

The Special Software Package for Retrieving Satellite Estimates of Cloud and Precipitation Properties Utilizing SEVIRI/Meteosat (0° E) Data for the European Territory of Russia and Europe

Elena V. Volkova, Alexander V. Kukharsky

State Research Centre of Space Hydrometeorology “Planeta”, Moscow, Russia

quantocosa@bk.ru, kukharsky@planet.iitp.ru

Abstract

The Special Software Package (SSP) “SEVIRI-Europe” is introduced. It automatically pixel-by-pixel classifies SEVIRI/Meteosat data to retrieve cloud, precipitation and weather hazard properties for the European territory of Russia and Europe. Being set on a computer the SSP must have access to satellite data and forecast fields of pressure at sea level and air temperature at standard levels and at ground. The SCP products mostly satisfy the users’ requirements on quality and demonstrate good similarity to the EUMETSAT SAF cloud products exceeding the latter as they are produced day and night above any surface, detect more cloud and precipitation products and discriminate more classes/grades while using less supplementary information.

Keywords: SEVIRI, Meteosat, cloud mask, cloud types, cloud top height, precipitation, microphysical cloud properties

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ПОЛУЧЕНИЯ ОЦЕНОК ПАРАМЕТРОВ ОБЛАЧНОСТИ И ОСАДКОВ ПО ДАНЫМ РАДИОМЕТРА SEVIRI С ГЕОСТАЦИОНАРНОГО МЕТЕОСПУТНИКА METEOSAT (0° В.Д.) ДЛЯ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ И ЕВРОПЫ

Е.В. Волкова, А.В. Кухарский

Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета»
Москва, Россия

quantocosa@bk.ru, kukharsky@planet.iitp.ru

Специализированный Программный Комплекс (СПК) «SEVIRI-Europe» позволяет автоматически в круглосуточном режиме детектировать параметры облачного покрова, осадков и опасных явлений погоды (ОЯП) для Европейской территории России и Европы по данным SEVIRI/Meteosat (0° в.д.). Для работы СПК необходим постоянный доступ к базам данных, содержащих спутниковую и прогностическую информацию. Выходные продукты СПК по облачности, осадкам и ОЯП в основном удовлетворяют предъявляемым к ним пользователями требованиям и не уступают по качеству зарубежным (например, EUMETSAT SAF) аналогам, имея перед ними ряд преимуществ в виде круглосуточной работы для любого типа облачности и подстилающей поверхности, большего количества детектируемых параметров облачности, осадков и ОЯП и их классов/градаций, меньшего количества привлекаемой дополнительной информации.

Ключевые слова: SEVIRI, Meteosat, облачная маска, тип облачности, высота ВГО, осадки, микрофизика облака.

Введение

В настоящее время спутниковые оценки параметров облачного покрова, в том числе осадков и опасных явлений погоды (ОЯП), широко используются в качестве дополнения к наземным наблюдениям для прогноза погоды и при моделировании различных климатических процессов. Для разных видов сканирующих устройств, установленных на полярно-орбитальных и геостационарных метеоспутниках, разработано большое количество разнообразных методик, использующих различные подходы.

Прикладные центры EUMETSAT (Европейская Организация по эксплуатации метеорологических спутников (<http://www.eumetsat.int>)) SAF (Satellite Application Facility), например, SAF NWC (NoWCasting) и SAF CM (Climate Monitoring), обеспечивают производство спутниковых продуктов по облачности и осадкам регионального и глобального покрытия для нужд прогноза погоды и климатических исследований. Среди них: облачная маска, температура и высота верхней границы облачности (ВГО), фазовое состояние воды вблизи ВГО, оптическая толщина облака, эффективный радиус облачных частиц, тип облачности, вероятность выпадения осадков и интенсивность осадков из кучевообразной облачности. В качестве дополнительной информации для этого используются поля вертикального распределения температуры и влажности воздуха, температуры подстилающей поверхности, атмосферного давления на уровне моря, расчёты радиационных моделей, карты рельефа, типа и отражательных свойств подстилающей поверхности, зенитный угол солнца, угол спутникового визирования и др.

