

## **Сравнительный анализ работоспособности двух пороговых методик автоматического детектирования облачности и оценки параметров облачного покрова по данным радиометра SEVIRI с ИСЗ METEOSAT-9**

**Е.В. Волкова**

*ГУ «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета»  
123242, Москва, Большой Предтеченский пер., д.7.  
E-mail: quantocosa@bk.ru*

Проведено сопоставление работоспособности двух пороговых методик, предназначенных для детектирования параметров облачного покрова (облачной маски, типа облачности и высоты ВГО) по данным измерений многоканального радиометра SEVIRI ИСЗ METEOSAT-9: комплексной методики (разработанной автором) и методики EUMETSAT. Приводятся оценки сопоставления качества детектирования параметров облачного покрова, выполненные на материале архива синхронных спутниковых и наземных метеонаблюдений за облачностью для 2009-2010 гг.

**Ключевые слова:** SEVIRI METEOSAT, облачность, тип облачности, высота ВГО, EUMETSAT.

### **Введение**

Методика EUMETSAT была создана в конце 1990-х – начале 2000-х гг. в европейском центре EUMETSAT для детектирования облачности, её анализа, оценки высоты ВГО ( $h_{\text{ВГО}}$ ) и др. и в настоящее время успешно применяется для мониторинга облачного покрова в оперативном режиме (<http://www.eumetsat.int>).

Комплексная пороговая методика (КПМ) разработана автором в 2006-2009 гг. для детектирования облачности, оценок её параметров, распознавания зон осадков и опасных погодных явлений (Волкова, Успенский, 2010). Сопоставление спутниковых оценок с результатами аналогичных наземных наблюдений на метеостанциях и климатическими данными показало удовлетворительное качество работоспособности методики, а также возможность использования результатов спутниковых наблюдений в качестве альтернативной замены наземных метеонаблюдений.

Цель данной работы – сравнение и оценка работоспособности двух пороговых методик, разработанных для автоматического анализа информации, поступающей с геостационарного ИСЗ METEOSAT-9 (радиометр SEVIRI), выявление достоинств и недостатков каждой методики в сравнении с другой при детектировании облачного покрова, определении его типа и высоты ВГО.

### **Краткое описание методик и входных параметров**

В качестве предикторов КПМ использует измерения радиометра SEVIRI/METEOSAT-9 в 11 каналах и их разности. Пороговые значения предикторов рассчитываются для каждого пиксела спутникового изображения в зависимости от высоты солнца, календарного дня, приземной температуры воздуха, угла спутникового визирования, географической широты, высоты места над уровнем моря и др. В качестве дополнительной информации используют

ся карта рельефа и данные численного анализа (или прогноза) полей температуры воздуха на 9 стандартных барических уровнях и у поверхности земли, а также атмосферного давления на уровне моря (элемент разрешения  $2,5 \times 2,5^\circ$ ) за 00:00 и 12:00 ч МСВ, извлекаемые из базы данных Гидрометцентра РФ. Классификация параметров облачного покрова и др. в методике осуществляется поэтапно, при этом помимо спутниковой и дополнительной используется также информация об облачности и осадках, полученная на предыдущих этапах работы методики. Оценки получаются для каждого пиксела исходного спутникового изображения с интервалом 15 мин. Максимальные размеры региона, для которого выполняются спутниковые оценки, составляют  $\sim 69^\circ$  с.ш. –  $69^\circ$  ю.ш. и  $69^\circ$  з.д. –  $69^\circ$  в.д.

