

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА И ОТОБРАЖЕНИЯ ДАННЫХ ДОПЛЕРОВСКОГО МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО РАДИОЛОКАТОРА ДМРЛ-С

INFORMATION SYSTEM FOR DATA ANALYSIS AND DISPLAY OF DOPPLER WEATHER RADAR DMRL-C

V. Shapovalov

Summary. The paper presents a description of the application software for Doppler weather radars. The program is used to provide airports and storm warning services with maps of clouds and dangerous weather phenomena (showers, thunderstorms, hail, flurry). Information technology provides for the receipt and transmission to consumers of operational radar information about the actual weather, cloud development diagnostics, detection, recognition and notification of dangerous weather events for airports and information services, measurement of the intensity and amount of precipitation for agriculture, hydrological forecasts and reclamation, obtaining precipitation maps for agriculture and insurance companies.

The program uses modern information technology and optimal algorithms for processing radar meteorological information.

Keywords: clouds, weather phenomena, observational data, information analysis and display, Doppler weather radar.

Шапвалов Виталий Александрович

К.ф.-м.н., с.н.с., ФГБУ «Высокогорный геофизический институт»
atajuk@mail.ru

Аннотация. В работе представлено описание прикладного программного обеспечения для доплеровских радиолокаторов. Программа применяется для обеспечения аэропортов и служб штормового оповещения картами облаков и опасных явлений погоды (ливни, грозы, град, шквал). Информационная технология обеспечивает получение и передачу потребителям оперативной радиолокационной информации о фактической погоде, диагностику развития облачности, обнаружение, распознавание и оповещение об опасных явлениях погоды для аэропортов и информационных служб, измерение интенсивности и количества выпавших осадков для сельского хозяйства, гидрологических прогнозов и мелиорации, получение карт осадков для сельского хозяйства и страховых компаний.

В программе использованы современные информационные технологии и оптимальные алгоритмы обработки радиолокационной метеорологической информации.

Ключевые слова: облака, явления погоды, данные наблюдений, анализ и отображение информации, доплеровский радиолокатор.

Введение

Для наблюдения за фактической погодой в региональном масштабе служат метеорологические радиолокаторы, позволяющие обнаруживать облака и связанные с ними метеорологические явления в радиусе 250–300 км от места установки [1]. Данные радиолокационных наблюдений одного МРЛ обеспечивают заблаговременность оповещения об опасных явлениях погоды за 1–3 ч, а сети МРЛ — за 6–12 ч.

В РФ разработан современный доплеровский метеорологический радиолокатор «ДМРЛ-С», который оснащается программным обеспечением приема, анализа и отображения информации «ГИМЕТ-2010» [2–4]. В настоящее время актуальна задача построения единого радиолокационного поля всей страны.

Современный доплеровский метеорологический радиолокатор ДМРЛ-С, предприятие изготовитель ОАО «НПО «ЛЭМЗ», г. Москва предназначен [2,3]:

- ♦ для отображения распределения различных метеорологических данных (отражаемости, скорости, ширины спектра, а также в режиме двойной по-

ляризации: дифференциальной отражаемости, фазы, коэффициента кросскорреляции и линейного деполаризационного отношения) на различных высотных уровнях по типу псевдо-CAPPI;

- ♦ расчета и отображения вертикального профиля скорости, направления ветра до высоты верхней границы обнаружения метеообъектов и других доплеровских продуктов;
- ♦ расчета и отображения интенсивности осадков за любой интервал времени;
- ♦ определения опасных явлений погоды (град, гроза, шквальные усиления ветра, интенсивный дождь и снег, сильная турбулентность);
- ♦ отображения скорости и направления перемещения облачных систем;
- ♦ выдачи радиолокационной информации в информационную сеть в необходимых форматах, определенных ВМО или государственными структурами.

Существенным отличием радиолокатора ДМРЛ-С от существующих аналогов является применение технологии сжатия импульсов с уровнем боковых лепестков сжатия ниже 60 дБ, достигаемое за счет использо-

вания последних достижений цифровой техники [3]. Кроме того, применение сложных сигналов позволило сократить излучаемую мощность с сотен до десятков кВт. По оценке специалистов, применение сложных сигналов открывает широкие возможности по созданию метеорологических следующего поколения. Использование в ДМРЛ-С режима двойной поляризации также значительно расширило его возможности за счет получения принципиально новой информации о структуре наблюдаемых метеорообъектов.

