

Комплексирование радиолокационных измерений на основе RGB-синтеза

К.Л. Восканян, А.Д. Кузнецов, О.В. Сероухов., Т.Е. Симакина.

*ФГБОУ ВПО Российский государственный гидрометеорологический университет
195196 Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98*

*E-mail: kvosia@mail.ru, kuznetsov1946@inbox.ru, serouhova@inbox.ru,
tatiana.simakina@gmail.com*

В докладе предложен способ RGB-синтезирования радиолокационных поляризационных параметров: дифференциальной отражаемости, дифференциальной фазы и коэффициента взаимной корреляции. Показано, что комплексирование данных характеристик может дать более определенную информацию о микрофизических характеристиках гидрометеоров и повысить эффективность идентификации метеорологических объектов.

The report proposes a method of RGB-synthesis of radar polarization parameters: differential reflectance, differential phase and cross-correlation coefficient. It is shown that the combination of these characteristics can provide more specific information about the microphysical characteristics of hydrometeors and improve the identification of meteorological objects.

Доплеровский метеорологический радиолокатор в настоящее время становится основным измерительным метеорологическим средством для дистанционного зондирования атмосферы. С его помощью стало возможным решать следующие задачи:

- обнаружение турбулентных и конвективных движений в атмосфере;
- обнаружение атмосферных фронтов и границ облаков и осадков;
- определение фазового состава гидрометеоров;
- определение скорости и направления движения метеообразований;
- получение сумм выпавших осадков.

Поскольку большинство типов осадков содержат несферические частицы: капли дождя сплюснутые, ледяные кристаллы – вытянутые или сплюснутые, снежинки имеют сложную форму, - для интерпретации гидрометеоров необходимо принимать во внимание поляризационные эффекты радиолокационного сигнала. Использование поляризованных сигналов метеорадаров дает возможность дистанционно определять такие характеристики отражающих частиц, как размеры, форма, пространственная ориентация и термодинамическое состояние, что повышает эффективность автоматизированного распознавания метеорологических явлений и точность оценки интенсивности осадков.

Поляризационные радиолокаторы отличаются переменной поляризацией зондирующего и/или принятого сигнала, а также обеспечивают прием двух ортогонально поляризованных радиоволн. Двухполяризационные метеорадары позволяют количественно измерять интенсивность осадков, водность и т.п. для длин волн меньше 10 см даже при наличии ослабления радиоволн гидрометеорами.

Поскольку зависимости между параметрами отражателей и измеряемыми величинами носят обычно нелинейный характер, целесообразно использовать комбинации измеряемых величин, для исключения определенных характеристик свойств гидрометеоров и выделения других. В данной работе выполнено объединение поляризационных характеристик доплеровского МРЛ в цветовой модели RGB [1] с целью более точной идентификации типа гидрометеоров и фазы осадков. Цветовая

тройка RGB (red, green, blue – красный, зеленый, синий) традиционно используется для представления цветных изображений в компьютере. Цветное изображение является более информативным по сравнению с полутоновым, поэтому, комбинируя изображения отдельных радиолокационных характеристик, можно получить цветосинтезированное изображение с дополнительной информацией для анализа.

Компонентами при RGB-синтезе были следующие радиолокационные параметры облаков и осадков, отображаемые в виде горизонтальных сечений на различных высотах:

- дифференциальная отражаемость Z_{dr} ,
- дифференциальная фаза F_{dp} ,
- коэффициент взаимной корреляции (кросскорреляции) вертикальной и горизонтальной составляющей сигнала ρ_{HV} .

Дифференциальная отражаемость Z_{dr} представляет собой отношение мощностей принятого сигнала при облучении цели сигналом горизонтальной и вертикальной поляризации. Величина Z_{dr} может принимать значения от -2 до +7 дБ в зависимости от ориентации рассеивающих частиц и их фазового состояния. При углах наклона антенны отличных от 90° Z_{dr} начинает зависеть и от размеров частиц [2]. Так, при угле 50° для крупных частиц зависимость между Z_{dr} и диаметром гидрометеора становится практически линейной – рис. 1.