Методика EUMETSAT использует пороговые алгоритмы детектирования облачности и её параметров, заимствованные из методик APOLLO, SCANDIA и ISCCP cloud masking, разработанные для информации радиометра AVHRR/NOAA и приспособленные затем для радиометра SEVIRI/METEOSAT-9 (SAFNWC и EUMETSAT). В качестве предикторов используются данные только 10ти каналов (без канала 8) этого радиометра, а также их разности. Дополнительная информация – это данные прогноза (ECMWF global model) для 43 уровней атмосферного давления, температуры и влажности воздуха и температура подстилающей поверхности (разрешение  $1 \times 1^\circ$ ) и результаты расчётов радиационной температуры на верхней границе атмосферы с помощью радиационной модели (RTTOV radiative transfer model), а также карты рельефа, типа подстилающей поверхности (по данным International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP)) и отражательных свойств подстилающей поверхности (климатические значения скорректированные на текущие изменения по данным обработки спутниковых изображений за последние несколько дней, зенитный угол солнца и угол спутникового визирования) и др. Разные блоки методики используются отдельно для ночных, дневных и сумеречных условий, а также для суши, моря и прибрежных районов. Пороговые значения предикторных характеристик описываются линейными функциями, зависящими от типа подстилающей поверхности, высоты места над уровнем моря, освещенности (зенитный угол солнца), угла спутникового визирования и др. При отсутствии спутниковых данных в одном или более каналах радиометра SEVIRI могут использоваться данные MODIS, AVHRR и GOES (в т.ч. СВЧ-зондирование), а также результаты обработки предыдущих сроков наблюдения SEVIRI/METEOSAT-9. Детектирование облачной маски методикой проводится с интервалом 15 мин для каждого пиксела исходного спутникового изображения, а детектирование типа облачности (облачный анализ) и высоты ВГО (с точностью до десятков метров) – через 3 ч для каждого третьего пиксела изображения по широте и долготе. Максимальные размеры региона  $\sim 65^\circ$  с.ш. –  $65^\circ$  ю.ш. и  $65^\circ$  з.д. –  $65^\circ$  в.д.

Для оценки работоспособности обеих методик по детектированию облачной маски использовались данные наземных метеонаблюдений за количеством общей облачности за 12:00 и 00:00 ч МСВ.

## **Сопоставление работоспособности методик**

### *Детектирование облачности (облачная маска)*

КПМ формирует маску «ясно-облачно» над сушей, водной и снежно-ледовой поверхностями, в т.ч. для горных условий, при этом не требуется априорное задание маски «суша/вода» и дополнительных сведений о снежно-ледовом покрове. В светлое время суток класс

«безоблачно» дополнительно разделяется на 5 подклассов: «суша без снега», «вода», «снег/лед», «пыль» и «дым». Исследования показывают, что в целом, точность методики достаточно высока, она практически не зависит от времени суток и слабо – от синоптической ситуации и состояния подстилающей поверхности. Ошибок следует ожидать при высоком содержании в атмосфере водяного пара или температурной инверсии, в ночное или зимнее время, на границе суша/вода с большими амплитудами температур, над снежным покровом или в горных районах, при наличии тонкой перистообразной или высоко-слоистой облачности (на фоне подстилающей поверхности) и полей мелких кучевых и высоко-кучевых облаков (проблема частично заполненных облачностью пикселей), а также при больших углах спутникового визирования. На качество классификации влияют ошибки полей анализа/прогноза температуры воздуха и атмосферного давления, а также разница по времени между спутниковым наблюдением и дополнительной информацией (Волкова, Успенский, 2010).

Методика EUMETSAT применяет 34 последовательных теста для детектирования облачной маски в дневное, ночное время и в сумерки, а также над сушей, водой и вблизи береговой линии. В результате, выделяются следующие классы: «неклассифицировано», «ясно/тип подстилающей поверхности» (18 типов), «ясно/снег/лед», «ясно/солнечный блик», «облачно», «неопознано», а также «пыльная буря» (только над сушей) и «облака вулканического пепла». Дополнительно к каждому пикселу прилагается информация о достоверности классификации – чем тест важнее и чем больше тестов на наличие данного класса пройдено, тем достоверность больше. Главные источники ошибок методики – это некорректный учёт отражательных свойств подстилающей поверхности, а также неточности прогноза температуры, влажности и давления воздуха, в т.ч. более грубый пространственный и временной масштаб по сравнению со спутниковым разрешением. Наиболее часто ошибки возникают (из-за сложностей детектирования) при распознавании низкой относительно теплой облачности в ночное время, очень тонкой перистой облачности над перегретой поверхностью земли, облаков с размерами меньшими, чем элемент разрешения спутниковой информации, облаков над очень холодной и/или снежно-ледовой поверхностью и над неоднородной подстилающей поверхностью (в горах и в районах с сильно изрезанной береговой линией) (<http://www.eumetsat.int>).