Существует большое число автоматизированных систем приема и отображения данных метеорологических радиолокаторов. Наиболее известными являются за рубежом системы: IRIS [5], RainBow [6], TITAN [7] и др. В нашей стране МЕРКОМ [8], МЕТЕОЯЧЕЙКА [9] и др.

В настоящей работе приведено программное обеспечение «ГИМЕТ-2010» обработки и представления информации современных радиолокаторов ДМРЛ-С сети Росгидромета РФ. Программное обеспечение предназначено для приема, анализа, архивирования и отображения радиолокационной метеорологической информации.

Описание информационной технологии

Прикладное программное обеспечение применяется для обеспечения АМЦ аэропортов и автоматизированных систем управления воздушным движением информацией об облачности и связанных с ней опасных явлениях погоды (сильные ливни, грозы, град, шквал). ПО «ГИМЕТ-2010» обеспечивает решение следующих основных задач:

- ◆ получение и передачу потребителям оперативной радиолокационной информации о фактической погоде;
- ◆ диагностику развития облачности в работах по модификации погоды;
- ◆ обнаружение, распознавание и оповещение об опасных явлениях погоды для аэропортов и населенных пунктов;
- ◆ измерение интенсивности и количества выпавших осадков для сельского хозяйства, гидрологических прогнозов и мелиорации;
- ◆ получение карты осадков для сельского хозяйства и страховых компаний.

ДМРЛ работает под управлением программы система контроля и управления (СКУ). После первичной обработки радиолокационные данные из программы первичной обработки информации передаются в программу вторичной обработки радиолокационной информации по протоколу TCP/IP Socket по локальной сети. Конечные сечения принимаются программой UVKClient. Про-

грамма приема данных UVKClient собирает несколько конических круговых обзоров в радиолокационный файл, и передает его на обработку в программу UVKGenerator. Программа UVKGenerator принимает радиолокационный файл, и вырабатывает радиолокационные продукты с различным разрешением: высоким разрешением 250 м по радиусу, 1 гр по азимуту; и в декартовых координатах с разрешением 1x1 км, 2x2 км, 4x4 км.

Анализ и отображение информации обеспечивает программа «ГИМЕТ-2010». Вся информация, получаемая с помощью «ГИМЕТ-2010», отображается по выбору оператора в виде следующих карт:

- ◆ карты горизонтальных сечений на любой высоте через 0,1 км (CAPPI) для всех получаемых продуктов (радиолокационной отражаемости, радиальной доплеровской скорости; ширины спектра; дифференциальной отражаемости; дифференциальной фазы; коэффициента кросскорреляции);
- ◆ карты наклонных сечений (PPI);
- ◆ карты максимальной радиолокационной отражаемости;
- ◆ карты явлений погоды;
- ◆ карты вертикальных сечений облаков в любом направлении (RHI);
- ◆ карты интенсивности и количества осадков;
- ◆ карты вертикально интегрированной водности (VIL).

Любая из перечисленных карт может быть сохранена в файл, выведена на печать и передана по каналам связи потребителям.

Программное обеспечение рассчитано на операционные системы Linux и Windows.

Информация, получаемая с помощью программы вторичной обработки, отображается по выбору оператора в виде следующих карт:

- ◆ карты горизонтальных сечений на любой высоте через 0,1 км (CAPPI) для всех получаемых радиолокационных продуктов [5–7] (радиолокационной отражаемости, радиальной доплеровской скорости; ширины спектра; дифференциальной отражаемости; дифференциальной фазы; коэффициента кросскорреляции);
- ◆ карты наклонных сечений (PPI);
- ◆ карты максимальной радиолокационной отражаемости;
- ◆ карты явлений погоды;
- ◆ карты вертикальных сечений облаков в любом направлении (RHI);
- ◆ карты интенсивности и количества осадков;
- ◆ карты вертикально интегрированной водности (VIL).