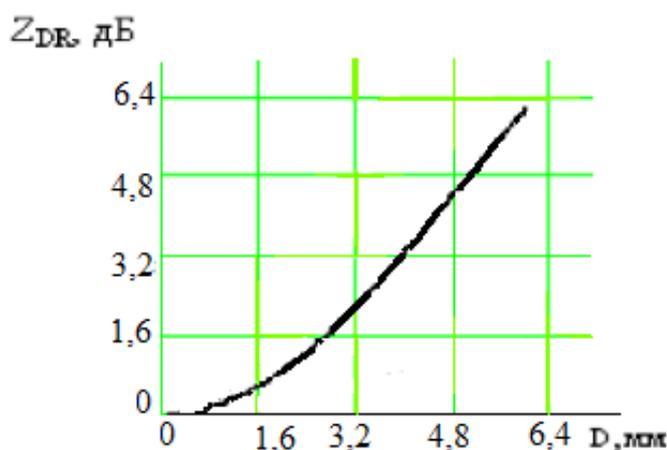


Рис.1 Зависимость дифференциальной отражаемости от диаметра частиц при угле наклона антенны 50° (график из работы [2])

Дифференциальная фаза F_{dp} обусловлена отличием фаз отраженных от метеообъектов сигналов на вертикальной и горизонтальной поляризациях. Величина дифференциального фазового сдвига на единицу расстояния до цели зависит от формы, ориентации, агрегатного состояния и концентрации частиц.

Коэффициент взаимной корреляции вертикальной и горизонтальной составляющей сигнала ρ_{HV} – это модуль коэффициента корреляции между ортогонально ориентированными отраженными волнами. Появление в отраженном сигнале кроссполяризационной (перекрестной) составляющей в основном обусловлена наклоном частицы, когда ее ось симметрии находится под углом к вертикали.

Отметим практическую ценность в улучшении качества радиолокационных измерений указанных поляризационных параметров [3]:

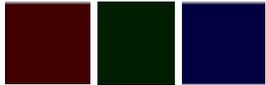
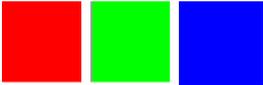
- независимость удельной дифференциальной фазы от калибровки локатора позволяет осуществлять автоматическую его самокалибровку;
- независимость дифференциальной фазы от величины ослабления позволяет корректировать сигнал на ослабление в осадках;

- устойчивость к частичной блокировке луча препятствиями из-за нечувствительности к ней F_{dp} ;

- эффективное распознавание и фильтрация сигналов от неметеорологических рассеивателей, использующих свойства модуля коэффициента корреляции ρ_{hv} .

Все перечисленные выше радиолокационные характеристики предварительно нормированы для приведения их к интервалу от 0 до 255. В этом случае линейное весовое суммирование трех исходных чистых цветов даст более 16 млн синтезированных цветов. Далее нормированные поляризационные параметры радиосигнала синтезированы в системе RGB так, что значения дифференциальной фазы F_{dp} управляют компонентой R (оттенками красного), дифференциальной отражаемости Z_{dr} – компонентой G (оттенками зеленого), коэффициент корреляции – компонентой B (оттенками синего). Описание идентифицируемых метеообъектов и их характеристик сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Признаки метеообъектов для различных компонент RGB

Значения компонент	Радиолокационные параметры		
	F_{dp} - R	Z_{dr} - G	ρ_{hv} - B
<p>Низкие</p> 	<p>- снег - низкая концентрация частиц</p>	<p>- вертикально ориентированная симметрия совокупности гидрометеоров - нисходящие потоки</p>	<p>- град - эффект нерэлеевского рассеяния - нижняя часть слоя таяния</p>
<p>Средние</p> 	<p>- средняя концентрация частиц</p>	<p>- твердые хаотически ориентированные частицы - слабый дождь</p>	<p>- средняя дисперсия форм и ориентаций отражающих несферических частиц</p>
<p>Высокие</p> 	<p>- дождь - высокая концентрация частиц</p>	<p>- сильный дождь и ливень - крупнокапельная жидкая фаза - преимущественно горизонтальная ориентация рассеивателей - восходящие потоки с выносом крупных капель в верхнюю часть облака</p>	<p>- дождь (в S-диапазоне) - малая дисперсия форм и ориентаций частиц</p>

На рис. 2 представлена схема RGB-модели, на рис. 3 - пример синтеза трех компонент с получением цветов основных метеообъектов в палитре цветосинтезированного изображения при указанной комбинации трех поляризационных параметров: Z_{dr} , F_{dp} и ρ_{hv} . Трехстолбчатые диаграммы показывают их вклад в результирующий цвет.