Расчёты проводятся отдельно для ночных, дневных и сумеречных условий, а также для суши, моря и прибрежных районов. Пороговые значения предикторных характеристик описываются линейными функциями, зависящими от разных параметров [1]. Качество выходных продуктов SAF регулярно тестируется и, в основном, удовлетворяет требованиям, предъявляемым к ним пользователями [2].

В данной работе кратко описан созданный авторами в ФГБУ «НИЦ «Планета» Специализированный Программный Комплекс (СПК) «SEVIRI-Europe», позволяющий автоматически в оперативном режиме круглосуточно определять параметры облачного покрова, осадков и ОЯП для Европейской территории России (ЕТР) и Европы по данным радиометра SEVIRI с геостационарного метеоспутника Meteosat (0° в.д.). Приведены результаты валидации выходных продуктов СПК.

Описание СПК «SEVIRI-Europe»

СПК «SEVIRI-Europe» представляет собой комплекс программ, написанных на ФОРТРАН-90 под Windows, и обеспечивает в автоматическом режиме сбор необходимых для работы данных, предварительную их подготовку и классификацию параметров облачности осадков и ОЯП. В основе СПК лежит созданная Волковой Е.В. Комплексная пороговая методика (КПМ) автоматической классификации спутниковых данных [3]. КПМ использует измерения SEVIRI/Meteosat (точка стояния 0° в.д.) в каналах 1, 2, 4-10, а также их разности: значения радиационной температуры используются круглосуточно на всех этапах классификации, а в светлое время суток при детектировании облачной маски дополнительно к ним – значения альбедо. Помимо спутниковых данных в КПМ используются прогностические поля (NCEP GFS, пространственное разрешение 0,5°, сроки 0, 6, 12 и 18 ч ВСВ, заблаговременность 0 и 6 ч) о вертикальном распределении температуры воздуха в атмосфере и атмосферном давлении на уровне моря, цифровая модель рельефа, а также параметры облачности и осадков, полученные на предыдущих этапах классификации (табл. 1, рис. 1). Пороговые значения предикторов рассчитываются для каждого пиксела спутникового изображения с помощью эмпирически подобранных функций.

Таблица 1. Выходные продукты СПК, их классы/градации и необходимые для классификации предикторные характеристики

Параметр	Классы/градации	Предикторы	Пороговые значения
Облачная маска	облачно, безоблачно	$(T_{39}-T_{108}), (T_{120}-T_{87}), T_{108}, A_{06}, (A_{08}-A_{06}), T_{a_{приз}}, h_{ref}$	$h_o, T_{a_{ур.м}}, T_{a_{600}}, T_{a_{500}}, T_{a_{400}}, viz, h_{ref}, T_{a_{max}}$
Температура ВГО	точные значения или градации (К, °С)	$(T_{120}-T_{87}), (T_{108}-T_{120}), (T_{39}-T_{108}), T_{108}, T_{120}, T_{a_{max}}, T_{a_{ур.м}}, datd$	
Высота ВГО	точные значения или градации (м, гПа)	$T_{ВГО}, p_{ур.м}, T_{a_{max}}, T_{a_{приз}}, \phi, h_{ref}$	
Фазовое состояние воды в облачных частицах на ВГО	кристаллические, водяные, смешанные: вода>лёд, вода<лёд	$(T_{120}-T_{87}), (T_{108}-T_{120}), T_{39}, h_{ВГО}, T_{ВГО}$	$data, h_o, \phi, T_{a_{ур.м}}$
Максимальная водность облачного слоя	0, 0-0,15, 0,15-0,3, 0,3-0,5, 0,5-1, 1-3, 3-10, >10 г/м ³	$(T_{108}-T_{120}), (T_{39}-T_{108}), T_{108}, (T_{73}-T_{62}), h_{ВГО}$	$T_{a_{600}}, T_{a_{500}}, T_{a_{450}}, T_{a_{400}}, T_{a_{300}}, T_{a_{250}}, \phi, T_{a_{ур.м}}, T_{a_{max}}, T_{a_{приз}}, h_{ref}, h_o, viz, datd$
Тип облачности	CiCs, CuSc, Cbinc, Cbcalv, NsCb, Cbcap, low+Ci, AcCu, As, low+As, med+Ci, St, Cs+As+Ns	$T_{108}, (T_{108}-T_{120}), T_{73}, (T_{73}-T_{62}), (T_{120}-T_{87}), (T_{87}-T_{97}), h_{ВГО}, W_{max}, faza$	$datd, h_{ref}, \phi, T_{a_{ур.м}}, T_{a_{700}}, T_{a_{600}}, T_{a_{500}}, T_{a_{400}}, T_{a_{300}}, h_o$