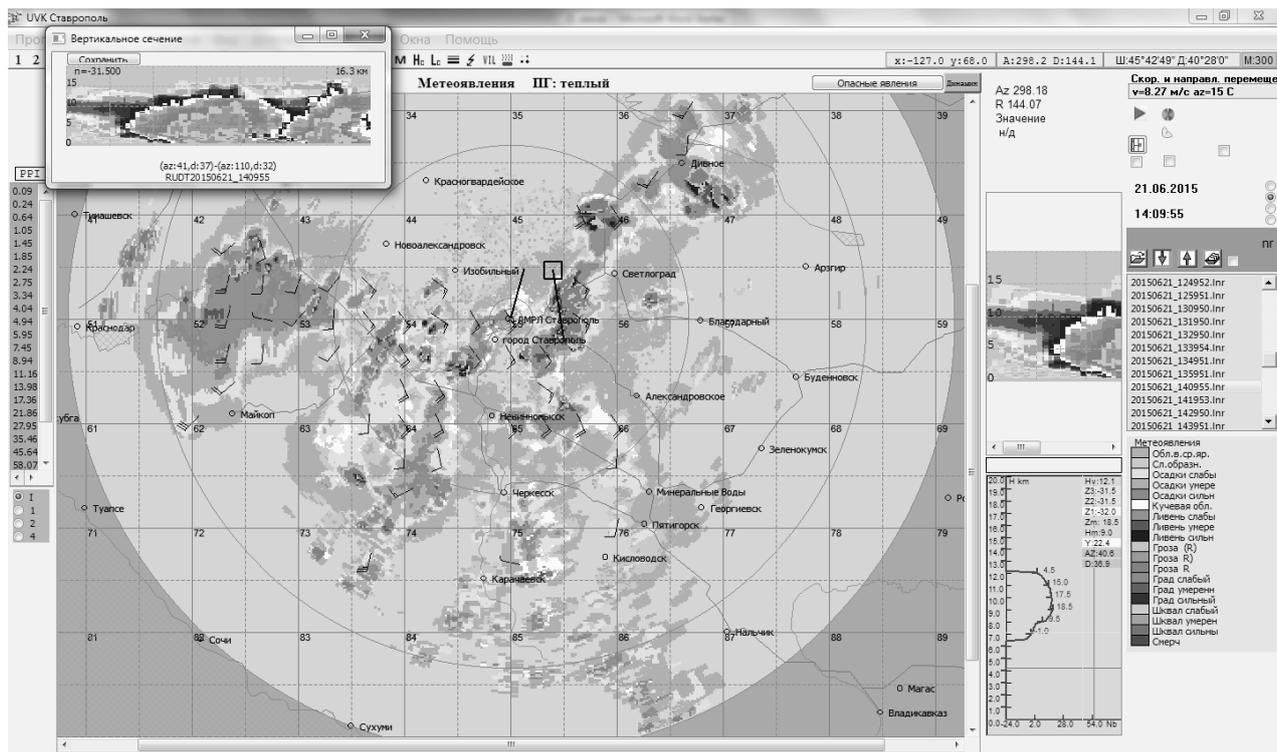


Рис. 1. Радиолокационная карта наблюдаемых явлений погоды на территории СКФО по доплеровскому радиолокатору ДМРЛ-С, функционирующему в г. Ставрополь.

