

УДК 551.501.81 PACS numbers: 93.85.Bc

АЛГОРИТМ ЦИФРОВОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОСАДКОВ В АТМОСФЕРЕ НА ОСНОВЕ РАДАРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Ю. О. Паламарчук, ст. преп.

С. В. Иванов, ст. науч. сотр.

И. Г. Рубан, доц.

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, j_pal@ukr.net*

Рассматривается возможность использования цифровых форматов радарных измерений в численных моделях кратко- и сверхкраткосрочного прогноза погоды. Отмечены преимущества численного подхода перед инерционными схемами, основанными на статистических характеристиках развития конвективных процессов. Представлены ведущие мировые производители метеорологических радаров и программного обеспечения для визуализации измерений. Показана необходимость унифицированного программного обеспечения для цифровой обработки сигналов и последующего его использования на этапах препроцессинга, фильтрации, усвоения и собственно численных расчетов. Описана информационная модель кодировки и управления радарными наблюдениями, основанная на формате HDF5. Рассматриваемая информационная модель является Европейским стандартом второго поколения для формата обмена данными метеорологических радаров различных производителей. Приведены результаты обработки измерений одного радара и сети нескольких радаров с перекрывающимся покрытием.

Ключевые слова: осадки, метеорологический радар, цифровой сигнал.

1. ВВЕДЕНИЕ

Исследование мезомасштабных процессов вышло на передовой рубеж наук об атмосфере после того, как были созданы новые возможности отслеживания локальных и региональных метеорологических явлений с использованием дистанционных методов зондирования с высоким разрешением. Переход на цифровую обработку сигналов позволил получить количественные оценки влагосодержания в атмосфере, энергии фазовых переходов, доступной потенциальной энергии, которые способствовали формированию новых представлений в мезометеорологии. В частности, уточнена роль нелинейных взаимодействий, имеющих место в мезомасштабном диапазоне изменчивости, в общей энергетике атмосферы [1, 2, 3]. В центре внимания находятся мезомасштабные и конвективные процессы, развивающиеся как во фронтальных зонах, так и в областях внутримассовой конвекции. На долю этих процессов приходится значительная часть общего баланса энергии атмосферы, потоков тепла и влаги. Однако знания о таких процессах остаются все еще несовершенными, а доступной подробной информации о них из наблюдений недостаточно. Поэтому в отличие от моделирования и численного прогноза крупномасштабных процессов, сверхкраткосрочный прогноз (*very short-range forecast and nowcasting*) осадков и конвекции, особенно экс-

тремальных эпизодов, связан с определенными технологическими трудностями. Ряд оперативных прогностических центров применяют гибридную систему, в которой численный прогноз используется в качестве фонового состояния, которое уточняется за счет данных дистанционного зондирования (радаров и спутников) [4]. Ключевыми составляющими такого прогноза служат инерционные схемы, основанные на статистических характеристиках развития конвективной облачности и формирования осадков. Они не требуют значительных компьютерных ресурсов и ограничиваются использованием нескольких основных параметров, таких как координаты центра конвекции, размер, интенсивность отражения сигнала и направление смещения конвективной ячейки [5].

При отслеживании ячеек (центров) на последовательных изображениях радара рассматривается эволюция дискретных объектов. Каждый алгоритм наблюдения за ячейками имеет две основных составляющих: алгоритм выявления (*detection algorithm*) и алгоритм согласования (*matching algorithm*). В первой части дискретные объекты (обычно сопредельные регионы с высоким значением отражения на двумерных изображениях или в трехмерных сканированных объемах) идентифицируются на сканированиях и их характеристики хранятся в базе данных определенной структуры. Как правило, такими характеристиками выступают координаты центра,

область, наибольшие значения эхо (echo-tops), интегрированная по вертикали жидкость в пределах ячейки (cell-based vertically integrated liquid), и др. Во второй части алгоритма, части согласования, указанные характеристики используются для выявления идентичных ячеек на последующих изображениях. Обычно определение области поиска ячейки опирается на предыдущие скорости ячейки. Главным преимуществом данного метода является то, что характеристики ячейки могут быть получены из последовательности их изображений. Таким образом, становится возможным статистическое исследование ячеек осадков. Кроме того, интенсивные конвективные ячейки часто демонстрируют динамическое поведение, которое значительно отличается от большой области с осадками, которая окружает такие ячейки. Поэтому отслеживание ячеек можно ожидать более успешным при развитии ситуаций с интенсивными конвективными процессами.

