

заданий дает возможность оценить качество составленных заданий, определить задания, требующие корректировки, выявить наиболее сложные вопросы и уровень подготовки студентов.

Проведение дистанционной олимпиады дает много нового и интересного для осуществления образовательного процесса как для преподавателей, так и для студентов. Опыт применения технологии дистанционного обучения для организации олимпиады продемонстрировал возможности использования данной технологии для достижения образовательных целей, контроля и самоконтроля знаний участников олимпиады, дальнейшего использования заданий олимпиады в курсе отдельных дисциплин экологического цикла.

Анализ ответов				
Модель ответа	Фактический ответ	Частичный кредит	Количество	Частота
демографический взрыв	Демографический взрыв	100,00%	6	20,00%
	демографический взрыв	100,00%	17	56,67%
демографическим взрывом		100,00%	0	0,00%
[Не соответствует ни один ответ]	Прирост населения	0,00%	2	6,67%
	демографический бум	0,00%	2	6,67%
	демографический рост	0,00%	1	3,33%
	Демография	0,00%	1	3,33%
	взрыв демографии	0,00%	1	3,33%
Без ответа		0,00%	0	0,00%

Рисунок 5 – Статистический анализ определенного вопроса

ЛИТЕРАТУРА

1. Нестеров, С.А. Анализ статистики выполнения тестовых заданий в среде дистанционного обучения Moodle / С.А. Нестеров // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2016. – №4. – С. 62-67.

АССИМИЛЯЦИЯ ДАННЫХ СЕТИ ДОПЛЕРОВСКИХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЛОКАТОРОВ БЕЛАРУСИ В МЕЗОМАСШТАБНУЮ ЧИСЛЕННУЮ МОДЕЛЬ WRF-ARW ASSIMILATION OF BELARUSIAN DOPPLER WEATHER RADARS DATA INTO MESOSCALE NUMERICAL MODEL WRF-ARW

П. О. Зайко
P. Zaiko

*ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения
и мониторингу окружающей среды», г. Минск, Республика Беларусь,
Polly_LO@tut.by
Center of hydrometeorology, control of radioactive contamination
and environmental monitoring of the Republic of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

В работе представлена разработанная автором система подготовки данных горизонтальной отражаемости и радиальной скорости 3 доплеровских метеорологических локаторов Республики Беларусь (Минск-2, Витебск, Гомель) и адаптированная система ассимиляции этих данных в мезомасштабную численную модель WRF-ARW (Weather Research and Forecasting), на основе метода трехмерного вариационного усвоения (3D-VAR). В работе приводятся результаты численного эксперимента с использованием усвоенных радиолокационных данных: моделировались случаи выпадения осадков на территории Беларуси в летний и зимний периоды в 3 пространственных разрешениях (9, 3 и 1 км) с ассимиляцией горизонтальной отражаемости и радиальной скорости, с ассимиляцией только данных радиальной скорости и без ассимиляции радиолокационных данных. Результаты статистической и объект-ориентированной оценки прогноза полей скорости ветра и количества осадков показали, что ассимиляция данных радиальной скорости дает уменьшение среднеквадратической и абсолютной ошибок прогноза поля ветра на 10 м для прогнозируемых случаев, а также улучшение в прогнозе местоположения центров выпадения осадков, уменьшая количество ложных тревог. Вариант с ассимиляцией горизонтальной отражаемости вместе со скоростью показал улучшение показателей прогноза ветра на ранних часах моделирования, но также показал завышение значений прогноза количества осадков.

The abstract presents control and preparing system (horizontal reflectivity and radial velocity) for 3 Belarusian Doppler weather radars (Minsk-2, Vitebsk, Gomel) and adapted data assimilation (DA) system into mesoscale numerical model WRF-ARW (Weather Research and Forecasting), based on the three dimensional variational

method. In addition, paper presents the results of numerical experiments using assimilated radar data: cases of heavy precipitation in Belarus in the summer and winter seasons were simulated in 3 spatial resolutions (9, 3 and 1 km) with assimilation of horizontal reflectivity and radial velocity, with assimilation only radial velocity data and without assimilation of radar data. The verification of results by statistical and object-oriented methods showed that the assimilation of the radial velocity data reduces the mean square and absolute errors of the wind field forecast on 10 m for the predicted cases, as well as an improvement in the forecast of the location of precipitation centers. The variant with the assimilation of horizontal reflectivity and velocity showed an improvement in wind forecast in the early hours of modeling, but also showed an overestimation of precipitation forecast values. A comprehensive assessment of options with data assimilation showed that data assimilation reduces the false alarm rate in precipitation forecasts.