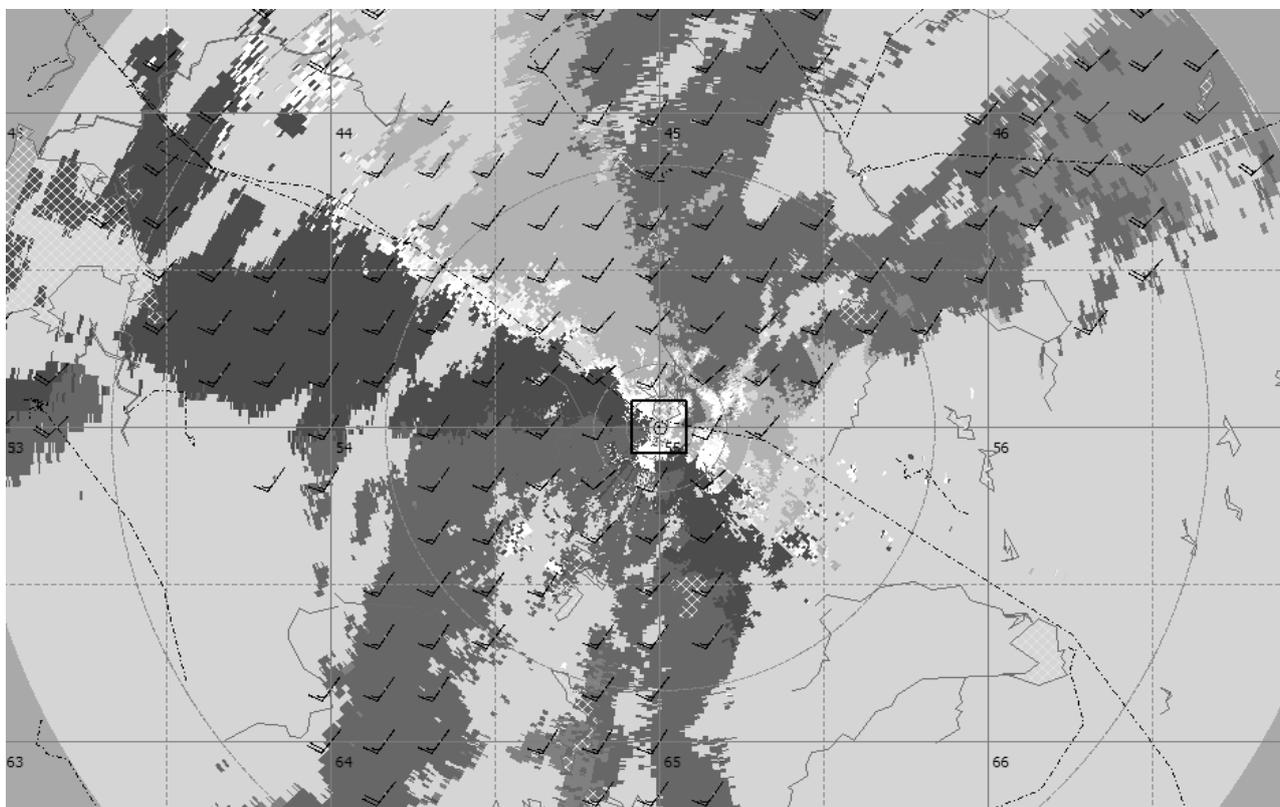


Рис. 2. Карта горизонтального ветра.

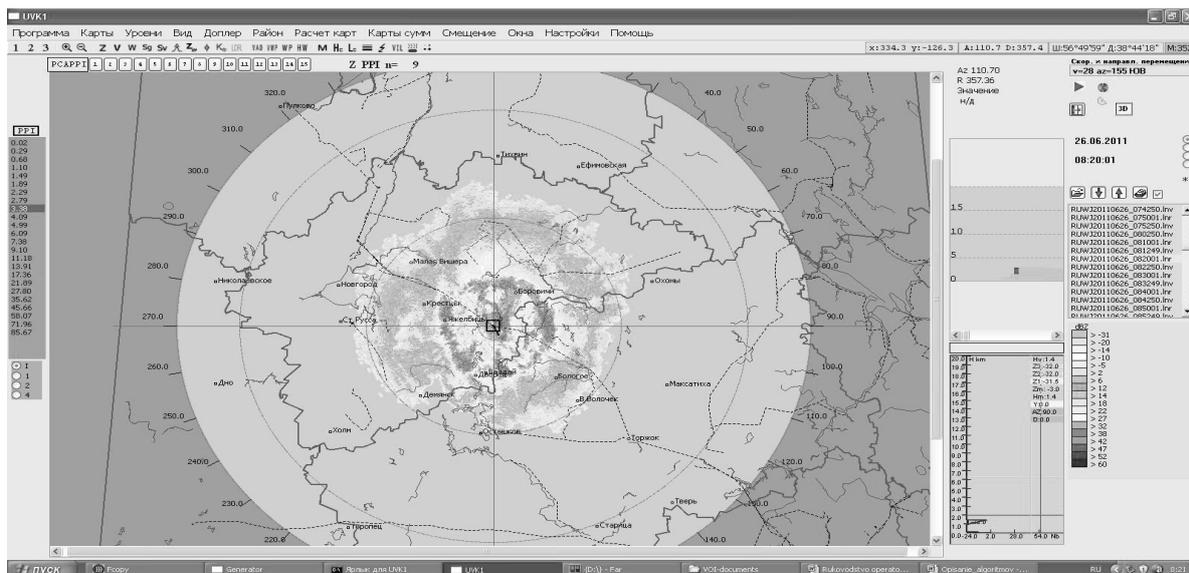


Рис. 3. Отображении PPI на экране монитора, угол места 3,4 градуса

Любая из перечисленных карт может быть сохранена в файл, выведена на печать и передана по каналам связи потребителям.

Программа «ГИМЕТ-2010» применяется на сети ДМРЛ-С Российской Федерации.

На рисунках 1–2 приведены примеры карт, которые выдает программное обеспечение «ГИМЕТ-2010». Карта опасных явлений погоды представлена на рисунке 1. В левом верхнем углу приведено окно вертикального разреза облачности. Обозначения метеорологических явлений цветовой палитрой приведены справа в нижней половине рисунка. На рисунке 2 приведена карта горизонтального ветра. Радиолокатор ДМРЛ-С является двухполяризационным, поэтому программа может формировать еще и карты поляризационных параметров.