Высота нижней границы облачности	<1,5, 1,5-3, 3-5, >5 км	cltyp, T_{108} , $(T_{108}-T_{120})$, $(T_{73}-T_{62})$, $(T_{120}-T_{87})$, W_{max} , $h_{ВГО}$	φ , datd, h_{ref} , W_{max} , $h_{ВГО}$, Ta_{500} , $Ta_{ур.м}$
Толщина облачного слоя	<0,5, 0,5-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8, 8-9, 9-10, 10-11, 11-12, >12 км	$h_{НГО}$, $h_{ВГО}$, h_{ref}	
Водозапас	<0,5, 0,5-1, 1-2, 2-5, 5-10, 10-25, >25 кг/м ²	cltyp, W_{max} , $h_{НГО}$, dH	Ta_{max} , W_{max} , $(T_{108}-T_{120})$, datd
Максимальная мгновенная интенсивность осадков	0, <0,5, 0,5-3, 3-10, 10-20, 20-50, 50-100, >100 мм/ч	$(T_{108}-T_{120})$, $(T_{120}-T_{87})$, $(T_{73}-T_{62})$, T_{108} , $T_{ВГО}$, W_{max} , SW, faza, $Ta_{приз}$, $h_{ВГО}$, $h_{НГО}$	datd, h_o , h_{ref} , $Ta_{ур.м}$, Ta_{600} , Ta_{500} , Ta_{400} , Ta_{300}
Град	без града, град в облаках/слабый, умеренный, сильный град	cltyp, W_{max} , SW, $T_{ВГО}$, T_{108} , $(T_{73}-T_{62})$, faza, $h_{ВГО}$	h_{ref} , $Ta_{ур.м}$, datd, h_o , Ta_{400} , Ta_{300} , Ta_{250}
Гроза	без грозы, слабая, умеренная, сильная гроза	hail, cltyp, W_{max} , SW, $T_{ВГО}$, $h_{ВГО}$, $(T_{73}-T_{62})$, $(T_{87}-T_{97})$, T_{108}	h_o , h_{ref} , datd, $Ta_{ур.м}$, Ta_{300} , Ta_{250}
Тип осадков у поверхности земли	без осадков, слабый, умеренный и сильный снег, мокрый снег/снег+дождь, ледяной дождь, морось, слабый, умеренный и сильный дождь, ливень, снежная крупа, град	I_{max} , hail, W_{max} , Ta_{max} , $Ta_{приз}$, $T_{ВГО}$, $h_{ВГО}$, h_{ref} , T_{108} , $(T_{73}-T_{62})$, Ta_{925} , Ta_{900} , Ta_{850} , Ta_{775} , Ta_{700} , Ta_{600} , Ta_{500} , Ta_{450} , Ta_{400}	h_{ref} , φ , $Ta_{ур.м}$, I_{max} , hail, Ta_{775}
Оптическая плотность облачного слоя	<5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, >70	cltyp, W_{max} , I_{max} , hail, $h_{НГО}$, faza	constant
Оптическая толщина облачного слоя	<5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-75, 75-100, 100-150, 150-200, 200-250, 250-300, 300-400, >400	COD, dH, $(T_{108}-T_{120})$, $Ta_{ур.м}$	
Эффективный радиус облачных частиц	<5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35, >35 мкм	cltyp, I_{max} , faza, COD	constant
Обледенение	без обледенения, слабое, умеренное, сильное	W_{max} , I_{max} , $h_{НГО}$, prtyp, $p_{ур.м}$, $Ta_{ур.м}$, $T_{ВГО}$, $Ta_{приз}$, h_{ref} , φ	$ph_{ВГО}$
Высота верхней и нижней границ обледенения каждой интенсивности	<1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8, >8 км	$ph_{ВГО}$, $h_{НГО}$, $p_{ур.м}$, $Ta_{ур.м}$, h_{ref} , φ	constant
Суточные суммы осадков	точные значения или градации (мм)	I_{max} , datd	