Ключевые слова: прогноз погоды, WRF-ARW, система усвоения данных метеорологических локаторов, объективный анализ, оценка.

Keywords: weather forecast, WRF-ARW, data acquisition system of meteorological locators, objective analysis, assessment.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-2-308-312>

Основной целью работы является исследование влияния ассимиляции горизонтальной отражаемости и радиальной скорости ветра, полученных с сети доплеровских метеорологических локаторов (далее – ДМРЛ) Беларуси в мезомасштабную численную модель WRF-ARW на качество прогнозов осадков и ветра. А также представление разработанной автором технологии подготовки и контроля радиолокационных данных и адаптированной системы ассимиляции радиолокационных данных в Белгидромете.

Использование мезомасштабных численных моделей в практике прогноза погоды позволяет смоделировать мелкомасштабные конвективные структуры и такие опасные явления (далее – ОЯ) погоды как ливень, гроза, шквал и т.д. Для наиболее успешного прогноза ОЯ численными моделями, требуется получение максимально точных начальных данных для моделирования.

Ассимиляция (усвоение) данных – это основной метод уточнения начальных и граничных условий для моделирования, позволяющий дать более точную оценку текущего состояния атмосферы. Качественное усвоение дополнительных метеорологических наблюдений в начальные поля модели во многом определяет точность последующего прогноза. Реализация процесса усвоения проводится с помощью математических методов и представляет собой процесс слияния данных наблюдений с прогностическим решением гидродинамической модели. В процессе усвоения производится контроль качества поступающих наблюдений, корректировка полей начальных данных, а также согласование полей. Для ассимиляции данных в мезомасштабную численную модель прогноза погоды требуется плотная сеть наблюдений с подходящими временными и пространственными разрешениями. Именно данные сети ДМРЛ позволяют получить трехмерное поле ветра и влажности в реальном времени над территорией страны, и зафиксировать быстроразвивающееся ОЯ. Такая информация уточняет начальные поля при инициализации модели.

Современные системы ассимиляции используют различные методы усвоения: трехмерное (3D-VAR) и четырехмерное (4D-VAR) вариационное усвоение, ансамбли фильтра Калмана, гибридные системы [1], и которые способны усваивать различные виды наблюдений: наземные, аэрологические, данные ветровых профиломеров, радиолокационные и спутниковые данные, данные дорожных станций, мобильных устройств и др.

Создание автономной и адаптированной системы ассимиляции метеорологических данных для прогноза мезомасштабной модели WRF-ARW на территории Республики Беларусь началось в 2016 г. в Белгидромете. Основными этапами создания системы ассимиляции данных были: изучение мирового опыта и оценка возможности реализации применяемых методов в Белгидромете; создание системы подготовки и контроля наземных, аэрологических и радиолокационных наблюдений для системы ассимиляции в модель WRF-ARW; создание базы прогнозов модели WRF и подготовка ковариационной матрицы ошибок прогноза модели WRF-ARW; разработка адаптированной вариационной системы ассимиляции данных (3D-Var) для версии мезомасштабной модели WRF-ARW в Белгидромете; численный эксперимент: расчет случаев сильных осадков для территории Республики Беларусь с ассимиляцией и без; оценка результатов прогноза.

Процесс создания системы подготовки и контроля метеорологических данных имеет свои особенности: разнообразие видов наблюдений и передача их в своем специальном формате (KH-01, KH-04, HDF5 и др.); необходимость предварительной фильтрации (радиолокационные помехи); согласование наблюдений с различным пространственным и временным разрешением.

В 2016 г. в рамках научно-исследовательской работы, в Белгидромете был разработан первый компонент системы ассимиляции, включающий автоматизированную систему усвоения наземных и аэрологических данных наблюдений (OBS_WRF) [2]. Данный компонент прошел апробацию и статистическую оценку в Белгидромете, в результате чего позволил говорить об увеличении общей оправдываемости прогноза осадков на 1%, оправдываемости наличия осадков на 4%, а также о уменьшении количества случаев абсолютной ошибки больше 1° при прогнозе температуры на 8%. При прогнозе приземного давления уменьшилось количество случаев на 14%, когда абсолютная ошибка больше 1 гПа.

В рамках второго этапа проводилась разработка системы подготовки и контроля радиолокационных данных, а также была создана адаптированная система ассимиляции радиолокационных данных в численную модель WRF-ARW на основе трехмерного вариационного усвоения (3D-VAR).