Таким образом, обеим методикам присущи схожие источники ошибок и трудности, связанные с детектированием облачности определённого типа и в определённых условиях. При анализе результатов детектирования облачной маски по данным КПИМ хорошо заметен суточный и сезонный ход количества облачности, что хорошо согласуется с климатическими оценками (Седунов, 1991; Мазин, Хргиан, 1989). Так, в декабре количество облачности оказывается выше (на 1,5-4 % в зависимости от срока наблюдения), чем в мае, за счёт существенного зимнего увеличения облачного покрова в северном полушарии. Хорошо выраженный суточный максимум приходится на 11:45 ч МСВ. При анализе облачной маски, полученной с помощью методики EUMETSAT, также заметно увеличение количества облачности в декабре (в среднем, на 1 %) по сравнению с маем. Суточный минимум приходится на срок 23:45 ч МСВ, а максимум – на 5:45 ч МСВ.

В целом, количество облачности, детектируемое КПИМ, составляет 70 % в мае и 73 % в декабре, методикой EUMETSAT соответственно – 58 % и 60 %. Статистические среднегодовые оценки глобального облачного покрова равны 58 %. Однако исследования показывают, что чем больше площадь, для которой выполнены оценки количества облачности, и чем ниже разрешение элемента спутникового изображения, тем выше получаемые значения количества общей облачности (Седунов, 1991). Поэтому, несмотря на то, что оценки,

по методике EUMETSAT, оказываются ближе к среднестатистическим, выполненным с высоким пространственным разрешением, однако они существенно ниже, чем должны были ожидать с учётом существенного более грубого пространственного разрешения спутниковой информации.

Совпадение (правильное детектирование обеими методиками) для классов «безоблачно» и «облачно», если брать за «истину» КПМ, составляет соответственно 85 % и 77 %. «Ошибочно» классифицировано соответственно 15 % и 23 % пикселей. Если брать за «истину» методику EUMETSAT, совпадение для этих классов составляет соответственно 60 % и 93 %, несовпадение – 40 % и 7 %.

Визуальное сопоставление классифицированных спутниковых изображений с результатами наземных метеонаблюдений за количеством общей облачности показывает, что обе методики несколько завышают количество облачности ночью зимой в умеренных широтах над снежно-ледовым покровом, но методика EUMETSAT делает это сильнее. В ночное время КПМ несколько завышает количество облачности над Сахарой из-за причисления к водяным облакам пылевых, а методика EUMETSAT регулярно теряет большое количество тонкой перистообразной облачности на фоне подстилающей поверхности в тропиках в составе системы ВЗК.

#### *Классификация облачности по типам (облачный анализ)*

КПМ выделяет 13 классов облачности, в том числе 4 вида многослойной и 3 стадии развития мощных кучево-дождевых облаков (Волкова, Успенский, 2010). При создании классификации использовалась информация ВМО об основных типах облачности и их подвидах (Ясногородская, 1978). Согласно исследованиям по результатам классификации КПМ, наибольшая повторяемость отмечается у классов кучевообразной и многослойной фронтальной облачности (до 75 %). Наименьшая – у однослойных слоистообразных. Повторяемость разных классов облачности слабо зависит от времени суток и года.

Методика EUMETSAT выделяет 10 классов облачности: облачность нижнего яруса: «туман/слоистые (low/St)», «слоисто-кучевые (low/Sc)», «форма неизвестна (low/?)»; облачность среднего яруса: «слоисто-дождевые (med/Ns)», «высоко-слоистые (med/As)», «форма неизвестна (med/?)»; облачность верхнего яруса: «кучевые (high/Cu)», «перистые (high/Ci)», «форма неизвестна (high/?)» и «форма облачности неопределена». Повторяемость разных классов облачности почти не зависит от времени года и очень сильно – от времени суток. В дневное время более половины всей облачности составляют облака класса «low/St», в то время как в ночное время их доля падает до 15 % за счёт существенного увеличения «low/?», «med/Ns» и «high/Ci».

Принятая авторами методики EUMETSAT классификация облачности по типам не соответствует международным стандартам ВМО и не несет дополнительной полезной информации об облачном покрове. Корреляция с соответствующими классами облачности КПМ крайне низка. Так, классам облачности нижнего и среднего ярусов по данным методики EUMETSAT соответствуют прежде всего облака верхнего яруса по данным КПМ. Хотя классам облачности нижнего яруса методики EUMETSAT в ~20-45 % случаев может соответствовать облачность нижнего яруса по данным КПМ, а облакам среднего яруса методики EUMETSAT – до 25 % случаев облачность среднего яруса по КПМ.

Исходя из названия классов облачности методики EUMETSAT, им были поставлены в соответствие классы облачности КПМ (см. табл.1). На рис. 1 представлена их повторяемость.

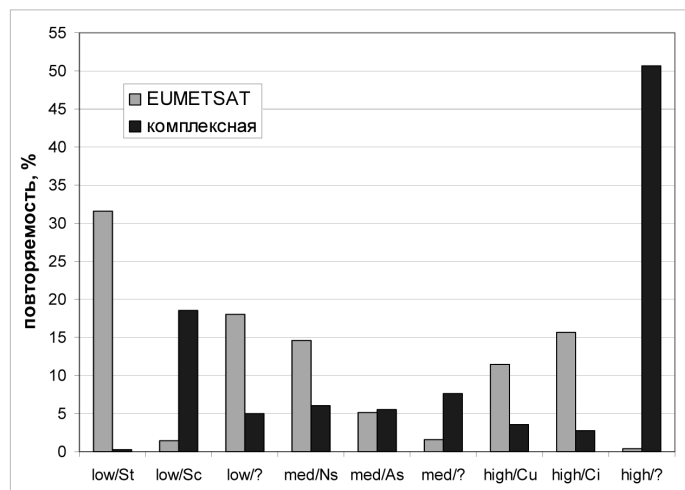


Рис. 1. Повторяемость (%) классов облачности комплексной и EUMETSAT методик

Таблица 1. Соответствие классов облачности КПМ классам методики EUMETSAT

| Методика EUMETSAT | Комплексная пороговая методика                                   |
|-------------------|--|
| «Low/St»          | Слоистые   |
| «Low/Sc»          | Кучевые, слоисто-кучевые   |
| «Low/?»           | Высоко-кучевые, мелкие кучевообразные                            |
| «Med/Ns»          | Слоисто-дождевые, кучево-дождевые                                |
| «Med/As»          | Высоко-слоистые  |
| «Med/?»           | Многослойные: высокослоистые над слоисто/кучево-дождевыми        |
| «High/Cu»         | Все стадии мощных кучево-дождевых, в т.ч. с перистыми            |
| «High/Ci»         | Перистые   |
| «High/?»          | Многослойная: перистые над облаками нижнего и/или среднего яруса |

В целом, методика EUMETSAT не теряет ни одного «опасного» с точки зрения КПМ облака. Потери не крупных кучево-дождевых облаков не превышают 1 %. Однако она «не видит» (особенно в дневное время) до 25 % тонкой перистой и высоко-слоистой облачности в тропическом регионе (в составе облачной системы ВЗК) – это почти 75 % всех «потерянных» этой методикой облаков. В целом, чем выше «ярусность» облачности, тем больше её доля в общих потерях. В светлое время суток заметно возрастает доля высоко расположенных облаков в общих потерях, а в ночное – облаков нижнего яруса. Влияние времени года на структуру потерь выражено слабо.

КПМ тоже «теряет» облачность по сравнению с методикой EUMETSAT. Значительная доля потерь (85-95 %) приходится на облачность нижнего яруса. Структура потерь слабо зависит от времени года, но сильно – от времени суток.

### Определение высоты ВГО

Вычисляемые КПМ (Волкова, Успенский, 2010) средние, минимальные и максимальные для разных классов облачности значения hВГО хорошо согласуются с климатическими оценками (Седунов, 1991; Мазин, Хргиан, 1989). Сезонные колебания составляют 100-250 м, суточные – до 500 м: у перистообразных в дневное время значения hВГО оказываются ниже, чем в ночное, а у мощной кучевообразной, наоборот, в ночное.

Минимальные и максимальные значения hВГО по данным методики EUMETSAT для всех классов облачности одинаковы: соответственно 320 и 16000 м. Средние значения hВГО для облаков среднего ярусов (см. рис. 2) оказываются существенно выше климатических



оценок. Значения  $h_{ВГО}$  перистых облаков на границе облачных полей оказывается заметно выше, чем посреди облачного массива, хотя в реальных условиях наблюдается её некоторое опускание (Седунов, 1991; Мазин, Хргиан, 1989). Сезонные и суточные колебания средних значений  $h_{ВГО}$  не выражены.

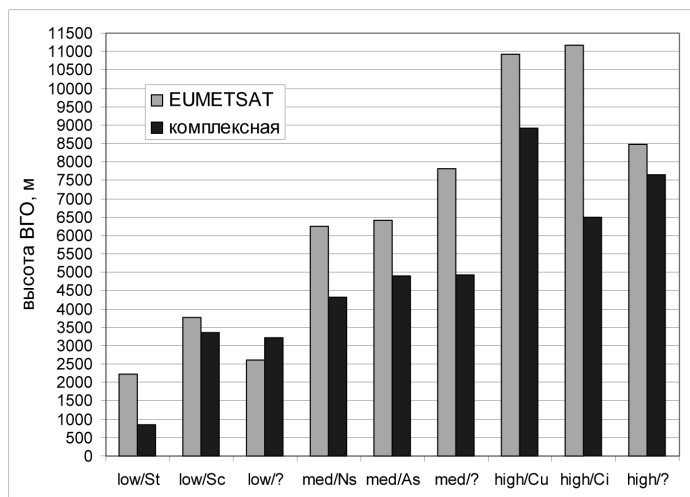


Рис. 2. Средняя высота ВГО (м) над уровнем моря для разных классов облачности комплексной и EUMETSAT методик

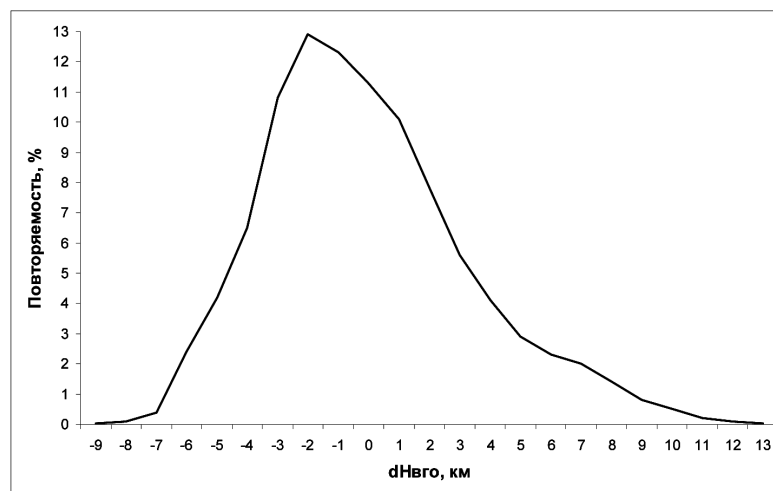


Рис. 3. Повторяемость (%) значений  $dh_{ВГО} = h_{ВГО}(EUMETSAT) - h_{ВГО}(КПМ)$

В целом, значения  $h_{ВГО}$  для классов облачности КПМ находятся в лучшем соответствии со значениями  $h_{ВГО}$ , вытекающими из названия этого класса (по данным ВМО), и заметно ниже (кроме класса «low/?») значений  $h_{ВГО}$ , посчитанных по методике EUMETSAT для соответствующих классов облачности (см. рис. 2). Однако максимальные значения  $h_{ВГО}$  для классов «high/Cu» и «high/?» по данным КПМ оказываются выше, чем по данным методики EUMETSAT. В подавляющем большинстве случаев  $|dh_{ВГО} = h_{ВГО}(EUMETSAT) - h_{ВГО}(КПМ)| \leq 2,5$  км (см. рис. 3): на диапазон значений  $|dh_{ВГО}| \leq 2,5$  км приходится почти 55 % всех случаев, а на диапазон  $|dh_{ВГО}| \leq 3,5$  км – чуть более 70 %. При этом КПМ, в целом, несколько завышает высоту ВГО по сравнению с методикой EUMETSAT. Хотя рис. 2 показывает обратное. Это объясняется тем, что разные облачные пиксели обеими

методиками причисляются к разным облачным классам. При этом не совпадает и количество пикселей, причисленных к каждому классу облачности разными методиками. В целом, чем оптически плотнее облачность (мощные кучевообразные), тем ближе значения высоты ВГО, полученные для нее по оценкам разных методик. И чем она оптически менее плотная (вся или верхний слой), тем больше разброс значений dhВГО.

### Заключение

Проведено сравнение двух пороговых методик, детектирующих облачность и определяющих её параметры (тип и высоту ВГО) в автоматическом режиме по информации радиометра SEVIRI геостационарного МИСЗ МЕТЕОСАТ-9.

В целом, КПМ практически не уступает по качеству работы более старой и известной методике EUMETSAT. Она использует меньше априорной и дополнительной информации, а размер территории, для которой проводится классификация на 3,5 % больше. Однако из-за недостатков дополнительной информации (неточности численного прогноза вертикального распределения температуры воздуха в атмосфере, особенно над Африкой) КПМ на данный момент времени более пригодна для климатических исследований (используются данные численного анализа вместо прогноза), а методика EUMETSAT – для оперативного мониторинга облачного покрова.

### Литература

1. Волкова Е.В., Успенский А.Б. Оценки параметров облачного покрова по данным геостационарного МИСЗ МЕТЕОСАТ-9 круглосуточно в автоматическом режиме // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2010. Т. 7. № 3. С. 16-22.
2. Атлас облаков / Под ред. М.М.Ясногородской Л.: Гидрометиздат, 1978. 268 с.
3. Атмосфера. Справочник / Под ред. Ю.С.Седунова и др. Л.: Гидрометиздат, 1991. 510 с.
4. Облака и облачная атмосфера. Справочник / Под ред. И.П.Мазина и А.Х.Хргиана Л.: Гидрометиздат, 1989. 647 с.

## Comparison of two threshold methods for cloud cover parameters estimation using SEVIRI/METEOSAT-9 data

E.V. Volkova

*State Research Centre of Space Hydrometeorology “Planeta”  
123242, Moscow, B. Predtechensky per., 7  
E-mail: quantocosa@bk.ru*

Two automatic pixel-by-pixel threshold methods (EUMETSAT and advanced classification “Planeta”) using SEVIRI/METEOSAT-9 data and providing the estimation of cloud parameters (cloud mask, cloud analysis, cloud top height) are compared. The comparison estimations for each derived cloud parameter carried out on the archive of synchronous satellite and ground-based meteorological data for 2009-2010 are discussed.

**Keywords:** SEVIRI instrument, METEOSAT-9, cloud mask, cloud analysis, cloud top height.