

Использование комплексной пороговой методики для климатических исследований параметров облачного покрова, осадков и опасных явлений погоды по данным SEVIRI/METEOSAT-9

Е.В. Волкова

*ФГБУ «НИЦ «Планета»
123242, Москва, Большой Предтеченский пер., д.7.
E-mail: quantocosa@bk.ru*

Рассмотрена возможность применения комплексной пороговой методики для климатических исследований параметров облачного покрова (количество, водность, водозапас), интенсивности осадков и опасных явлений погоды (гроза, град) по данным измерений радиометра SEVIRI ИСЗ METEOSAT-9 путём создания архива классифицированных спутниковых данных (длинных рядов наблюдений).

Ключевые слова: облачность, осадки, водность облака, гроза, град, климатология облачного покрова, SEVIRI METEOSAT-9.

Введение

В настоящее время спутниковые наблюдения за облачностью, осадками и опасными явлениями погоды (ОЯП) находят всё большее применение не только для анализа и прогноза погоды, но и в климатических исследованиях. В разных странах созданы и успешно эксплуатируются различные системы обработки и классификации спутниковых многоспектральных изображений (например, методики EUMETSAT, SCANDIA и др.), на базе работы которых создаются архивы спутниковых наблюдений за облачностью (Чернокульский и др., 2009).

В данной работе рассмотрены возможности использования для климатических исследований созданной автором комплексной пороговой методики (КПМ) попиксельной автоматической классификации данных измерений радиометра SEVIRI с геостационарного ИСЗ METEOSAT-9.

Краткое описание методики и входных данных

Настройка и испытание методики проводились на материале архива синхронных спутниковых (SEVIRI/METEOSAT-9) и наземных метеорологических наблюдений (БД АСООИ ГМЦ РФ) за 2006–2010 гг. В качестве предикторов КПМ использует измерения радиометра SEVIRI/METEOSAT-9 в 11 каналах, а также их разности. Их динамические пороговые значения рассчитываются для каждого пиксела спутникового изображения как линейные и нелинейные функции разных параметров. Дополнительно используются данные численного анализа полей температуры воздуха на 11 стандартных барических уровнях, а также атмосферного давления на уровне моря, приземной температуры воздуха и температуры воздуха, приведённой к уровню моря, за сроки 00 и 12 ч МСВ (заданные на сетке 2.5x2.5°), извлекаемые из БД Гидрометцентра РФ, а также цифровая карта рельефа (GTOPO30). Подробнее см. в работе (Волкова и др., 2010).

КПМ в круглосуточном режиме детектирует облачность и оценивает параметры облачного покрова (облачная маска, тип, фазовое состояние воды в слое вблизи верхней границы облачности (ВГО), температура воздуха на уровне ВГО, высота ВГО и нижней границы облачности (НГО), максимальная и суммарная водность облачного слоя), выделяет зоны осадков и определяет их интенсивность и тип у поверхности земли, а также детектирует зоны ОЯП (гроза, град и обледенение в облаках) разной интенсивности.

Исследования показывают, что КПМ вполне удовлетворительно работает для всей территории обзора METEOSAT-9 ($\sim 69^\circ$ с.ш.– 69° ю.ш. и 69° з.д.– 69° в.д.) в течение всего года независимо от состояния подстилающей поверхности (вода, суша, снег/лёд, горы) при любой высоте солнца и угле спутникового визирования не более 7.7° (Волкова и др., 2010). Точность детектирования каждого класса объектов в КПМ в зависимости от количества классов/градаций параметра и др. условий составляет не менее 75–90 %, а с точностью ± 1 класс/градация — не менее 90–98 % (для сроков спутникового наблюдения $12:00 \pm 1$ ч и $00:00 \pm 1$ ч МСВ). Грубых ошибок выявлено не было. Однако в тёмное время суток возможно некоторое завышение значений водности и водозапаса облачного слоя, а также связанных с ними интенсивности осадков, размеров зон и интенсивности гроз и града. В целом, точность КПМ несколько падает в холодный период года (особенно при наличии температурных инверсий) и в тёмное время суток, при больших углах спутникового визирования, в горных регионах и на границе «суша/вода» с большой амплитудой температур, а также при удалении срока спутникового наблюдения от срока, для которого получена дополнительная информация. Качество оценок также сильно зависит от точности и разрешения (пространственного и временного) дополнительной информации.