Примечание: h_{ref} – высота места над уровнем моря, φ – географическая широта, h_o – высота солнца, viz – угол спутникового визирования, datd – параметр, зависящий от номера календарного дня, $p_{ур.м}$ – давление на уровне моря, $Ta_{ур.м}$ – температура воздуха на уровне моря, $Ta_{приз}$ – приземная температура воздуха, Ta_{max} – температура воздуха, максимальная в атмосферном столбе, $Ta_{пнп}$ – температура воздуха на барическом уровне пнп гПа, A_{06} и A_{08} – альbedo $\lambda=0,6$ и $0,8$ мкм (каналы 1 и 2), T_{39} , T_{62} , T_{73} , T_{87} , T_{97} , T_{108} , T_{120} – радиационная температура $\lambda=3,9$, $6,2$, $7,3$, $8,7$, $9,7$, $10,8$ и $12,0$ мкм (каналы 4-10).

Выделение разных классов/градаций в КПМ осуществляется по нарастающей (от отсутствия явления к его максимальному значению) косвенно в зависимости от «внешнего вида» облака в разных спектральных каналах, кроме высоты ВГО, водозапаса, толщины облачного слоя и суточных сумм осадков, которые рассчитываются с помощью эмпирически полученных формул. При этом выбор размеров градаций и количества классов обусловлен возможностью их распознавания с помощью имеющихся предикторных характеристик, а также дальнейшим использованием в КПМ при классификации других параметров облачности и осадков.