На территории Республики Беларусь на сегодняшний день (2020 г.) 3 доплеровских метеорологических лоатора двойной поляризации (Минск-2, Гомель, Витебск), планируется установка ДМРЛ в Гродно и Бресте (рис. 1). Радиолокационные наблюдения фиксируют опасных конвективных систем на территории Республики с высоким временным (10 минут) и пространственным разрешением (250 км). Лоаторы производят наблюдения в 2 импульсных режимах (режим отражаемости и режим доплеровской скорости) каждые 10 минут, по азимуту и углу места на 34 уровнях.

Для поступивших радиолокационных данных (горизонтальной отражаемости (*DBZH*), радиальной скорости (*VRAD*), ширины спектра (*WRAD*)) применяется многоуровневая система фильтрации данных. На первом этапе используется 2-ухуровневая фильтрация на основе фильтра *Gabella* [3]. Алгоритм данного фильтра направлен на удаление помех от местных объектов (рельеф, здания и т.д.), имеющих значительную пространственную неоднородность и изменчивость распределения сигнала. Вторая часть фильтрации применяет анализ пространственной непрерывности распределения сигнала в пределах пикселя наблюдений, при превышении определенного порогового значения шум считается не метеорологическим.

В качестве второго подхода для контроля радиолокационных данных применяются модули фильтрации не метеорологических объектов и идентификации помех на основе характеристик двойной поляризации (*fuzzy echo*): *дифференциальная отражаемость (ZDR)*; *коэффициент корреляции* между горизонтальной и вертикальной отражаемостями (*RHOV*); *дифференциальная фаза (PHIDP)*; *доплеровская скорость (VRAD)*; *статическая карта помех (СМАР)*. Для каждой из этих переменных алгоритм использует трапецидальную функцию для определения принадлежности радиоэха к не метеорологическому классу. На основе предварительно определенных весов рассчитывается линейная комбинация степеней принадлежности, при превышении комбинацией порогового значения радиосигнал считается не метеорологическим [4].

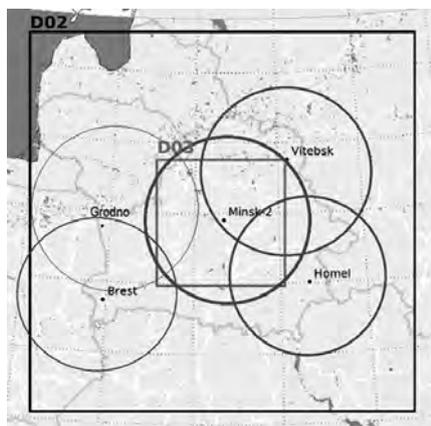


Рисунок 1 – Карта расположения и охвата территории ДМРЛ (Минск-2, Гомель, Витебск), планируемых ДМРЛ (Гродно, Брест), относительно моделируемых областей (D02, D03)

На следующем этапе разрабатывалась адаптированная система ассимиляции данных, включающая программные компоненты для преобразования систем координат отфильтрованных радиолокационных полей, с последующим пересчетом компонентов скорости ветра и горизонтальной отражаемости на реальные высоты и представление данных в формате, требуемом системой ассимиляции данных *3D-VAR*. В разработке использовалась библиотека обработки радиолокационных данных *wradlib* и язык программирования Python 3.7.

Метод трехмерного вариационного усвоения (3D-VAR) был выбран как базовый для адаптированной системы ассимиляции радиолокационных данных в Белгидромете. Он успешно применяется в системах численного прогноза ALADIN и HIRLAM (Метеофранс, Франция), MetOffice (Великобритания), Росгидромете для усвоения данных дистанционного зондирования [1]. Суть метода трехмерного вариационного усвоения лежит в минимизации функционала от искомого вектора состояния системы X . Причем этот функционал выбирается так, чтобы отражать степень несогласованности X с имеющейся как наблюдательной, так и прогностической информацией. Вариационный метод усвоения данных наблюдений основан на минимизации функционала [5]:

$$J(X) = \frac{1}{2}(X - X^f)^T B^{-1}(X - X^f) + \frac{1}{2}(X^{obs} - HX)^T R^{-1}(X^{obs} - HX), \quad (1)$$

где X – вектор, представляющий искомое поле (состояние атмосферы на сетке в момент анализа); X^f – поле прогноза по гидродинамической модели атмосферы; X^{obs} – вектор наблюдений; B – матрица ковариаций ошибок прогноза; R – матрица ковариаций ошибок наблюдений; H – оператор наблюдений, связывающий наблюдения с истинным состоянием атмосферы.