Такой подход представляется достаточно эффективным и экономичным для прогноза отдельных интенсивных конвективных образований, но имеет определенные ограничения при прогнозе по обширной области и множественной структуре конвективных ячеек. В частности, он не позволяет обеспечивать в реальном времени детальной метеорологической информацией гидрорологические модели в задачах заблаговременного оповещения о наводнениях. Кроме того, потенциальные возможности инерционно-статистических схем исчерпаны и дальнейшее их развитие не представляется перспективным.

2. ТИПЫ И ПРОИЗВОДИТЕЛИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ РАДАРОВ

Возможность получения информации с высоким разрешением по пространству и во времени является неоспоримым преимуществом дистанционного зондирования атмосферы. Так, метеорологические радары измеряют количественные характеристики отражательной способности атмосферы и радиальной составляющей скорости ветра с дискретностью 5-15 минут и шагом 100-500 м вдоль луча. Это позволяет пересчитывать радиолокационные характеристики по известным соотношениям во влажосодержание и, при необходимости, вводить непосредственно в блок усвоения данных атмосферных моделей.

На сегодняшний день ведущими производителями метеорологических радаров и погодных радарных систем считаются следующие корпорации:

1) SELEX-Gematronik (Германия, <http://www.gematronik.com>, <http://www.selex-si.de>), продукция которой обеспечивает полный технологический цикл проведения, обработки и визуализации метеорологических радарных наблюдений. Она выпускает доплеровские радары METEOR с би-(дуальной) поляризацией, работающие в трех основных частотных полосах C-, S- и X-, идентифицирующие морось, дождь, град и снег в атмосфере. Использование узкополосной апертуры антенны технологических систем Magnetron и Klystron позволяют добиваться получения сигнала от последовательных импульсов без наложения помех. Благодаря этому достигается высокая скорость трехмерного зондирования атмосферы и точность информации в цифровом формате. Оборудование поставляется вместе с программным обеспечением (ПО) обработки и визуализации данных Rainbow®.

2) GAMIC MBH (Германия, <https://www.gamic.com>) выпускает широкий спектр метеорологических погодных радаров и систем радарных данных. Перечень продуктов включает X-, C- и S – полосовые стационарные, переносные и мобильные моно- и би-(дуально) поляризованные доплеровские радары, цифровые приемники, контроллеры и процессоры обработки сигналов, а также интерфейс FROG-MURAN визуализации наблюдений на терминалах рабочих станций.

3) Advanced Design Corporation (ADC) (США, <http://doprad.com>) специализируется на производстве когерентных доплеровских радаров и разработке интерфейсов для представления результатов на телевидении в режиме online.

4) BARON SERVICES, INC (США, <http://www.baronweather.com>) производит доплеровские радары, работающие в S-, C- и X-частотных полосах, с возможностью включения компонентов для удовлетворения дополнительных требований потребителей. Радары Baron поставляются вместе с запатентованными пакетами визуализации 2D OmniWxTrac® и 3D VIPIR® и интерфейсом для отслеживания в режиме on-line траекторий движущихся штормовых систем и отдельных компонентов, таких как торнадо, град, порывы ветра на линии фронта, интенсивные осадки и т. п.

5) METEK GMBH (Германия, <http://metek.de>) специализируется на доплеровских лидарах, содарах (ветровые профилемеры) и микроволновых радарах вертикального зондирования. Такие системы позволяют получать вертикальные профили характеристик осадков высокого качества без помех, связанных с ветром, аэрозолями и загрязнением.