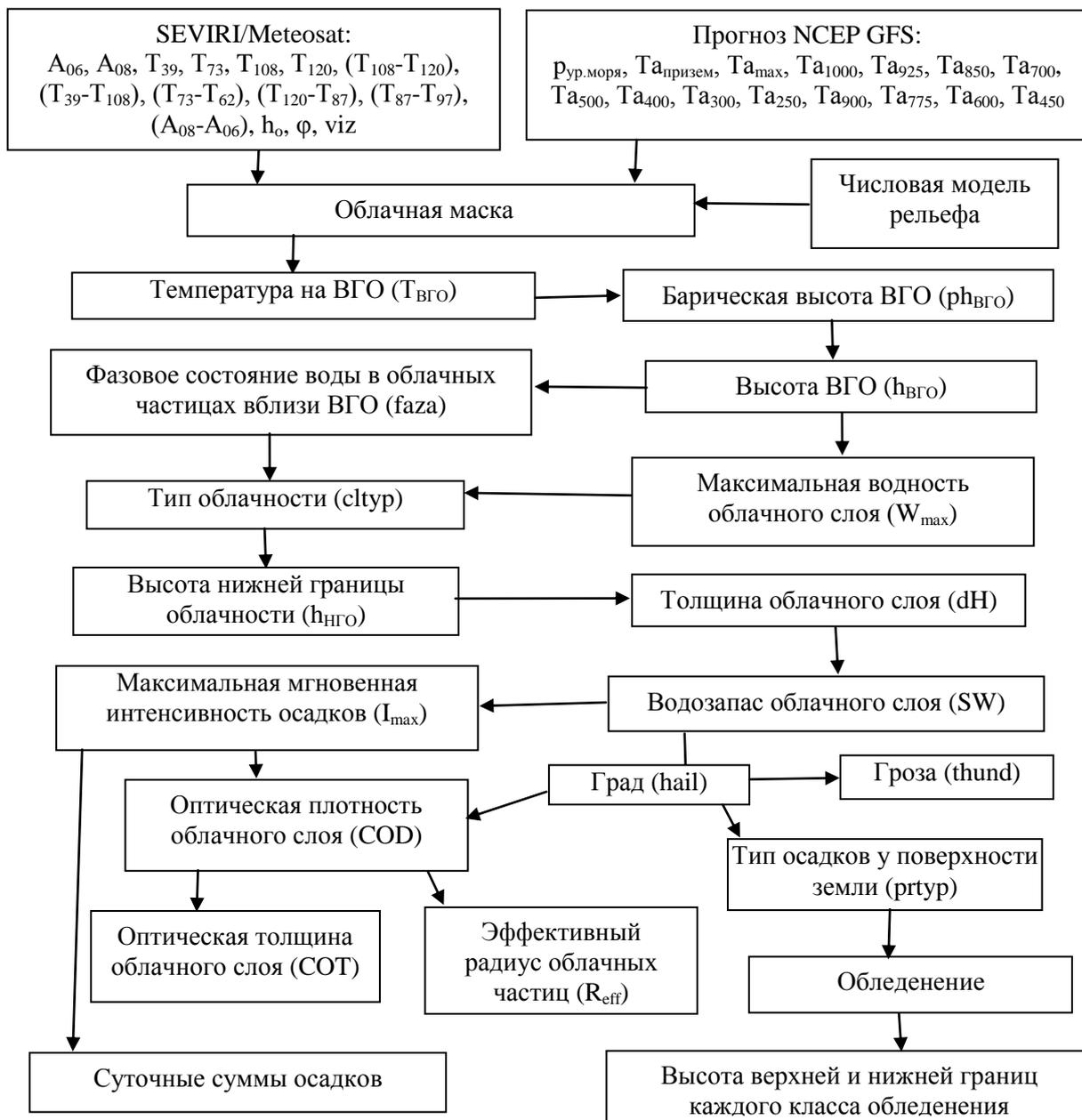


Рис. 1. Схема работы КПИМ для данных SEVIRI/Meteosat в составе СПК «SEVIRI-Europe»

Выходные продукты СПК по облачности, осадкам и ОЯП получают в оперативном режиме для каждого срока спутникового наблюдения с исходным разрешением спутниковой информации в виде цифровых матриц и соответствующих им рсх-картинок (рис. 2). Значения получают средними для площади пиксела (кроме максимальной мгновенной интенсивности осадков), поэтому в пределах пиксела возможны участки облачности как с более высокими, так и низкими значениями или с другими классами.

На примере архива синхронных спутниковых и наземных метеонаблюдений за 2017-2018 гг. была проведена валидация выходных продуктов СПК для Европы и ЕТР данными наземных наблюдений на метеостанциях, а также выполнено сопоставление с аналогичными оценками, полученными КПИМ по данным SEVIRI/Meteosat (0° в.д.) за 2011-2015 гг. для ЕТР [4], с климатической информацией, с нефанализом авторов и др. Результаты сопоставления показывают хорошее качество получаемых выходных продуктов СПК (табл. 2). Они не уступают по точности зарубежным аналогам, получаемым в рамках проектов SAF NWC и SAF CM EUMETSAT (<http://www.cmsaf.eu>), и, в основном, удовлетворяют предъявляемым к ним пользователями требованиям.

