

# Анализ соответствия между результатами автоматизированной метеорологической дешифровки информации с геостационарного спутника и данными МРЛ

М.В. Бухаров<sup>1</sup>, Д.В. Говоров<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ГУ «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета»  
123242, Москва, Б. Предтеченский пер., 7

E-mail: [bukharov@planet.iitp.ru](mailto:bukharov@planet.iitp.ru)

<sup>2</sup> ФГУ Главный авиационный метеорологический центр  
119027 Москва, а/н Внуково, ФГУ ГАМЦ

E-mail: [dimuuee@mail.ru](mailto:dimuuee@mail.ru)

Рассмотрены специфические ограничения локальной радиолокационной и обзорной спутниковой метеорологической информации и проведен сравнительный анализ синхронных карт метеорологических явлений, связанных с облачностью, и высот кучево-дождевых облаков. Сравнимые карты построены в теплый период 2007 г. по результатам дешифровки информации с геостационарного спутника Meteosat-9 и МРЛ АКСОПРИ. Выявлены условия сопоставимости и расхождения метеорологической информации на соответствующих картах. Отмечена перспективность совместного использования обзорных и локальных метеорологических карт текущей погоды, выпускаемых соответственно по спутниковой и радиолокационной информации.

## Введение

Атмосферные явления, возникающие в кучево-дождевой облачности, представляют большую опасность для полетов авиации. Поэтому распознавание такой облачности, картирование ее текущего положения и динамики изменения в предшествующие сроки, а также получение данных о высоте верхней границы облаков являются важными задачами спутниковой метеорологии. В настоящее время они решаются не только с помощью метеорологических автоматизированных радиолокационных сетей [1], но и на основе новых методов автоматизированной дешифровки информации с геостационарных спутников [2].

Надежность обслуживания авиации результатами метеорологической дешифровки спутниковой информации в значительной степени зависит от правильности распознавания атмосферных явлений, кучево-дождевой облачности (Cb) и погрешности оценки высоты ее верхней границы (Нвго). Поэтому анализ соответствия таких видов спутниковой продукции результатам, получаемым по результатам обработки информации наземных метеорологических радиолокаторов (МРЛ), представляет как методический, так и практический интерес.

Метеорологические карты, выпускаемые на основе автоматизированной обработки данных МРЛ и спутников, являются частично подобными, но не тождественными. Причем, каждый из этих двух видов информации имеет свои специфические ограничения. Для их корректного учета при верификации рассмотрим более подробно специфику этих двух видов метеорологической информации.

## Специфика сравниваемых видов метеорологической информации

### *Специфика радиолокационной метеорологической информации*

Известно, что распознавание атмосферных явлений, связанных с облачностью, с помощью МРЛ проводится по косвенным признакам. Причем, правильность распознавания существенно зависит от типа метеорологического объекта и его удаленности от МРЛ.

Согласно [1], МРЛ-2 и МРЛ-5 позволяют с вероятностью 95 % облачность без осадков и мощную кучевую облачность обнаруживать на равнинных районах на дальности не более чем 20 и 50 км соответственно. Летние обложные морозящие осадки и слоисто-дождевая облачность

распознаются на дальности до 60 и 120 км соответственно. В зимний период дальность обнаружения таких осадков уменьшается примерно в два раза и не превышает соответственно 30 и 60 км. Кучево-дождевая облачность с ливневым дождем и снегом распознается на дальности до 90-120 км, а с грозой и градом – до 150-200 км. Причем, за высокими препятствиями, например в горной местности, а также в районах с сильными электромагнитными помехами, обнаружение атмосферных явлений оказывается принципиально невозможным.

Кроме того, на картах МРЛ могут не отображаться облака, занижаться значения высот верхней границы кучево-дождевой облачности и правильно не распознаваться метеорологические явления в случае, если они находятся за зоной интенсивных и протяженных осадков. Дальность правильного обнаружения и точность расчета высоты верхней границы облачности снижается и в тех случаях, когда осадки выпадают непосредственно на защитную оболочку антенны МРЛ.

Перечисленные ограничения приводят к тому, что карты метеорологических явлений, выпускаемые по информации МРЛ, во-первых, не являются адекватными общепринятой метеорологической информации и, во-вторых, с определенной вероятностью отображают только часть возможных метеорологических объектов в пределах максимального радиуса наблюдения. Причем, наиболее полная и точная информация о метеорологических объектах содержится на фрагменте карты в радиусе до 20 км от МРЛ.

Средняя вероятная ошибка определения высоты верхней границы облачности по измерениям МРЛ в радиусе до 20 км составляет примерно  $\pm(0.5-0.6)$  км [1]. С увеличением расстояния от МРЛ ошибка возрастает из-за расширения диаграммы направленности антенны, уменьшения мощности сигнала, приходящего после отражения от гидрометеоров (особенно когда они находятся за зоной интенсивных и протяженных осадков), искажающего влияния боковых лепестков диаграммы направленности антенны, и ряда других факторов. Разное влияние этих факторов приводит к тому, что верхняя граница радиозахвата удаленного облака может совпадать с его реальной верхней границей, а может быть значительно выше или ниже ее.

Отметим, что при измерениях с помощью МРЛ особо выделяются кучево-дождевые облака с опасными явлениями (гроза и град). По экспериментальным оценкам средняя вероятная ошибка определения высоты их верхней границы в радиусе до 150 км практически не зависит от дальности и составляет примерно  $\pm 0.5$  км [1]. Т.е. метеорологические параметры этого типа облачности, рассчитываемые по информации МРЛ, оказываются статистически наиболее надежными (по дальности обнаружения и точности оценки) для сравнения с выпускаемыми спутниковыми метеорологическими картами. Однако большая пространственно-временная изменчивость высоты верхней границы кучево-дождевых облаков (в 20 % случаев превышает  $\pm 0.2$  км/мин) при продолжительности обзора всей территории с помощью МРЛ от 3 до 15 минут может привести к большим отклонениям (до  $\pm 3$  км) при оценке значений Нвго в конкретный момент времени. Это обстоятельство важно учитывать при сравнении карт МРЛ с картами дешифровки результатов спутниковой съемки, продолжительность которой во много раз меньше, чем у МРЛ.

Рассмотренные ограничения свидетельствуют о том, что отдельные МРЛ и даже созданные на их основе радиолокационные сети, принципиально не могут обеспечить правильное распознавание всех метеорологических явлений, отображаемых на карте в пределах максимального радиуса представления информации. Поэтому разработка и совершенствование пространственно непрерывной системы обзора облачности и связанных с ней опасных явлений погоды, несомненно, относится к одной из важных задач.

### *Специфика спутниковой метеорологической информации*

Спутниковые метеорологические измерения без пропуска покрывают любую интересующую территорию независимо от рельефа места, типа поверхности (суша или вода) и государственных границ. Причем, поля метеорологических явлений, дешифрируемые по спутниковой информации, не зависят от «дальности наблюдения» и поэтому могут заметно отличаться от аналогичных карт МРЛ.

Распознавание метеорологических явлений (облачность, осадки, ливни, грозы, град в облаках и др.) и оценка высоты верхней границы кучево-дождевой облачности по спутниковой информации осуществляется на основе прямых измерений радиационной температуры на верхней границе облаков и учета специально рассчитываемых прогностических данных о вертикальном профиле температуры и влажности воздуха в атмосфере [2]. Поэтому правильность распознавания метеорологических явлений и оценки их параметров зависит от точности не только спутниковых измерений, но и используемой прогностической информации.

При вычислениях и построении спутниковых метеорологических карт для территории России используется нормализованное пространственное разрешение, равное  $0.1^\circ$  географической широты и долготы, что примерно соответствует прямоугольной ячейке со сторонами 11 и 7 км. Такое пространственное разрешение спутниковых карт примерно соответствует разрешающей способности измерительной аппаратуры геостационарных спутников при наблюдении в умеренных широтах, но оказывается в несколько раз грубее, чем у МРЛ. Различие в пространственном разрешении приводит к тому, что отдельные кучево-дождевые облака, локальные вершины которых имеют небольшую горизонтальную протяженность (до нескольких километров) и хорошо видны с помощью МРЛ, не всегда могут быть однозначно идентифицированы по спутниковой информации.

Регистрируемое при спутниковых измерениях излучение ИК-диапазона формируется в пределах самого верхнего слоя даже тонкой перистой облачности. Под ней в ряде случаев могут располагаться и более мощные слоистые и кучево-дождевые облака. Поэтому, сначала по спутниковой информации рассчитываются значения высот верхней границы самой высокой облачности, которые с дискретностью по высоте 3 км наносятся на карту разными оттенками серого цвета в диапазоне от 0 до 15 км. После чего в пределах выделенной облачности проводится дополнительное распознавание районов, где пространственная изменчивость радиационной температуры, термодинамическая температура и влажность воздуха в атмосфере оказываются типичными для кучево-дождевых облаков. Рассчитываются максимальные значения высот возможной кучево-дождевой облачности в этих районах и наносятся на карту в виде плавно меняющейся цветовой палитры. При этом наносимые значения Нвго кучево-дождевых облаков ограничиваются наиболее опасным для авиации диапазоном от 7 до 15 км.

Следует отметить, что опасные метеорологические явления, диагностируемые по спутниковой информации, по своей физической интерпретации существенно ближе к информации МРЛ, чем к наземным метеорологическим измерениям. Согласно [1], при интерпретации карт МРЛ используемое обозначение «гроза» соответствует одновременно грозоопасному облаку и ливневому дождю с грозой, термин «град» относится к градоопасному облаку и грозовому облаку с градом, «ливень» обозначает негрозоопасное конвективное облако и негрозовой ливень.

Учитывая выше перечисленные ограничения, перейдем к рассмотрению результатов сравнительного анализа метеорологических карт, полученных в результате автоматизированной дешифровки почти синхронных по времени спутниковых и радиолокационных измерений.

### **Результаты сравнительного анализа**

Сравнительный анализ проведен в теплый период с мая по июль 2007 г. по метеорологическим картам, которые каждые 10 минут передавались с радиолокационной системы АКСОПРИ (г. Москва) и каждые 15 минут выпускались в ГУ «НИЦ «Планета» с помощью автоматизированной информационной системы (АИС) «Метео-ИСЗ» по результатам дешифровки информации с геостационарного спутника Meteosat-9. На радиолокационных картах с детальностью 4 км нанесены метеорологические явления, распознанные на удалении до 200 км от МРЛ, а карты дешифровки спутниковой информации имели детальность  $0.1^\circ$  (по широте и долготе) и охватывали территорию от 0 до  $50^\circ$  в.ш. и от 45 до  $65^\circ$  с.ш.

Продолжительность обзора метеорологических явлений на выбранной территории диаметром 400 км при спутниковой и радиолокационной съемке составила около 0.4 и 8 минут соответствен-

но. Т.е. спутниковая съемка территории оказалась примерно в 20 раз быстрее, чем радиолокационная. Разница в продолжительности съемки даже несколько минут может приводить к заметным изменениям внутренней и внешней структуры кучево-дождевой облачности и соответствующих параметров метеорологических явлений. Поэтому определенное различие между спутниковыми и радиолокационными метеорологическими картами может возникать и из-за разной продолжительности обзора одной и той же территории. Причем, различие тем заметнее, чем больше скорость переноса атмосферы в районе с наблюдаемой облачностью.

Для сравнения отбирались радиолокационные карты, на которых с помощью АКСОПРИ были зарегистрированы метеорологические процессы разной интенсивности, включая кучево-дождевую облачность с грозами. После чего на эти же моменты времени или близкие к ним (различие по времени съемки составляло от 3.5 до 10 минут) подбирались аналогичные спутниковые карты метеорологических явлений, высоты кучево-дождевой облачности и радиационной температуры. Причем, карты радиационной температуры использовались для оценки типа синоптической ситуации на момент съемки.

Сравнение карт, построенных с помощью АКСОПРИ и АИС «Метео-ИСЗ», показало следующее.

1. Поля облачности, осадков, ливней и гроз на этих двух типах карт в подавляющем большинстве рассмотренных случаев, оказались сопоставимы и принципиально не противоречили друг другу. Причем, карты, построенные с помощью АИС «Метео-ИСЗ», давали удовлетворительное обзорное представление о положении наиболее протяженных зон с кучево-дождевыми облаками, ливнями и грозами, а карты АКСОПРИ позволяли более детально определять локальные особенности процессов на удалении до 50-100 км от МРЛ. Поэтому совместное использование таких карт позволяет с большей оперативностью и надежностью распознавать быстро возникающие опасные для авиации атмосферные явления, связанные с кучево-дождевыми облаками.

2. Небольшие (протяженностью 1-2 пикселя) очаги с возможными, но менее вероятными грозами, в ряде случаев отмечавшиеся на картах АКСОПРИ, по спутниковой информации чаще дешифрировались как кучево-дождевые облака с ливнем. Причиной не распознавания таких возможных локальных гроз может быть относительно более грубое пространственное разрешение спутниковой информации и, по-видимому, некоторая ограниченность принятой в настоящее время методики их автоматизированного дешифрирования.

3. Визуально наибольшее различие между пространственной структурой и расположением метеорологических явлений на сравниваемых картах отмечено в районах, занятых протяженной и сплошной перистой облачностью, типичной для теплого сектора циклонов, фронтов окклюзии, мезомасштабных облачных вихрей и конвективных комплексов. Однако и в этих ситуациях результаты автоматизированной дешифровки спутниковой информации принципиально не противоречили данным АКСОПРИ по районам расположения зон осадков и гроз, а также по оценке максимальной высоты верхней границы кучево-дождевой облачности.

4. Значения высот кучево-дождевых облаков, рассчитанные по спутниковой информации, удовлетворительно совпадали (в пределах принятых градаций) с их наибольшими значениями, представленными в этих же районах в виде локальных максимумов на соответствующих картах АКСОПРИ. Причем, локальные максимумы Нвго на картах АКСОПРИ во многих случаях не точно совпадали с положением наиболее интенсивных атмосферных явлений, а располагались вблизи них, что является следствием относительно большой продолжительности обзора разных высотных уровней атмосферы при радиолокационной съемке.

Количественная оценка расхождения между этими двумя видами информации в большинстве случаев не превышала 0.5 км. Наибольшее расхождение до 1-2.5 км (по МРЛ высоты оказывались меньше, чем по спутнику) наблюдалось только в тех случаях, когда кучево-дождевые облака регистрировались с помощью АКСОПРИ на удалении около 200 км.

5. Некоторые из выбранных карт АКСОПРИ были построены в условиях сверхрефракции зондирующего луча МРЛ в нижнем слое атмосферы. Несмотря на это карты оказались в основном

сопоставимы с результатами спутниковой метеорологической дешифровки. Исключение составили отдельные линейные структуры облаков и осадков, вытянутые по радиальному направлению от МРЛ, которые не находили подтверждения на спутниковых метеорологических картах.

Следует отметить, что учет выявленных особенностей соответствия между обзорными картами автоматизированной метеорологической дешифровки спутниковой информации и пространственно более детальными картами АКСОПРИ, позволяет более уверенно использовать обзорные карты в районах, где отсутствует информация МРЛ.

Таким образом, в работе рассмотрены специфические ограничения локальной радиолокационной и обзорной спутниковой метеорологической информации и проведен сравнительный анализ синхронных карт метеорологических явлений, связанных с облачностью, и высот кучево-дождевых облаков. Сравнимые карты построены в теплый период 2007 г. по результатам дешифровки информации с геостационарного спутника Meteosat-9 и МРЛ АКСОПРИ. Выявлены условия сопоставимости и расхождения метеорологической информации на соответствующих картах. Отмечена перспективность совместного использования обзорных и локальных метеорологических карт текущей погоды, выпускаемых соответственно по спутниковой и радиолокационной информации.

### Литература

1. Метеорологические автоматизированные радиолокационные сети / Отв. Ред. Г.Б. Брылев // СПб.: Гидрометеоиздат, 2002. 331 с.

2. *Алексеева А.А., Бухаров М.В., Лосев В.М., Соловьев В.И.* Диагноз осадков и гроз по измерениям уходящего теплового излучения облачности с геостационарных спутников // Метеорология и гидрология, 2006. № 8. С. 33-42.