6) Vaisala (Финляндия, <http://www.vaisala.com>) выпускает C-полосовые доплеровские радары двух

типов: с одно- и би-(дуальной)-поляризацией. Инструментальная часть поддерживается программным обеспечением IRIS, разработанным для точной оценки количества и типа осадков, мониторинга и раннего предупреждения экстремальных осадков. Особенности этого пакета визуализации являются мультипанельный дисплей для одновременного отображения различных продуктов, синхронное наложение нескольких полей и опция “зум” для уточнения тонких деталей в структуре полей осадков с более высоким разрешением по области. Кроме того, имеется возможность построения вертикальных разрезов и маркировки положения шторма в различные моменты времени для прогностического расчета его траектории и интенсивности.

3. ФОРМАТЫ РАДАРНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЯХ АТМОСФЕРЫ

В силу определенных коммерческих и технологических причин в численных моделях прогноза погоды невозможно использовать непосредственно пакеты обработки и визуализации отраженного сигнала, разработанные производителями радаров. Поэтому на повестке дня стоит вопрос цифровой обработки радарных данных и их усвоения в моделях атмосферы. Для этого решается ряд технологических проблем, связанных с алгоритмизацией обработки, препроцессинга и унифицированного представления данных в стандартных форматах. Первые шаги в этом направлении были сделаны Европейским метеорологическим сообществом при создании в 1995 году EUMETNET консорциума (<http://www.eumetnet.eu/>). Тогда же в качестве универсального базового принят формат BUFR [6], разработанный в Meteo-France. В нем изначально зарезервирован блок для данных радаров. Новое соглашение в 2009 г. подписано 31 государством, членами и ассоциированными членами консорциума. Одним из результатов соглашения стал проект OPERA (<http://www.eumetnet.eu/opera>), цели которого включают:

- объединение усилий для создания единого информационного пространства и обмена данными;
- развитие, генерация и обмен данными радаров высокого разрешения для создания композиционных продуктов в оперативном режиме.

Дальнейшее развитие численных моделей прогноза погоды, используемых в консорциумах ALADIN (<http://www.cnrm-game-meteo.fr/aladin/>) и HIRLAM (<http://hirlam.org>), и совершенствование

инструментальной и программной базы хранения и работы с растущими в объемах метеорологическими архивами, такими как MARS (<http://www.ecmwf.int/>) в ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasting) (<http://www.ecmwf.int/>), привело к созданию формата ODIM (Operational Data Informational Model) HDF [7]. На сегодняшний день модели консорциумов ALADIN и HIRLAM предоставляют возможность обработки данных в обоих форматах (BUFR и HDF).

Одним из этапов реализации стал проект BALTRAD (2009-2012 гг.) (<http://baltrad.eu/>), проводимый рядом Северных и Восточных стран Европы. Он включал как экспериментальную наблюдательскую часть BALTEX, так и коммуникационную (<http://www.baltex-research.eu/>). Последняя заключалась в разработке архитектуры сети для осуществления обмена и обработки данных метеорологических радаров в режиме реального времени с помощью общих для участников алгоритмов в соответствии с потребностями каждой страны. Разработанная система позволяет получать сегодня точную и своевременную информацию о полях различных типов осадков (дождь, снег, град) и характеристик ветра с высоким пространственным разрешением. В качестве исходных данных в работе использовалась информация упомянутой базы BALTEX.

4. РАБОТА С ДАННЫМИ РАДАРОВ НА ЛОКАЛЬНЫХ ПЛАТФОРМАХ

Форматы BUFR и ODIM HDF представляют собой мощный инструмент для быстрой передачи и компактной работы с большими объемами данных.

Формат иерархических данных HDF (Hierarchical Data Format) создан американским Национальным центром компьютерных технологий NCSA (National Center for Supercomputing Applications) для обмена научными базами данных. В общем, HDF - это формат данных, который описывает сам себя и используется для переноса разных типов данных между различными компьютерами. Библиотека HDF содержит интерфейс для хранения и поиска сжатых и несжатых растровых изображений с палитрами цветов, интерфейс для хранения и поиска n-размерных наборов научных данных вместе с информацией о таких данных как метки, единицы измерения, форматы и масштабы по всем измерениям. Иначе говоря, в HDF используются метаданные о наборах научных данных SDS (Scientific Data Sets), которые включают в себя следующее:

1) систему координат, которая используется для интерпретации или отображения данных; 2) масштабы вдоль каждой оси; 3) метки вдоль каждой оси и для всего набора данных вообще; 4) единицы измерения вдоль каждой оси и для данных; 5) допустимые максимальное и минимальное значения данных; 6) информацию о калибровке данных; 7) информацию о дополнительных или отсутствующих значениях. Версии 3.3 и выше предусматривают работу с форматом JPEG (формат изображений) и поддерживают использование данных формата NetCDF (Network Common Data Form).

Однако полноценное использование форматов BUFR и HDF предусмотрено в сочетании с высокотехнологичными численными моделями, которые, в свою очередь, требуют наличие на вычислительной платформе предварительно установленных многочисленных специализированных пакетов, например, `sqlite`, `grib_api`, `emos`, `slurm`, `hdf`, `python`, `perl`, `metview`, `jasper`, `ecaccess` и др.[8]. Такое решение представляется достаточно громоздким, а чаще всего и невозможным для его реализации в экспресс-задачах количественного описания полей осадков на локальных вычислительных платформах. Поэтому *целью* данной работы стала разработка программного обеспечения, которое позволяет проводить считывание, преобразование на регулярную систему координат, обработку, получение статистических характеристик и визуализацию исходной информации на компьютерах с ограниченными возможностями. За основу для необходимого ПО взят алгоритм обработки данных метеорологических радаров Rack (www.fmi.fi), получаемых в формате HDF5. Следует отметить, что этот формат является частью ODIM HDF формата и на 2016 г. стал основным для архивации данных радаров в модели Harmonie (<https://hirlam.org/trac/wiki/ReleaseNotes/harmonie-40h1.1.beta.5>).

Программный код написан на языке C++ для работы в OS UNIX/Linux и преобразован в Matlab для работы в OS Windows. Он позволяет обрабатывать и воспроизводить трехмерные изображения осадков в атмосфере как с отдельных радаров, так и формировать мозаику из нескольких радаров; выделять и отфильтровывать аномалии, не связанные с атмосферными характеристиками; задавать желаемую цветовую палитру и прозрачность изображений; формировать выходные файлы в текстовом или ином доступном в Matlab формате.

В отдельном блоке ПО собраны функции выявления и удаления аномалий, не связанных с

поляриметрическими данными об облаках с осадками, а обусловленных насекомыми, птицами, самолетами, кораблями, шероховатостью подстилающей поверхности, электромагнитными источниками. Обработка данных в этом блоке реализуется в два этапа. На первом этапе проводится идентификация аномалий, а затем их удаление из исходных данных. Такой подход обеспечивает согласованность данного ПО с другими программами обработки данных и соответствует требованию ODIM [9] по обеспечению пользователя возможностью работать как с исходными, так и с отфильтрованными данными. При идентификации аномалий применялись как гранулированные (пятнистые) детекторы, так и различные пороговые значения отраженного сигнала для биометеоров и самолетов. В расчетах использовались нечеткие функции (*fuzzy function*) [10], отображающие сигнал/шум в виде непрерывных значений истинности от 0.0 (шум) до 1.0 (сигнал). Второй этап, этап удаления аномалий, включает две опции: обнуление значений (замещением кодовым значением) и заполнение пропусков путем интерполяции между соседними значениями с учетом качества последних.

5. РЕЗУЛЬТАТЫ

После предварительной обработки результаты радарных измерений первоначально могут быть представлены в полярной системе координат (рис. 1). Такой промежуточный этап имеет следующие преимущества. Во-первых, полярные координаты служат выходной системой для радаров. По умолчанию, результат препроцессинга получен с таким же азимутальным разрешением, что и исходные данные измерений. Это позволяет исключить ошибку интерполяции, сохранить исходный объем данных, достигнуть максимального быстродействия при представлении конечных метеорологических продуктов в различных географических проекциях, минимизировать изменения исходного кода при добавлении новых алгоритмов. В числе последних следует отметить использование в системе ODIM таких дополнительных аргументов, как количество элементов по дальности, количество импульсов, разделение элементов по дальности и интенсивности. При зондировании конвективной облачности актуальной проблемой является выделение в исходном объеме данных областей максимальной интенсивности отражения, определение вершины и нижней границы конвективного облака.

Представление результатов в декартовой системе координат имеет более наглядный вид

(рис. 2, 3) и, кроме того, позволяет рассчитывать статистические характеристики трехмерного поля осадков и потоки скрытого тепла и влаги.

Использование числовой *RGB (Red-Green-Blue)* палитры дает возможность получать цветное изображение и настраивать различные границы для значений отражательной способности (табл. 1).

Разработанный пакет включает возможности присвоения пикселю следующих значений: максимального, среднего, средневзвешенного с учетом расстояния до радара, с учетом максимального или взвешенного качества. В дополнение к рассчитанному значению программа выдает ста-

тистические характеристики отклонений. Таким образом, программа состоит из трех этапов: инициализации, создания интегрального массива и расчетов, визуализации. На этапе инициализации создается общая сетка с географической привязкой местоположения радаров и особенностей индикаторов кругового обзора. Затем выполняется заполнение трехмерной сетки данными зондирования с учетом заданных параметров интерполяции и осреднения, а также собственно расчеты и сопутствующие статистические характеристики. В завершении результаты визуализируются в соответствии с выбранной цветовой гаммой и характеристиками фильтрации.

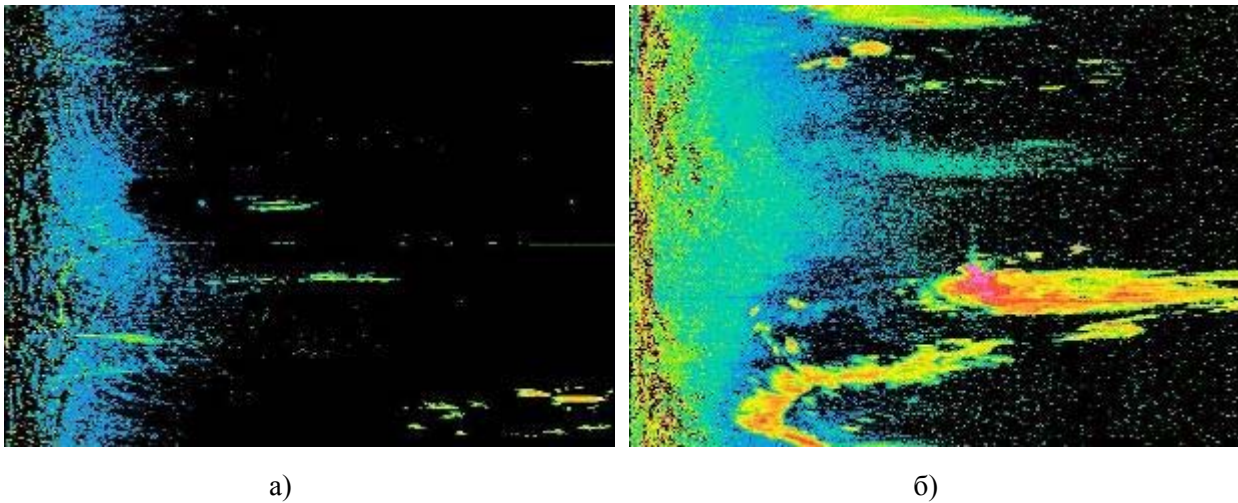


Рис. 1 - Результаты создания полярных изображений в RGB цветах по каждому из 2 радаров (а – ANJ, Anjalankoski, 60°54' с.ш., 27°6' в.д.; б – IKA, Ikaalinen, 61°34' с.ш., 23°4' в.д.), 11.30 UTC 08 августа 2010 года.

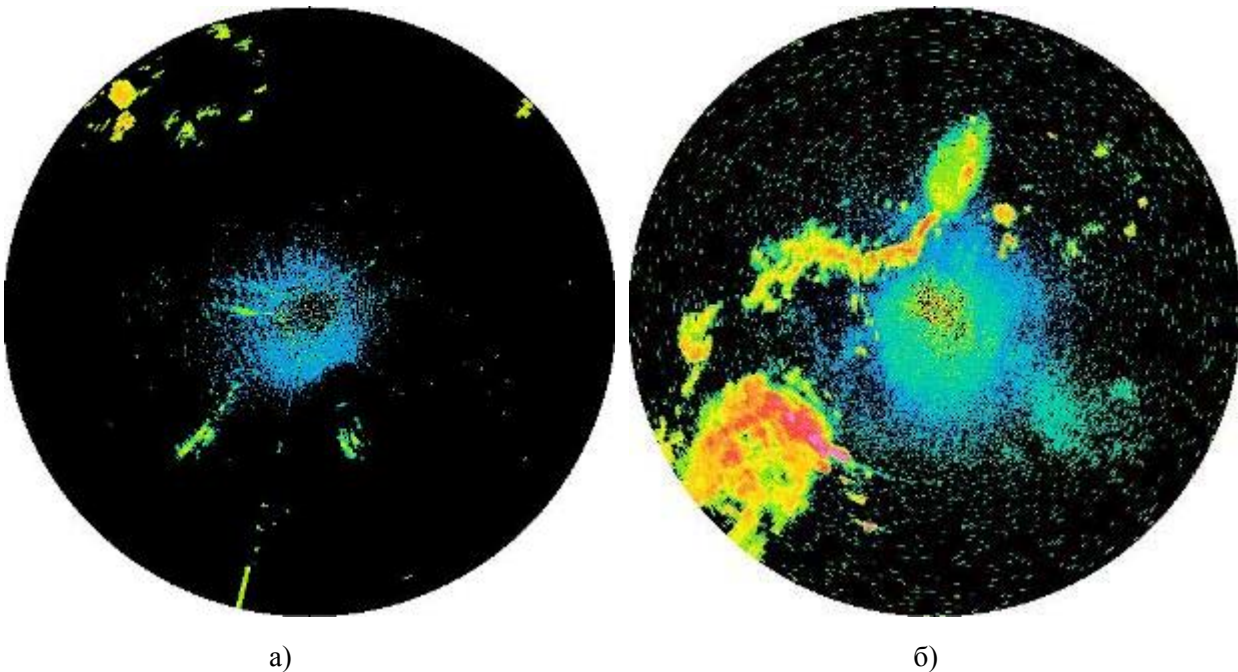


Рис. 2 - Результаты создания декартовых изображений в RGB цветах по каждому из 2 радаров (а – ANJ, Anjalankoski, 60°54' с.ш., 27°6' в.д.; б – IKA, Ikaalinen, 61°34' с.ш., 23°4' в.д.), 11.30 UTC 08 августа 2010 года.

Таблица 1 - Предельные значения отражения и их соответствующее обозначение в палитре цветов RGB

Интенсивность отражения, dBZ	Часть красного цвета	Часть зеленого цвета	Часть синего цвета
-32.0	0	0	0
-24.0	60	140	200
-16.0	10	155	225
Насекомые – -8.0	5	205	170
Морось – 0.0	140	230	20
Слабый дождь – 8.0	240	240	20
Дождь – 16.0	255	205	20
Умеренный дождь – 24.0	255	150	50
Интенсивный дождь – 32.0	255	80	60
Град – 40.0	250	120	255
60.0	255	255	255

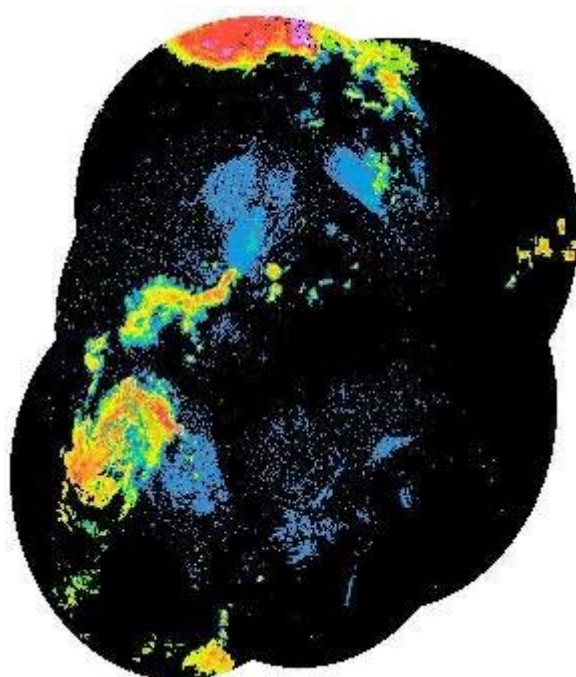


Рис. 3 - Композиционное изображение данных 6-ти радаров в декартовых координатах по каждому из 6 радаров на момент времени 11.30 UTC 08 августа 2010 года.

Имплементация алгоритма в пакете Matlab позволяет создавать композицию на основе выбора только тех радаров, зона покрытия которых охватывает заданную географическую область (рис. 3).

В дополнение к основным задачам обработки и визуализации дистанционных измерений программный код может выполнять преобразование переменных “gain”, “offset”, “undetected” и “nodata” из ODIM HDF5 формата записи данных в другие типы, например, char, float, double [6]. Предусмотрена также возможность дальнейшей разработки кода для поддержки

чтения и записи данных в формате BUFR.

При необходимости представления выходной информации в текстовом формате результаты обработки радарных данных, сопутствующие продукты и непосредственно процесс обработки могут быть по требованию запротоколированы в форматах веб-страниц (html), в текстовых файлах метаданных (txt), графических форматах (svg, png), файлах географических обозначений (kml).

ВЫВОДЫ

Разработан и реализован на локальной вычислительной платформе алгоритм считывания и предварительной обработки (препроцессинга) исходной информации радарных измерений в формате HDF. Программный код выполняет преобразование координат из сферической системы в декартовую на регулярную модельную сетку при одновременном просеивании для сокращения объема данных и удаления излишней информации, проводит расчеты статистических характеристик влагосодержания в атмосфере и визуализацию полей отражательной способности над регионом покрытия. Пакет осуществляет обработку данных как от одного радара, так и с сети радаров и строит мозаику поля влажности. Расчеты могут выполняться в операционных системах UNIX/Linux и Windows. Представленный программный модуль является предварительным этапом в системе усвоения радарных данных в численных атмосферных моделях высокого разрешения.

REFERENCES

1. Ivanov S., Palamarchuk J. Fine-scale precipitation structure of a cold front and the problem of the representativeness error. *Advances in Geosciences*, 2007, vol. 10, pp. 3–8, doi:10.5194/adgeo-10-3-2007.
2. Ivanov S., Palamarchuk J., Pyshniak D. Upscale feedbacks through microphysics fields at nesting domains of the MM5 model. *Atmospheric Research*, 2009, vol. 94, Iss. 4, pp. 726–735, doi:10.1016/j.atmosres.2009.03.006.
3. Ivanov S., Palamarchuk J. Heat and energy fluxes in the convective cell behind a cold front. *Advances in Geosciences*, 2010, vol. 25, pp. 71–77, doi:10.5194/adgeo-25-71-2010.
4. Steinheimer M., Haiden T. Improved nowcasting of precipitation based on convective analysis fields. *Advances in Geosciences*, 2007, vol. 10, pp. 125–131, doi:10.5194/adgeo-10-125-2007.
5. Mecklenburg S., Joss J., Schmid W. Improving the nowcasting of precipitation in an Alpine region with an enhanced radar echo tracking algorithm. *J. Hydrol.*, 2000, vol. 239, pp. 46–68, [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00352-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00352-8).
6. Paulitsch H., Fuchsberger J. FM94-BUFR encoding and decoding software library. *API Documentation. OPERA document*. 2012, 78 p. http://www.eumetnet.eu/sites/default/files/bufr_sw_apidoc.pdf
7. Michelson D.B., Holleman I., Hohti H., Salomonsen M. HDF5 information model and implementation for weather radar data. *COST 717 working document WDF_02_200204_1, version 1.2*. 2003.
8. Urban B. BUFR format and graphical format for polar volume data submitted to and composites produced by the OPERA Odyssey. 2012, 14 p. http://www.eumetnet.eu/sites/default/files/ODIM-bufr-polar-and-compo-and-graphic_0.pdf
9. Michelson D.B., Lewandowski R., Szewczykowski M., Beekhuis H. EUMETNET OPERA weather radar information model for implementation with the HDF5 file format, version 2.1. *Opera working document WD_2008_03, EUMETNET OPERA*, 2011, 36 p. https://www.eol.ucar.edu/system/files/OPERA_2008_03_WP2.1b_ODIM_H5_v2.1.pdf
10. Mustafa Demirci. Fuzzy functions and their applications. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 2000, vol. 252, pp. 495–517, doi:10.1006/jmaa.2000.7185.

THE DIGITIZING ALGORITHM FOR PRECIPITATION IN THE ATMOSPHERE ON THE BASE OF RADAR MEASUREMENTS

Yu. O. Palamarchuk, Assis. Prof.

S. V. Ivanov, S.R.F.

I. G. Ruban, Assoc. Prof.

*Odessa State Environmental University, 15,
Lvovskaya St., 65016 Odessa, Ukraine, j_pal@ukr.net*

There is an increasing demand for automated high-quality very-short-range forecasts and nowcasts of precipitation on small scales and at high update frequencies. Current prediction systems use different methods of determining precipitation such as area tracking, individual cell tracking and numerical models. All approaches are based on radar measurements. World-leading manufactories of meteorological radars and attendant visualization software are introduced in the paper. Advantages of the numerical modelling against inertial schemes designed on statistical characteristics of convective processes are outlined. On this way, radar data assimilation systems as a necessary part of numerical models are intensively developed. In response to it, the use of digital formats for processing of radar measurements in numerical algorithms became important. In the focus of this work is the developing of a unified code for digital processing of radar signals at the preprocessing, filtration, assimilation and numerical integration steps. The proposed code also includes thinning, screening or superobbing radar data before exploring them for the assimilation procedures. The informational model manages radar data flows in the metadata and binary array forms. The model constitutes an official second-generation European standard exchange format for weather radar datasets from different manufactories. Results of radar measurement processing are presented for both, the single radar and radar overlying network.

Keywords: precipitation, meteorological radar, digital signal.

АЛГОРИТМ ЦИФРОВОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ ОПАДІВ В АТМОСФЕРІ НА ОСНОВІ РАДАРНИХ ВИМІРЮВАНЬ

Ю. О. Паламарчук, старш. викл.
С. В. Іванов, старш. наук. співроб.
І. Г. Рубан, доц.

*Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, j_pal@ukr.net*

Розглядається можливість використання цифрових форматів радарних вимірювань в чисельних моделях коротко- і надкороткострокового прогнозу погоди. Відзначено переваги такого підходу перед інерційними схемами, заснованими на статистичних характеристиках розвитку конвективних процесів. Представлені провідні світові виробники метеорологічних радарів і програмного забезпечення для візуалізації вимірювань. Показана необхідність уніфікованого програмного забезпечення для цифрової обробки сигналів для наступного їхнього включення на етапах попередньої обробки, фільтрації, засвоєння і власне чисельних розрахунків. Описана інформаційна модель кодування і управління радарними спостереженнями, яка базується на форматі HDF5. Розглянута інформаційна модель являється Європейським стандартом другого покоління для формату обміну даними метеорологічних радарів різних виробників. Наведені результати обробки вимірювань одного радара і мережі декількох радарів, покриття яких перекриваються.

Ключові слова: опади, метеорологічний радар, цифровий сигнал.

Дата першого подання: 04. 11. 2016

Дата надходження остаточної версії: 22. 11. 2016

Дата публікації статті: 24. 11. 2016