Получаемые КПМ оценки параметров облачного покрова являются площадными, т.е. средними для всего пиксела, в пределах которого могут встречаться участки облачности как с более высокими, так и с более низкими значениями анализируемого параметра. Поэтому сопоставления спутниковых и наземных оценок одного и того же параметра могут несколько различаться. При исследованиях с помощью КПМ мезомасштабных процессов, особенно при больших углах спутникового визирования, из-за «осреднения» значений предикторных характеристик по окрестностям некрупных облаков, может наблюдаться занижение (обычно на 1–2 градации) значений водности и водозапаса облака, интенсивности осадков, грозы и града.

Использование методики для климатических исследований

Высокая периодичность получения информации об облачном покрове, осадках и ОЯП по данным наблюдений с геостационарного МИСЗ и приуроченность её к заданным временным интервалам позволяет использовать её для глобального и субглобального мониторинга облачного покрова и его параметров: оценивать состояние поля облачности в разные сезоны, разное время суток, над разными типами подстилающей поверхности и в разных регионах, отслеживать его динамику и изменчивость в зависимости от разных факторов, рассчитывать размеры климатических эффектов (с помощью моделей климата), связанных с его вариациями.

В данной работе на основе сформированного автором архива наблюдений радиометра SEVIRI/METEOSAT-9 за 2006–2010 гг. предпринята попытка показать возможности использования этого вида информации для климатических исследований изменчивости значений количества облачного покрова, максимальной и суммарной (водозапас) водности облачного слоя, интенсивности осадков, вероятности и интенсивности грозы и града. В ходе исследований полученные с помощью КПМ оценки этих параметров суммировались как для всего архива спутниковых наблюдений, так и для отдельных его периодов: «май–сентябрь», «ноябрь–март», «день» (12 ч ГВ ± 1 ч) и «ночь» (0 ч ГВ ± 1 ч). Исследования межгодовой изменчивости этих параметров на примере данного архива невозможны из-за неравномерности используемых для расчётов выборок для каждого года: неодинаковые размеры выборок, есть перекосы в сторону ночных или дневных сроков, а также летних или зимних наблюдений. Однако при использовании более равномерно построенных рядов (архивов) спутниковых наблюдений за облачностью и её параметрами такие оценки возможны. Для

2х параметров (количество облачного покрова и вероятность покрытия небосвода облачностью) расчёты были выполнены также отдельно для северного, южного, восточного и западного полушарий (в пределах зоны обзора МИСЗ МЕТЕОСАТ-9), в том числе «май–сентябрь/день», «май–сентябрь/ночь», «ноябрь–март/день» и «ноябрь–март/ночь», а также отдельно для территории суши и моря.

Облачный покров

КПМ детектирует облачную маску. Полученные результаты можно использовать для оценок вероятности покрытия территории облачностью и для оценок среднего количества облачности. В первом случае для каждого пиксела спутниковой информации (матрица размером 3600х3600 пиксела) за некоторый период времени суммируется количество случаев с облачностью и вычисляется среднее за этот период значение вероятности (%) покрытия этого пиксела облачностью. Исследования показывают, что, в целом, для территории обзора МИСЗ МЕТЕОСАТ-9 нет абсолютно безоблачных пикселов. При этом самым практически безоблачным районом является восточная область пустыни Сахара (вероятность наличия облачности (ВНО) составляет менее 10 %), на втором месте — пустыня Намиб в южной Африке — значения ВНО не более 20 %. Наибольшие значения ВНО (более 90 %) отмечаются в приполярных областях (особенно в Южном полушарии) и в зоне пояса облачности внутритропической зоны конвергенции (ВЗК). В ночное время значения ВНО заметно уменьшаются, особенно над сушей, по сравнению с дневными условиями. Зимой над пустынями значения ВНО также значительно ниже, чем летом, а в высоких широтах, наоборот, выше. Пояс облачности ВЗК в течение года смещается в «летнее» полушарие.

Во втором случае для заданных фрагментов спутникового изображения (размером 4х4 пиксела) рассчитывается количество общей облачности (КОО), а затем эти значения суммируются и осредняются для разных периодов времени и территорий. Хотя в пределах территории обзора МИСЗ МЕТЕОСАТ-9 нет абсолютно безоблачных пикселов, однако есть районы в пустыне Сахара, для которых степень покрытия небосвода облачностью можно считать нулевой (КОО=0 %). В целом, из-за процедуры пространственного осреднения значения КОО оказываются ниже значений ВНО для соответствующих территорий и периодов времени, хотя временные и пространственные тенденции изменчивости сохраняются. В табл. 1 представлены значения ВНО и КОО, осреднённые для разных территорий и разных временных интервалов.

Таблица 1. Значения ВНО (%) и КОО (%) для разных периодов и территорий осреднения

Выборка	ВНО							КОО						
	Σ	с.п.	ю.п.	з.п.	в.п.	суша	океан	Σ	с.п.	ю.п.	з.п.	в.п.	суша	океан
Вся	72,1	67,1	77,0	78,6	65,6	60,0	79,6	59,0	63,5	58,7	67,2	58,4	50,2	64,4
День	74,4	70,0	78,8	79,7	69,0	65,5	79,9	61,3	68,2	60,8	66,8	60,9	56,9	64,1
Ночь	69,0	63,4	74,7	77,0	61,0	52,7	79,2	55,9	57,3	55,8	67,6	55,0	41,4	64,9
05-09	71,4	70,7	72,0	78,5	64,2	59,3	78,8	57,7	60,0	57,6	61,0	57,5	49,6	62,8
11-03	71,9	61,0	82,8	77,6	66,2	59,2	79,8	59,3	68,2	58,7	74,8	58,2	49,5	65,5
05-09/ день	73,8	73,6	73,9	79,6	67,9	65,3	79,1	60,2	65,2	59,8	60,2	60,2	56,5	62,5
05-09/ ночь	67,6	66,1	69,0	76,8	58,3	50,0	78,5	53,9	51,9	54,1	62,2	53,3	38,8	63,3
11-03/ день	73,9	62,9	84,9	78,9	69,0	63,5	80,5	61,5	73,3	60,7	76,2	60,4	55,3	65,4
11-03/ ночь	69,0	63,6	74,4	77,0	60,9	52,7	79,1	55,8	57,0	55,7	67,5	54,9	41,4	64,8

Анализ табл. 1 показывает, что среднее значение ВНО для всей территории обзора METEOSAT-9 превышает 70 %, однако среднее значение КОО оказывается чуть меньше 60 %. Значения ВНО для южного полушария оказываются выше, чем для северного, однако значения КОО, наоборот, ниже. Восточное полушарие менее «облачное», чем западное, из-за большей доли суши, над которой количество облачности в любой сезон и время суток оказывается существенно ниже, чем над океанами. Сезонные изменения количества облачности сильнее выражены для северного и южного полушарий, чем для восточного и западного. Однако суточный ход (различия между днём и ночью) значений КОО и ВНО чётко выражен для всех четырёх полушарий. В целом, над сушей суточный ход облачности выражен заметно сильнее, чем сезонный, а над океанами одинаково слабо и суточный и сезонный. Всё это находится в хорошем соответствии с климатическими оценками (Седунов и др., 1991; Мазин и др., 1989).

В работе (Чернокульский и др., 2009) проведено сопоставление оценок КОО, рассчитанных на материале различных архивов облачности, в т.ч. по наземным данным и моделям. Наиболее близким к архиву, используемому КППМ, является архив ISCCP, составленный на базе наблюдений за облачностью с геостационарных МИСЗ серии METEOSAT и полярно-орбитальных МИСЗ серии NOAA. Выполненные по разным архивам оценки средних значений КОО для разных регионов приведены в табл. 2.

Таблица 2. Оценки КОО (%), выполненные по разным архивам (Чернокульский и др., 2009) и КППМ

Выборка	Архивы данных				
	ISCCP	др. архивы МИСЗ	наземные	модели	КППМ
Глобальн.	66	56-75	65	51-64	59
С.п.	64	53-74	62	52-62	64
Ю.п.	69	60-76	68	50-66	59
Суша глоб.	57	41-69	55	43-55	50
Океан глоб.	70	60-77	66-68	55-68	64
Суша с.п.	58	46-70	55	44-54	48
Суша ю.п.	54	44-68	53-57	41-54	55
Океан с.п.	68	58-75	64-66	57-67	64
Океан ю.п.	72	62-77	68-69	55-68	65

Анализ табл. 2 показывает, что значения КОО, полученные по данным КППМ, оказываются несколько ниже, чем по наземным данным и по архиву ISCCP (это может объясняться также тем, что данные, используемые в КППМ, не являются глобальными, а только для территории обзора METEOSAT-9), однако хорошо укладываются в диапазон значений КОО, полученный по другим архивам МИСЗ, и оказывается выше оценок КОО по модельным расчётам.

На рис. 1 представлен годовой, а на рис. 2 — зональный ход значений КОО для всего архива и отдельно для суши, океана, дня, ночи и 4х полушарий. Анализ рис. 1 показывает, что значения КОО имеют хорошо выраженный минимум, приходящийся на июнь-июль (на 10 % ниже максимума). Над океаном в течение всего года средние значения КОО оказываются на 10–15 % выше, чем над сушей, а днём — на 5 % выше, чем ночью. Средние значения КОО для западного и восточного полушарий имеют похожий годовой ход, однако западное полушарие, в целом, на 5–10 % более «облачное», чем восточное. Годовой ход средних значений КОО для Северного и Южного полушарий различен: минимум значений КОО для Южного полушария приходится на июнь–июль, максимум — на декабрь–апрель, а у Северного, наоборот, минимум — на декабрь–март, максимум — на август–сентябрь.

Зонально-осреднённый ход значений КОО (см. рис. 2) для разных выборок архива практически совпадает. Хорошо выражены 3 максимума (около экватора и полюсов) и 2 мини-

му (около 30°). Разница между максимальными и минимальными значениями составляет ~ 40–50 %. Для географических регионов с высоким влагосодержанием атмосферы разница между ночными и дневными значениями КОО оказываются выше (в среднем, на 5 %), чем для «сухих» районов (почти не меняется). Над океанами значения КОО всегда выше (на 5–10 %), чем для суши, особенно для «сухих» тропиков (более чем на 15 %). Всё это хорошо согласуется с другими климатическими исследованиями (Седунов и др., 1991; Мазин и др., 1989) и архивами (Чернокульский и др., 2009).

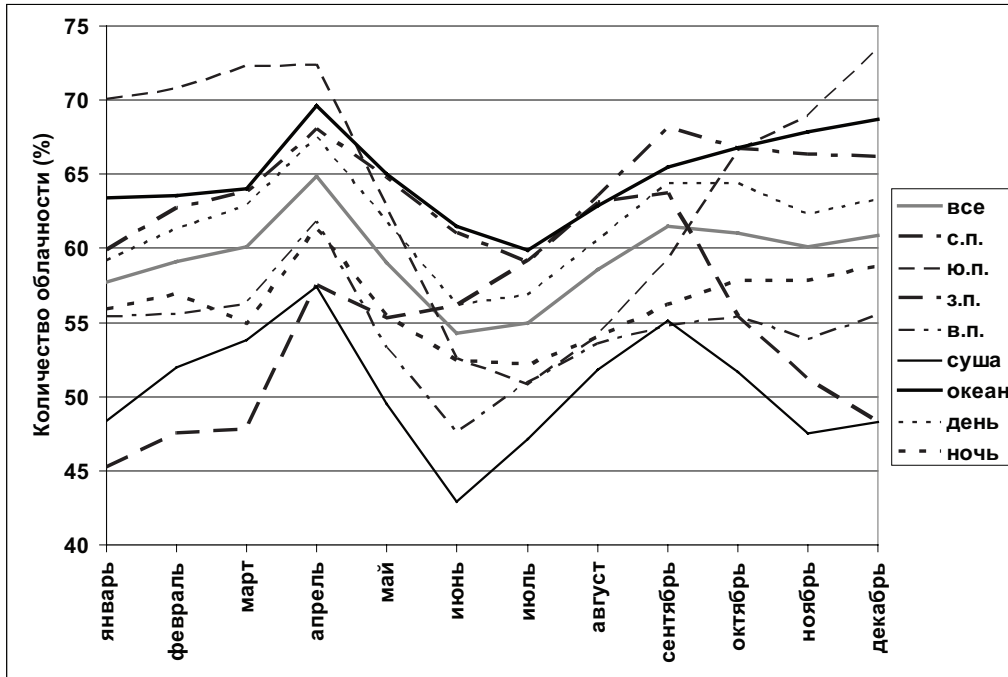


Рис. 1. Годовой ход количества общей облачности

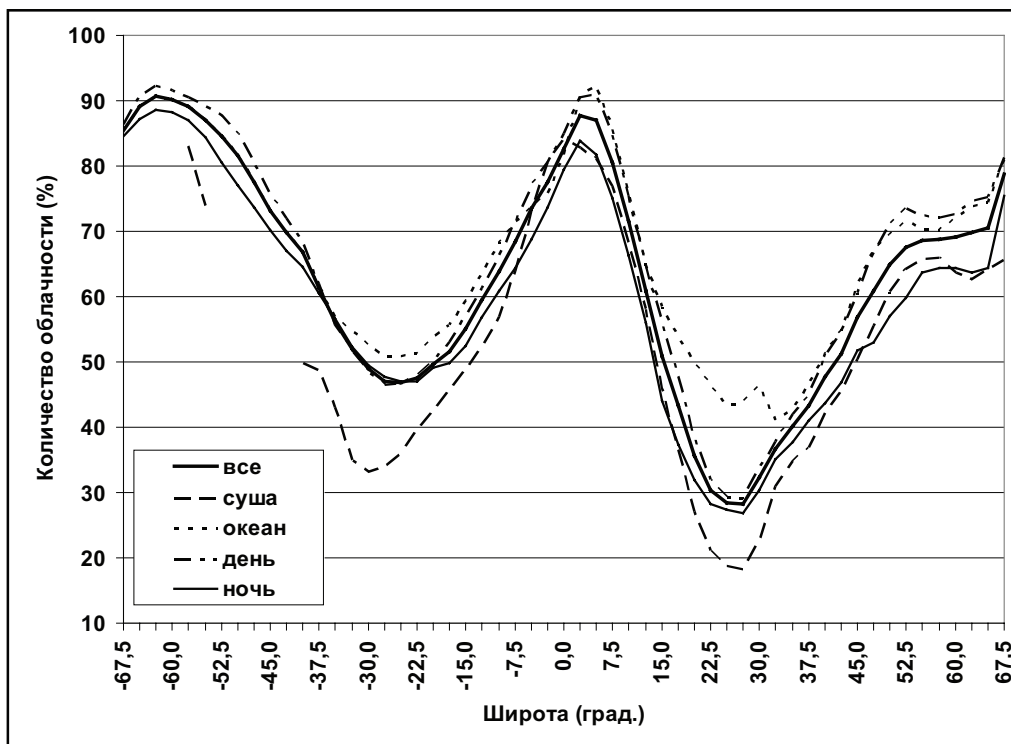


Рис. 2. Зонально-осреднённый ход количества общей облачности

Значения максимальной и суммарной (водозапас) водности облачного слоя рассчитывались для каждого пиксела спутникового изображения SEVIRI/METEOSAT-9 как средние для всех случаев с наличием облачности в этом пикселе; а значения интенсивности осадков, гроз и града – как средние для всех случаев в этом пикселе с наличием данного явления, т.е. наиболее ожидаемые интенсивности этих явлений. Исследования показывают, что КПМ несколько завышает значения водности и водозапаса в ночное время из-за невозможности использования альбедных предикторов. Наибольшие средние значения водности (до 1 и более г/м³) наблюдаются в тропическом регионе (зона облачности ВЗК), а также в высоких широтах летом. В целом, в зимнее время соответствующего полушария влагосодержание облаков несколько ниже, чем в летнее.

Максимум водозапаса (до 10 и более кг/м²) тоже связан с зоной облачности ВЗК, т.к. в этом регионе облака имеют большую не только водность, но и вертикальную мощность. В высоких широтах, несмотря на достаточно высокие значения средней водности облачного слоя (особенно летом), значения водозапаса, в целом, ниже, чем в тропиках, – не более 5 кг/м². В тёплый период года водозапас облаков увеличивается по сравнению с холодным за счёт увеличения водности облаков и их вертикальной мощности.

Максимум интенсивности осадков тоже связан с зоной ВЗК (наиболее ожидаемая интенсивность осадков в случае их выпадения составляет 10–20 мм/ч). Средняя ожидаемая интенсивность осадков вблизи северного полюса несколько выше, чем вблизи южного полюса (из-за Антарктического максимума). Минимум средней интенсивности осадков (осадки преобладают в виде мороси) наблюдается в южной Атлантике и связан с Южно-Атлантическим максимумом и Бенгальским холодным течением. Из-за некоторого завышения водности облаков в ночное время интенсивность осадков в тёмное время суток тоже оказывается несколько выше, чем в светлое (особенно над сушей и на краях зоны обзора МИСЗ). В тёплое время года интенсивность осадков, в основном, оказывается выше, чем в холодное.

Пояс наибольшей вероятности и интенсивности гроз также связан с системой облачности ВЗК (наибольшая водность и вертикальная мощность облачного слоя, восходящие воздушные потоки и др.). Ещё один (более слабый) пояс гроз – это так называемые «ревущие сороковые» в Южном полушарии и умеренные широты в Северном. В умеренных широтах вероятность и интенсивность гроз оказываются заметно выше в летний период года, чем в зимний. В приполярных зонах, в отдельных районах северной Африки и южной Атлантики вероятность гроз практически равна нулю, особенно в зимнее и ночное время. В светлое время суток вероятность и интенсивность гроз несколько выше, чем в ночное время. Сильные грозы наиболее характерны для тропического региона, в умеренных широтах наиболее вероятны грозы умеренной и слабой интенсивности.

Ситуация «град в облаках» может наблюдаться практически в любой точке земного шара, кроме высоких широт Южного полушария и южной Атлантики. Вероятность выпадения и интенсивность града заметно усиливается в дневное время суток и в тёплый период года. Наиболее вероятно (более чем в 95 % случаев) выпадение града слабой и умеренной интенсивности.

В целом, пространственный и временной ход средних значений водности, водозапаса, интенсивности осадков и ОЯП, полученные с помощью КПМ по данным наблюдений SEVIRI/METEOSAT-9, находятся в хорошем согласии с климатическими исследованиями, выполненными по данным соответствующих наземных метеонаблюдений (Седунов и др., 1991; Мазин и др., 1989).

Заключение

Оценки параметров облачного покрова (количество, водность и водозапас облачности, интенсивность осадков и ОЯП), выполненные с помощью КПМ по результатам спутниковых наблюдений (SEVIRI/METEOSAT-9), вполне пригодны для климатических исследований временно́й и пространственной динамики их значений в субглобальном масштабе (особенно в светлое время суток). Однако в ночное время высока вероятность некоторого завышения значений водности, водозапаса и интенсивности осадков.

Литература

1. Волкова Е.В., Успенский А.Б. Оценки параметров облачного покрова по данным геостационарного МИСЗ METEOSAT-9 круглосуточно в автоматическом режиме // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 3. С. 16-22.
2. Мазин И.П., Хргиан А.Х. Облака и облачная атмосфера. Справочник. Л.: Гидрометиздат, 1989. 647 с.
3. Седунов Ю.С. и др. Атмосфера. Справочник. Л.: Гидрометиздат, 1991. 510 с.
4. Чернокульский А.В., Мохов И.И. Сравнение современных глобальных климатологий облачности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2009. Вып. 6. Т. 2. С. 235-243.

Utilization of a complex threshold method's estimation of cloud cover parameters obtained by SEVIRI/METEOSAT-9 for climatic observations

E.V. Volkova

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

A possibility of utilizing estimations of cloud cover parameters, including water contents, precipitation, thunderstorm and hail, provided by a complex threshold method on base of SEVIRI/METEOSAT-9 data set archived for the region 69°N - 69°S, 69°W - 69°E in 2006-2010 is discussed.

Keywords: SEVIRI instrument, METEOSAT-9, cloud mask, precipitation, thunderstorm, hail, cloud water contents, climatic research.