Обычно радиолокационный луч посылается под углом места больше нуля. Поэтому луч, по мере удаления от радара, поднимается все выше и выше над поверхностью земли. Из-за этой геометрии, радиолокационные сигналы, отраженные от объектов вблизи радара, представляют область низкого уровня, а отраженные сигналы от отдаленных объектов — область высоких уровней.

Радарная антенна посылает импульсы, вращаясь на 360 градусов под постоянным углом места. Возвращающееся радиоэхо от целей, полученное антенной и обработанное приемником, может быть отображено самым простым способом — прямым показом этих данных — это и есть индикатор кругового обзора -ИКО (PPI), рисунок 3.

Радарная антенна обычно отображается в центре картинки, таким образом, расстояние от нее и высота над землей могут быть отложены как концентрические круги. Нужно отметить, что высота радиоэха увеличивается с расстоянием от радара не линейно, а по параболе, так как поверхность Земли изогнута и снижается ниже радарного горизонта.

Для стационарных установок север обычно представляется наверху изображения. Для движущихся установок, таких как судно и радары самолета, вершина представляет переднюю часть судна или самолета. Изображаемый сигнал — это отражаемость только при одном возвышении антенны. Таким образом, получают множество PPI, для всех возвышений антенны.

При отображении PPI на экране монитора радиолокационные данные отображаются в виде трапеций, образованных лучами соседних азимутов, на которые делится сектор обзора, и радиальными кольцами, проведенными через каждое ΔR , равное дискретности по дальности.

Сечение на постоянном высотном уровне, известное как CAPPI, является радарным продуктом, который дает горизонтальное поперечное сечение данных на постоянной высоте.

Обычный CAPPI составлен из данных от каждого угла места, который попадает в высоту, установленную для поперечного сечения (зигзагообразные линии на рисунке 4). В первые годы данные просмотра выводились

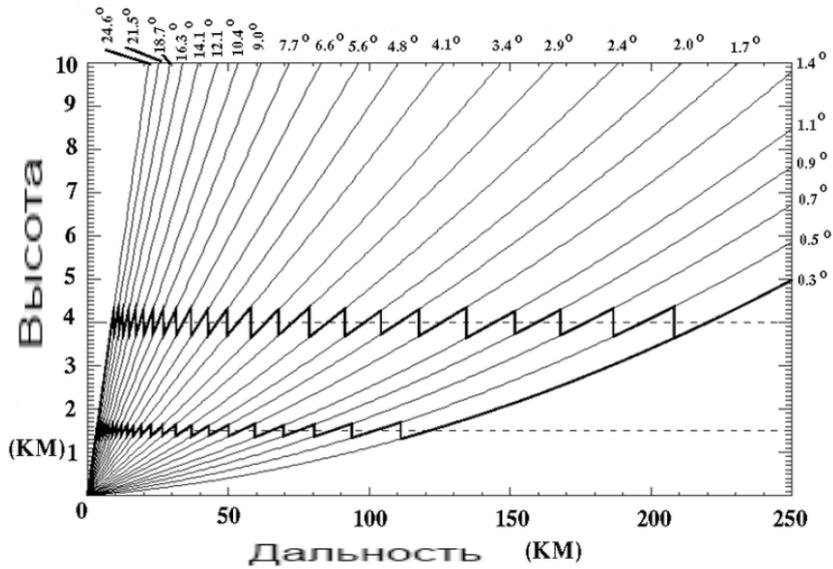


Рис. 4. Алгоритм построения горизонтального сечения.