Ассимиляция данных об отражаемости может производиться как напрямую в модель WRF-ARW через отношение между массовым содержанием дождевых капель (соотношение Маршалла-Палмера для дождевых капель), так и косвенно через оценку влажностных характеристик в облаке, включая снег, крупу и др. В разработанной системе ассимиляции применяется второй метод, так как он позволяет учесть влияние наблюдаемого влагосодержания даже при отсутствии дождевой воды на начальном часу расчета [6].

Ассимиляция данных о ветре производится путем пересчета радиальной скорости данных в переменные модели: радиальный ветер V_r можно определить, используя компоненты ветра (u, v, w), вертикальную скорость движения гидрометеоров (связанную с дождевыми каплями) V_p и расстоянием от радара до данной точки. Вертикальная скорость V_p рассчитывается из массового содержания дождевых капель q_r с коррекцией высоты [1].

$$V_r = u \frac{x - x^0}{r} + v \frac{y - y^0}{r} + (w - v_t) \frac{z - z^0}{r}, \quad (2)$$

$$v_t = 5.40 \left(\frac{p_s}{p} \right)^{0.4} (q_r)^{0.125}, \quad (3)$$

где u, v, w – компоненты скорости в декартовых координатах (м/с); x, y, z – местоположение радара; x^0, y^0, z^0 – положение наблюдения; r – расстояние между радаром и наблюдением; p_s – приземное давление; q_r – массовое содержание дождевой воды (г/кг), p – давление на станции.

Для оценки влияния усвоенных данных был проведен ряд численных экспериментов, в данной работе представлены 2 случая выпадения осадков на территории Республики Беларусь (летом 2017 г., зима 2020 г.), представляющие различные типы циклонической циркуляции. В качестве начальных данных использовались данные модели GFS (Global Forecast System). Подготовленные радиолокационные наблюдения усваивались в срок близкий к исходному сроку прогноза (00, 12 UTC), во временном окне ± 1 ч. Была построена ковариационная матрица фоновых ошибок прогноза модели WRF-ARW за 10-дневный период, на основе метода NMC (Пэрриш и Дербер), в котором предполагает, что статистическая структура ошибок прогноза изменяется незначительно в пределах 48 ч [1].

Результаты оценки летнего случая выпадения осадков показал уменьшение абсолютной средней ошибки прогноза скорости ветра на 10 м в варианте с ассимиляцией на ранних часах прогноза. Минимальная ошибка на 9 ч UTC – 0.3 м/с, наибольшая на 12 ч UTC – 1.7 м/с (рис.2). Объект-ориентированная оценка прогноза показала, что вариант без усвоения спрогнозировал зафиксированные радиолокационной системой объекты на значительном удалении (более 100 км), а также значительно переоценивал их площади, интенсивность же осадков на +3 ч была значительно ниже (0.2 мм/ч), чем зафиксированная на ДМРЛ (6 мм/ч). Вариант с ассимиляцией данных спрогнозировал более половины объектов на расстоянии менее 50 км от реальных.

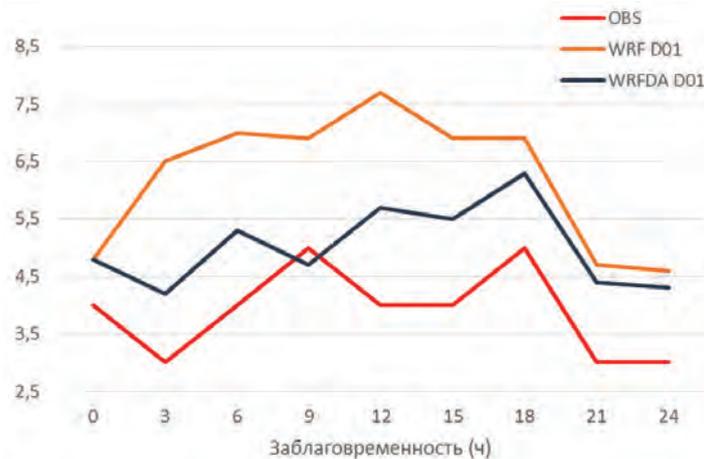


Рисунок 2 – Прогноз скорости ветра на 10 м (м/с), OBS – наблюдения (Верхнедвинск), WRF D01 – без ассимиляции, WRFDA D01 – с ассимиляцией, домен D01 (9 км), на 24.08.2017 г.