Поскольку для частиц града характерна сферическая или коническая форма, практически не зависящая от размера частиц, и низкая упорядоченность их ориентаций [3], эти гидрометеоры характеризуются средними значениями F_{dp} , низкими (отрицательными) значениями Z_{dr} и близкими к нулю значениями ρ_{hv} , что в результате дает красный цвет на синтезированном изображении - рис. 3а. Большая концентрация частиц и довольно крупный их размер соответствует слою тающих

кристаллов льда, что отражает желто-оранжевый цвет - рис. 3б. Изменение цвета с желто-оранжевого к красному соответствует изменению фазы частиц.

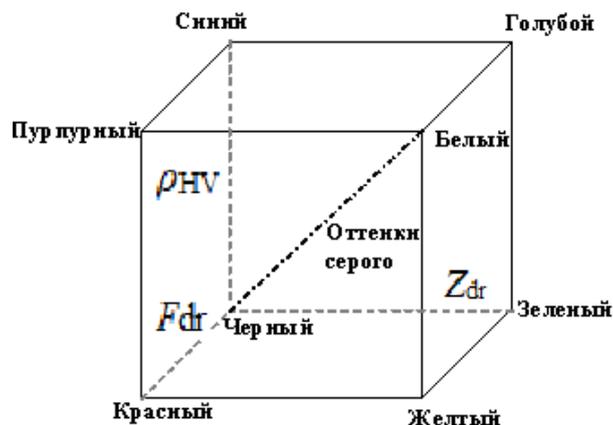


Рис. 2 Схема RGB-модели

Капли воды в атмосфере имеют наиболее упорядоченную ориентацию среди всех гидрометеоров. Жидкие капли диаметром менее 0,35 мм имеют сферическую форму, капли диаметром до 1 мм - форму, близкую к сфероиду вращения. С ростом диаметра основание капли постепенно сплющивается, затем выгибается внутрь. На слабый дождь указывает светло-фиолетовый цвет - рис. 3в, образованный преобладанием значений коэффициента корреляции, отвечающего за канал В, над значениями Z_{dr} , F_{dr} . Повышение компоненты G, обусловленное ростом дифференциальной отражаемости, приводит к почти белому цвету - рис. 3г, соответствующему сильному дождю.

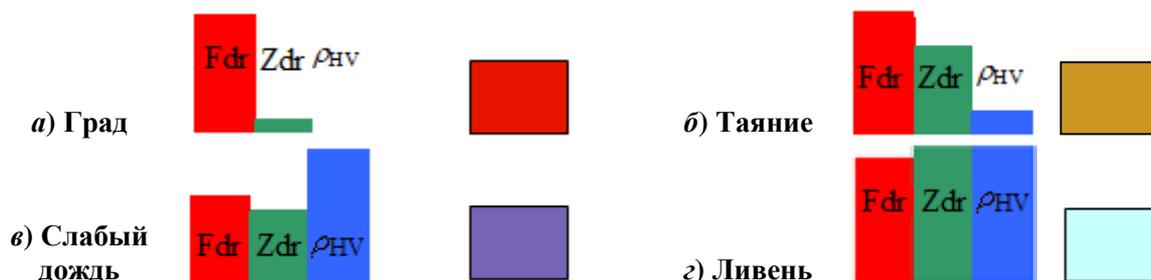


Рис. 3 Цвета метеообъектов в схеме RGB F_{dr} , Z_{dr} , ρ_{HV}

Таким образом, полученные предварительные результаты доказывают, что при использовании поляризационных характеристик появляются дополнительные возможности улучшения качества идентификации типа гидрометеоров, а информативная способность синтезированного из трех радиолокационных поляризационных характеристик изображения повышается.

Литература

1. Симакина Т.Е. Получение и обработка спутниковых снимков. СПб.: Изд-во РГГМУ. – 2010. - 104 с.
2. Энциклопедия безопасности авиации /под ред. Н.С. Кулика. - Киев: Техника. - 2008. - 1000 с.
3. Методические указания по производству метеорологических радиолокационных наблюдений на сети ДМРЛ-С Росгидромета. Разработаны ФГБУ "Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова". 2013. - СПб. – 164 с.