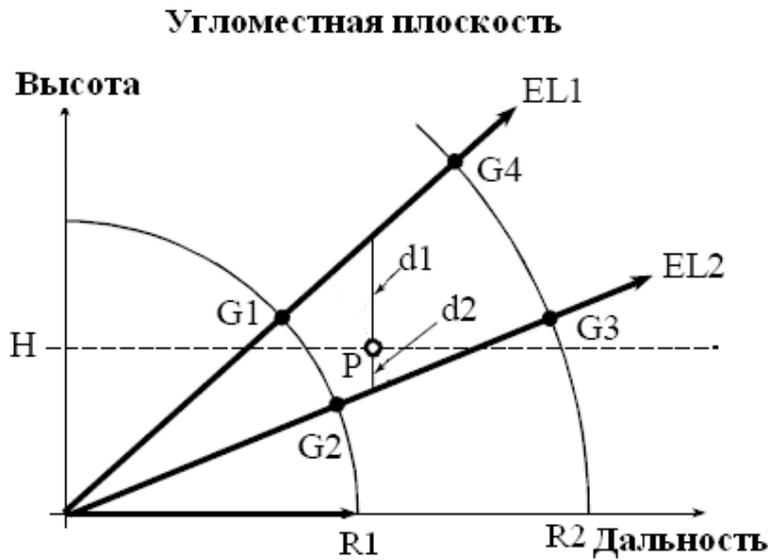


Рис. 5. К построению САРПИ

на указанных расстояниях непосредственно на катодном экране и фотографировались, чувствительное устройство захватывало каждое кольцо, когда оно было готово. Затем все сфотографированные кольца собирались в картинку. К середине 1970-х развитие компьютеров позволило собрать данные в электронной форме и построить САРПИ более легко.

При осреднении отражаемости используется модифицированный алгоритм построения САРПИ (рисунок 5).

Модифицированный алгоритм заключается в следующем: два соседних луча с углами места (EL1 и EL2) на одном азимуте используются для определения отражаемости на промежуточном угле места.

G1-G4 — бины дальности, содержащие данные.

Затем определяется ближайшее расстояние по дальности до точки интерполяции P (R1 или R2), после чего вычисляется значение отражаемости в точке P:

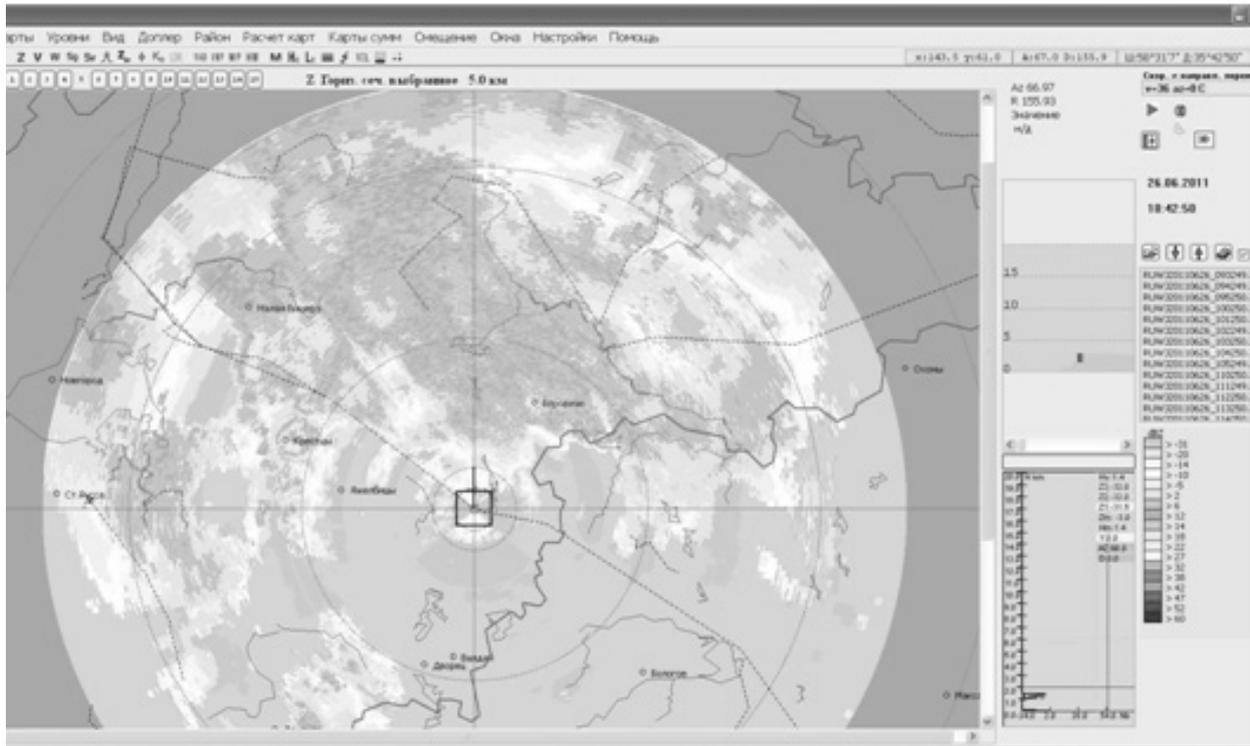


Рис. 6. Карта CAPPI для отражаемости.

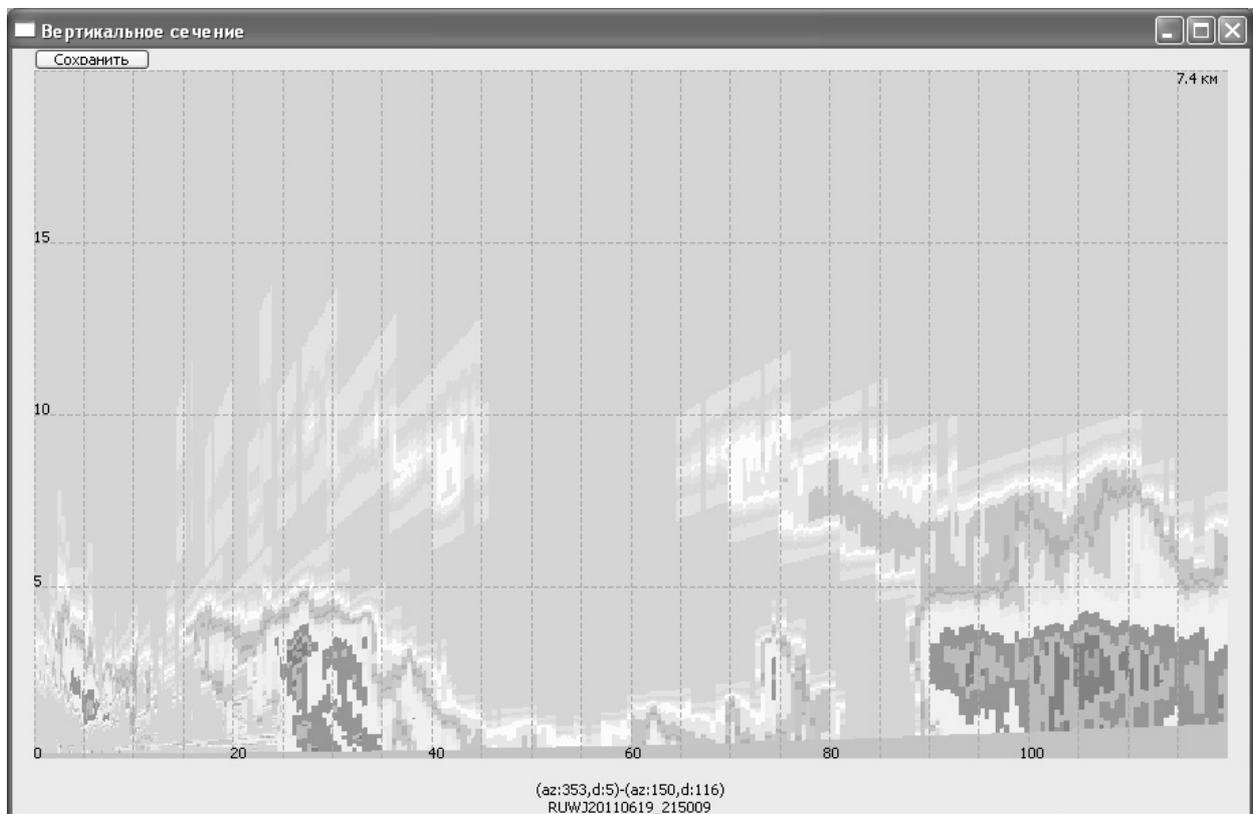


Рис. 7. Изображение вертикального разреза отражаемости облаков.

- ◆ определяются минимальные расстояния от лучей до точки P (d_1 и d_2);
- ◆ вычисляются веса (w_1 и w_2) для ближайших лучей с данными (G_1 и G_2):

$$w_1 = d_2 / (d_1 + d_2); \quad (1)$$

$$w_2 = d_1 / (d_1 + d_2); \quad (2)$$
- ◆ вычисляется значение отражаемости в точке P:

$$ZP = G_1 \times w_1 + G_2 \times w_2. \quad (3)$$

Результаты построения карты представлены на рисунке 6.

Согласно выбранной схеме линейной интерполяции данные между лучами получают интерполяцией между ближайшим верхним и нижним лучом. Данные выше верхнего луча получают экстраполяцией. Интерполяция и экстраполяция производится в нуль для дифференциальной отражаемости, или к фоновым значениям для остальных радиолокационных параметров.

Вертикальное сечение радиолокационной отражаемости в любом направлении строится следующим образом.

По линии АВ, проведенной между начальной (А) и конечной (В) точками вертикального сечения, с шагом ΔR строится последовательность вертикальных столбов — профилей радиолокационной отражаемости. Полученные значения позволяют заполнить карту отражаемости $Z(R, h)$ между точками А и В.

Профиль радиолокационной отражаемости в каждом столбе строится с использованием первичных данных в полярной системе координат.

Заполнение столба происходит следующим образом. Для текущего столба определяются все точки пересечения его с параболami PPI. Между точками пересечения выполняется линейная интерполяция данных. За параболami (ниже первой и выше последней, с которой есть пересечение) интерполяция не выполняется. Для верхнего луча используется экстраполяция данных в фоновые значения или в нуль.

На рисунке 7 приведен пример вертикального разреза радиолокационной отражаемости.

Радиолокационные данные наблюдений за конвективными облаками (особенно в режиме непрерывно следующих друг за другом обзоров) являются крайне важными для исследования физики облаков и для проверки разрабатываемых математических моделей облаков.

В настоящее время в радиометеорологии широко внедряются информационные системы, в задачи которых входит объединение результатов наблюдений нескольких МРЛ с пересекающимися областями обзора пространства [9]. Такое объединение информации нескольких МРЛ позволяет получать единую комплексную радиолокационную карту региона или целой страны, информативность которой значительно выше, чем от отдельных радиолокаторов. Суммарные за интервал времени карты опасных явлений позволяют оценить полную площадь, подверженную воздействию гидрометеорологических процессов.

Заключение

Разработана современная информационная технология приема и обработки данных доплеровских метеорологических радиолокаторов. Информационная технология обеспечивает получение и передачу потребителям оперативной радиолокационной информации о фактической погоде, диагностику развития облачности, обнаружение, распознавание и оповещение об опасных явлениях погоды.

Использованы современные информационные технологии и алгоритмы обработки радиолокационной информации.

Карты опасных явлений и сумм осадков позволяют оценить полную площадь, охваченную гидрометеорологическим явлением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Довиак, Р., Зрнич Д. Доплеровские радиолокаторы и метеорологические наблюдения. — Л.: Гидрометеиздат, 1988.
2. Доплеровский метеорологический радиолокатор ДМРЛ-С. — <http://www.lemz.ru/views/solutions/meteo/meteo> (дата обращения: 15.10.2017)
3. Ефремов, В.С., Вовшин Б. М., Вылегжанин И. С., Лаврукевич В. В., Седлецкий Р. М. Поляризационный доплеровский метеорологический радиолокатор С-диапазона со сжатием импульсов// Журнал радиоэлектроники. 2009. № 10.
4. Шаповалов, А.В., Шаповалов В. А., Тапасханов В. О., Стасенко В. Н. Программное обеспечение приема и представления информации нового российского ДМРЛ-С// Матер. Всеросс. открытой конф. по физике облаков и активным воздействиям на гидромет. процессы, посвященной 80-летию Эльбрусской высокогорной комплексной экспедиции АН СССР, Нальчик, 7–9 октября 2014 г. — Нальчик, 2014. — С. 141–148.
5. Vaisala Sigmet Interactive Radar Information System IRIS. https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/Sigmet_IRIS_brochure_B210636EN-E.pdf (дата обращения: 25.05.2018)

6. Selex Systems Integration GmbH. http://www.raingain.eu/sites/default/files/selex_systems_integration_gmbh_-_company_presentation_2.pdf (дата обращения: 15.05.2018)
7. Dixon, M., NCAR, cited 2015, TITAN — Thunderstorm Identification Tracking Analysis and Nowcasting. (дата обращения: 25.05.2018).
8. Шаповалов, А.В., Капитанников А. В., Колосов М. В., Шаповалов В. А. Метеорологический радиолокационный комплекс «МЕРКОМ»// Материалы XXX Всероссийского симпозиума «Радиолокационное исследование природных сред» / под общ. ред. Ю.В. Кулешова. — СПб.: ВКА имени А. Ф. Можайского, 2017. — Выпуск 12. — Том 2. — С. 125–130.
9. Базлова, Т.А., Бочарников Н.В, Брылев Г. Б. и др. Метеорологические автоматизированные радиолокационные сети. — Л.: Гидрометеиздат, 2002. — 331с.

© Шаповалов Виталий Александрович (atajuk@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»