Результаты оценки случая прохождения холодного фронта в зимний период показала более точный прогноз положения фронта и его вертикальную структуру в варианте с ассимиляцией. Несмотря на это, вариант без ассимиляции более точно спрогнозировал количество осадков на станции Минск: наблюдаемое – 2 мм, с ассимиляцией – 0,1 мм, без ассимиляции – 1,3 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gustafsson N, Janjic T, Schraff C, et al. Survey of data assimilation methods for convective-scale numerical weather prediction at operational centres. Q J R Meteorol Soc. 2018;144:1218–1256.
2. Зайко П.О. Система усвоения наземных и аэрологических наблюдений в мезомасштабную численную модель WRF-ARW в Белгидромете // Природные ресурсы. 2019. – №1. – 89с.

3. Morin, E.; Gabella, M. Radar-based quantitative precipitation estimation over Mediterranean and dry climate regimes. *J. Geophys. Res.* 2007, 112, 1–13.
4. Gianfranco Vulpiani, Mario Montopoli, Luca Delli Passeri, Antonio G. Gioia, Pietro Giordano, and Frank S. Marzano. On the use of dual-polarized c-band radar for operational rainfall retrieval in mountainous areas. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51(2):405–425, Feb 2012. doi:10.1175/JAMC-D-10-05024.1.
5. Инамова В.М., Шутяев В.П. «Алгоритмы и задачи ассимиляции данных для моделей динамики атмосферы и океана. Научно-образовательный курс». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mipt.ru/education/chair/mathematics/upload/99f/algsaasimilation.pdf>.
6. Wang, H., Huang, X.-Y., Xu, D. and Liu, J. (2014) A scale-dependent blending scheme for WRFDA: impact on regional weather forecasting. *Geoscientific Model Development*, 7, 1819–1828.

**РАЗРАБОТКА ЛОКАЛЬНЫХ РЕПОЗИТОРИЕВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ
И ОПТИМИЗАЦИИ ВЕБ-РЕСУРСОВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И МОНИТОРИНГА
ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЗАМКНУТОЙ
ВОДНОЙ СРЕДОЙ В ГИДРО- И АКВОПОННЫХ СИСТЕМАХ
DEVELOPMENT OF LOCAL REPOSITORIES FOR CREATION
AND OPTIMIZATION OF WEB RESOURCES OF VISUALIZATION
AND MONITORING FOR AUTOMATED CONTROL OF CLOSED AQUATIC
ENVIRONMENT IN BOTH HYDRO- AND AQUAPONIC SYSTEM**

***А. И. Каркоцкая, А. А. Антонович, Е. В. Кот
A. Karkotskaya, A. A. Antonovich, E. V. Kot***

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
anzhelika201777@gmail.com
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Рассматриваются проблемы при работе над одним проектом нескольких разработчиков для решения данных проблем, разработки и оптимизации web-ресурсов для осуществления визуализации и мониторинга для автоматизированного управления замкнутой водной средой в гидро- и аквAPONных системах.

This report examines the problem of working on one project by several developers to solve these problems and development and optimization of web-resources for implementation of visualization and monitoring for the automated control of closed aquatic environment in hydro- and aquaponic systems.

Ключевые слова: система управления версиями, Git, GitHub, TortoiseGit.

Keywords: version control system, Git, GitHub, TortoiseGit.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-2-312-315>

Система управления версиями (от англ. Version Control System, VCS или Revision Control System) — программное обеспечение для облегчения работы с изменяющейся информацией. Система управления версиями позволяет хранить несколько версий одного и того же документа, при необходимости возвращаться к более ранним версиям, определять, кто и когда сделал то или иное изменение, и многое другое.[1]

Такие системы наиболее широко используются при разработке программного обеспечения для хранения исходных кодов разрабатываемой программы. Однако, они могут с успехом применяться и в других областях, в которых ведётся работа с большим количеством непрерывно изменяющихся электронных документов. В частности, системы управления версиями применяются в САПР(Система автоматизированного проектирования — автоматизированная система, реализующая информационную технологию выполнения функций проектирования, представляет собой организационно-техническую систему, предназначенную для автоматизации процесса проектирования, состоящую из персонала и комплекса технических, программных и других средств автоматизации его деятельности), обычно в составе систем управления данными об изделии (PDM). Управление версиями используется в инструментах конфигурационного управления (Software Configuration Management Tools).

Существует три типа СКВ: локальная, централизованная и распределённая.

Локальные системы контроля версий (далее – ЛСКВ)[2]: