки численных моделей.

В качестве переменных для верификации используются следующие метеопараметры: геопотенциальные высоты изобарических поверхностей 500, 700 и 850 гпа, температуры на этих уровнях, приземное давление и температура на 2 м для проверки работы модели на сетке. Также проводится верификация на основе наземных наблюдений: температура на 2 м и количество осадков. Для данного вида оценки используются данные наземных наблюдений в коде SYNOP.

Использование мезомасштабной численной модели требует уточнения статических географических характеристик, которые вместе с метеопараметрами, используются в качестве начальных данных для модели WRF-ARW.

В связи с этим весной 2015 года были проведены работы по уточнению статических географических характеристик. В систему предварительной обработки WPS были внедрены статические геоданные высокого разрешения. В качестве абсолютных высот местности используются данные с разрешением 3", уточненные для всей территории Беларуси, а также приграничных территорий. Информация о топографии для территории Беларуси подготовлена по данным SRTM (Shuttle radar Topography Mission, которые являются результатом международного исследовательского проекта по созданию самой полной цифровой топографической базы высокого разрешения).

Запуски модели WRF-ARW с уточненными геоданными показали более высокий индекс критического успеха, а также более высокую вероятность обнаружения событий осадков, кроме того, наблюдался более низкий показатель ложных тревог. Такой результат говорит о положительном влиянии использования геостатических характеристик высокого разрешения для прогноза осадков. В связи с этим, продолжается работа по уточнению геостатических характеристик, используемых в начальных условиях модели WRF-ARW.

В течение последних двух лет было протестировано более 20 вариаций различных параметризаций физических процессов в модели: параметризации пограничного слоя, параметризации микрофизики и параметризации конвекции. По результатам оценки протестированных конфигураций был сделан выбор наилучших схем параметризации для прогноза метеорологических характеристик по территории Республики Беларусь.

Оценка результатов прогноза основных метеорологических характеристик и прогноза опасных явлений показали положительный результат в прогнозе приземной температуры (оправдываемость на 12 часов до 96%, на 36 часов в 91%), осадков (оправдываемость на 12 часов 84%, на 24 часа 81%). Результаты оценки прогноза осадков выявил достаточно большое количество ложных тревог по факту наличия осадков.

Схема уточнения объективного анализа

В процессе экспериментального счета модели проводились работы по уточнению географических характеристик (абсолютные высоты, альбедо), осуществлялся подбор оптимальной конфигурации модели для более точного прогноза конвекции. Данные исследования работы схем параметризации модели WRF-ARW для территории Республики Беларусь помогли улучшить оправдываемость прогнозируемых характеристик и достичь определенного успеха в прогнозе опасных явлений погоды.

Современные системы наблюдений предоставляют огромный набор данных, полученных не только с помощью прямых наблюдений на станциях (приземная температура, влажность, скорости ветра), но и получаемых с помощью

дистанционных методов (радиолокация, спутники). Для дальнейшего улучшения результатов модели, необходимо проводить работы по привлечению дополнительных метеорологических характеристик для уточнения начальных данных. В качестве информации для уточнения могут служить данные наземных станций наблюдения, аэрологические наблюдения, данные спутников, а также радиолокационные данные.

Уточнение объективного анализа является необходимым, так как в международный обмен поступают данные не со всех станций наземного наблюдения и начальные поля метеопараметров получаются более сглаженными.

Для уточнения данных объективного анализа, полей прогноза и их последующего использования в модели WRF-ARW существует модуль OBSGRID, который позволяет усваивать дополнительные метеонаблюдения с метеорологических станций и производить корректировку полей температуры, влажности, давления, скоростей ветра с последующим использованием в модели. Модуль предоставляет несколько алгоритмов уточнения объективного анализа, большинство из них основаны на схеме Крессмана.

Суть подхода к усвоению данных в схеме Крессмана заключается в ведении области влияния каждого вносимого наблюдения. Методика усвоения данных основана на том, что в первом приближении в каждом узле сетки модели значения корректируются в соответствии с влиянием всех наблюдений.

В схеме Крессмана каждое наблюдение имеет вес, который зависит от удаленности между точками с данными наблюдений и точкой сетки, а также от «радиуса влияния». Данная схема задается равенствами:

$$x_j^a = x_j^b + \frac{\sum_{i=1}^p w_{ij}(O_i^a - x_i^b)}{\sum_i w_{ij}}, \quad (1)$$

где индекс j есть номер узла сетки, i – номер точки наблюдения, x^a – искомая оценка состояния, x^b – вектор начального приближения, w_{ij} – весовая функция. Функция w_{ij} зависит от номера узла сетки j и номера точки наблюдения i ; она равна единице, если $i=j$, и является убывающей функцией расстояния d_{ij} между i -ой и j -ой точками, кроме того, $w_{ij}=0$ при $d_{ij}>R$, где $R>0$ – некоторая постоянная, или «радиус влияния».

Весовая функция имеет квадратичную зависимость:

$$w_{ij} = \max\left(0, \frac{R^2 - d_{ij}^2}{R^2 + d_{ij}^2}\right), \quad (2)$$

Данная схема предполагает несколько циклов (итераций анализа). Данный метод называется методом последовательных поправок. Первые итерации в такой схеме дают приближение к наблюдениям в крупном масштабе, а последние – приближение к мелкомасштабным изменениям наблюдений. Метод Крессмана широко применяется для уточнения объективного анализа в численных моделях.

В настоящее время ведутся разработки технологии уточнения объективного анализа с помощью системы OBSGRID для внедрения его в оперативную работу автоматизированного программного комплекса WRF-ARW. Для осуществления уточнения ведется подготовка базы данных, содержащей корректную информацию о наблюдаемых метеорологических параметрах на наземных станциях наблюдения, что необходимо для системы объективного анализа.

Были подготовлены программы, для формирования данных необходимых форматов, и проведены тестовые запуски системы OBSGRID с информацией белорусских станций, которые показали успешную корректировку полей метеовеличин на основе схемы Крессмана (рисунок 1).

Температура 2 м, К

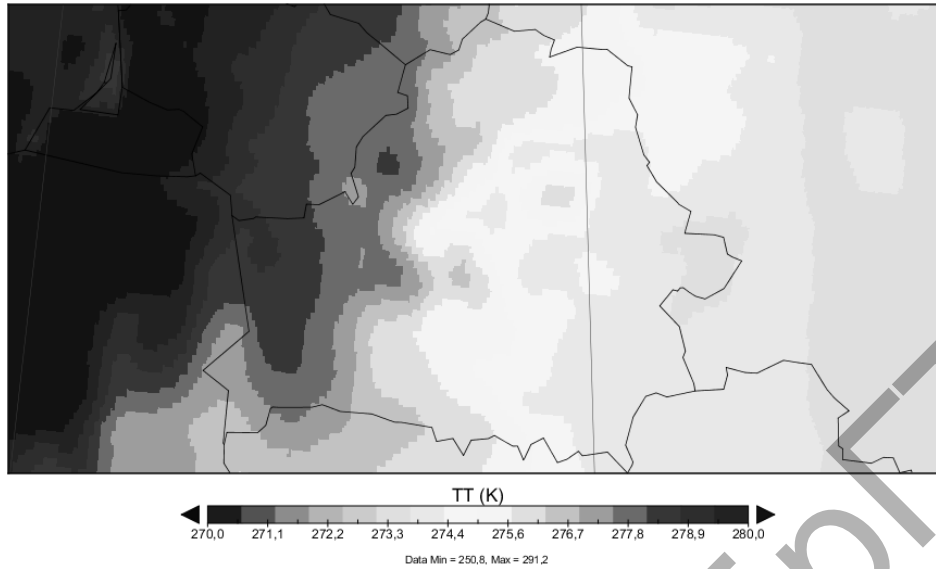


Рисунок 1 – Поле приземной температуры (2 м) в исходном объективном анализе

Температура 2 м, К

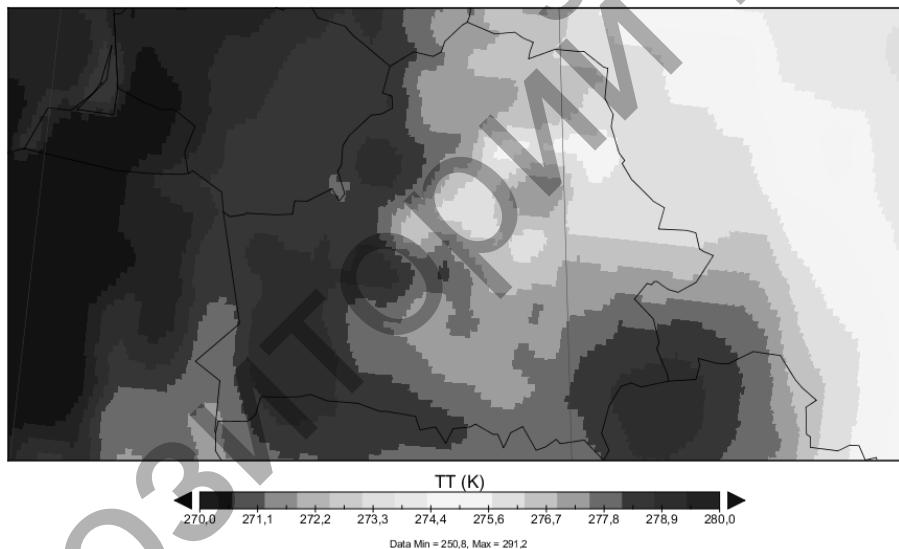


Рисунок 2 – Поле приземной температуры (2м) с привлечением информации с наземных станций наблюдения

Для достоверной оценки результатов уточнения объективного анализа необходимо привлечение большего числа данных с метеорологических станций наземного наблюдения, а также метеоинформация на изобарических высотах (рисунок 2).

Заключение

В настоящее время в Гидрометцентре Республики Беларусь проводятся работы по подготовке базы данных наземных наблюдений для их дальнейшего использования в модели.

Были проведены тестовые запуски системы OBGRID с дополнительными характеристиками по станциям Беларуси. Корректировались такие характеристики, как приземное давление, температура на уровне 2 м, точка росы, скорости и направления ветра.

В перспективе планируется скорректировать данные метеорологических характеристик на всей территории материнского домена модели WRF-ARW, а также внедрять методы вариационного усвоения и оптимальной интерполяции (фильтр Кальмана) для последующего усвоения характеристик, получаемых с помощью дистанционных методов.

Мировой опыт показывает, что для более точного представления состояния атмосферы широко привлекаются данные дистанционных наблюдений, к примеру, радиолокационных измерений (радиальной скорости, отражаемости). Привлечение дополнительных данных метеорологических наблюдений в численные модели прогноза погоды дает положительный результат для прогноза термодинамических и динамических характеристик атмосферы.

Список литературы

1. Ипатов, В.М., Шутяев В.П. Алгоритмы и задачи ассимиляции данных для моделей динамики атмосферы и океана. – Научн.-образ. курс., Московский физико-технический институт., Долгопрудный. – 2013.

2. Определение набора параметров верификации рабочей версии программно-методического комплекса мезопрогнозирования атмосферных процессов : отчет о НИР (заключ.), 23.12.2014 г., отв. исп. И.А.Деменцова. – Минск: Респ. Гидрометеорол. Центр, 2014. – 87 с. - № ГР 20130940.

3. Model Evaluation Tools Version 4.1. User's Guide. – Developmental Tested Center, Boulder, Colorado, USA, March 2009. – 225 p.

4. Programme, Abstracts, Participants. A Doctoral Students Conference Challenges for Earth system science in Baltic Sea region: From measurements to models. University of Tartu and Vilsandi Island, Estonia, 10-14 August 2015 // International Baltic Earth Secretariat Publication № 5. – August 2015. – P.6.

5. Stensrud D.J. Parametrization schemes: key to understanding numerical weather prediction models. – Cambridge Press, 2007. – 460 p.

УДК 551.583

СВЯЗЬ БАРИКО-ЦИРКУЛЯЦИОННОГО РЕЖИМА В ЕВРОПЕ И ТЕМПЕРАТУР БЕЛАРУСИ

Логинов В.Ф., Табальчук Т.Г.

ГНУ «Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси», г. Минск, Беларусь t.tabalchuk@gmail.com

The article discusses the connection between atmospheric circulation in Europe and temperatures in Belarus. The cyclone trajectories in Europe and their relation with normalized temperature anomalies in Belarus for different seasons of the year for the period from 1900 to 2013 are shown. Quasiperiods for the annual number of days with a cyclonic circulation change are allocated.

Введение

В начале XX в. Л.А. Вительсом была предложена схематизированная качественно-количественная оценка особенностей барико-циркуляционного режима. Синоптический каталог Вительса ведётся с 1900 г. и позволяет проследить изменения в особенностях циркуляции атмосферы для первого естественного синоптического района Мультановского, который включает акваторию Атлантики от меридиана 40° з.д. и территорию Евразии до меридиана 110° в.д. Всё это пространство разбито на 8 крупных районов [1]. Материалы, содержащие сезонные и годовые характеристики циркуляционного режима 1-го естественно-