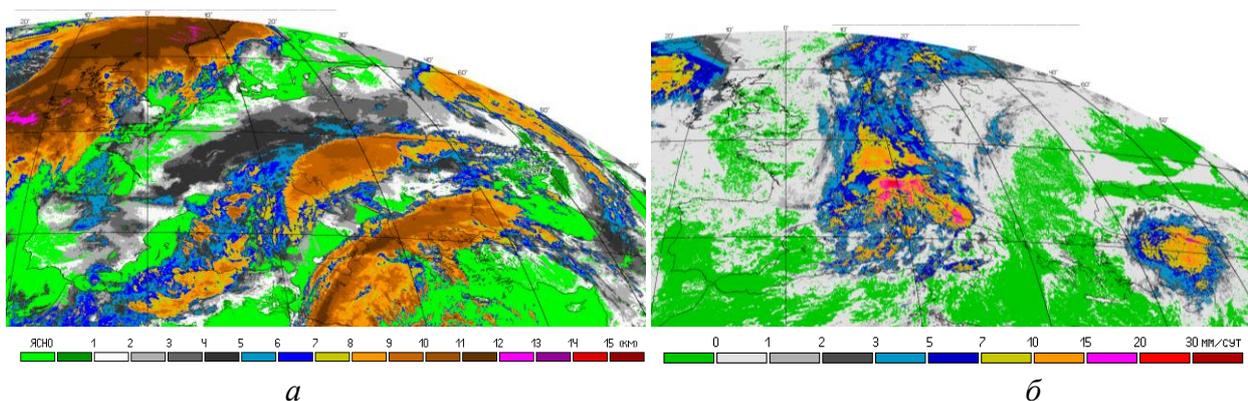


Рис. 2. Высота ВГО (км) над уровнем моря (а); суточные суммы осадков (мм) (б)

Подавляющее большинство параметров облачности, осадков и ОЯП детектируется с точностью ± 1 класс/градация в 70-90 % случаев и ± 2 класса/градации в 80-95 % случаев (в зависимости от детектируемого параметра, сезона, времени суток и др.). Грубых ошибок (когда ошибочно детектируются диаметрально противоположные классы/градации параметра) выявлено не было. Наиболее точно СПК работает для ЕТР (46-63° с.ш. и 20-51° в.д.). Для некоторых южных территорий (особенно для Северной Африки, Адриатического моря и др.) возможны существенные ошибки оценок параметров облачности и осадков (обычно в сторону завышения).

В настоящий момент результаты работы СПК успешно проходят апробацию в ФГБУ «Гидрометцентр России» и в нескольких отделениях ФГБУ «Центрально-Чернозёмное УГМС». Для обеспечения оперативного получения потребителями информационных продуктов создано программное обеспечение, позволяющее регулярно получать согласованный набор из нескольких наименований продуктов с разной периодичностью. Скаченные продукты представлены в виде растровых файлов, которые могут быть просмотрены в режиме слайдшоу непосредственно на мониторе дежурного синоптика. Время получения полного набора выходных продуктов, включая первичную обработку спутниковых данных и их передачу пользователю, не превышает 0,5 мин. Автоматическая обработка запускается сразу после поступления всех исходных данных в соответствующие базы данных.

Заключение

Разработанный в «НИЦ «Планета» авторами СПК «SEVIRI-Europe» показал хорошую конкурентоспособность с зарубежными аналогами, так как не уступает им по качеству выходных продуктов и имеет ряд преимуществ:

- используя меньшее количество дополнительной информации, детектирует больше параметров облачности, осадков и ОЯП круглосуточно и для любой подстилающей поверхности в пределах рассматриваемого региона;
- для многих параметров облачности и осадков выделяет больше классов/градаций, при этом оценки микрофизических параметров облачности относятся ко всему облачному слою, а не только к его верхней части;
- облачный анализ (классификация облачности по типам) позволяет сделать предварительную оценку большинства параметров облачности, осадков и ОЯП и оценить степень «опасности» облака.

Таблица 2. Результаты валидации спутниковых оценок параметров облачности, осадков и ОЯП данными наземных наблюдений на метеостанциях

Валидируемый параметр	Критерий качества	Класс параметра	Точность КППМ		Примечание
			Европа+ЕТР	ЕТР	
Высота нижней границы облачности	POD, %	$h_{НГО} \leq 1,5$ км	81-94	82-96	в зависимости от сезона
		$h_{НГО} > 1,5$ км	49-79	52-85	
	HR, %	все	73-89	75-93	
Зоны осадков разной интенсивности	POD, %	осадки	79-98	80-90	в зависимости от сезона, времени суток и способа валидации
		без осадков	63-83	65-78	
	POO, %	осадки	47-89	50-90	
		без осадков	72-82	68-84	
	FAR, %	все	10-17	8-16	в зависимости от сезона и способа валидации
	HR, %		78-86	72-86	
	POD, %	слабые осадки	62-82	64-81	
		умеренные осадки	58-84	56-81	
Град	POD, %	град в облаках	до 84	до 84	в зависимости от сезона и способа валидации
	POO, %		до 63	до 76	
	POD, %	выпадение града	3-14	3-14	
	POO, %		42-68	47-79	
Гроза	POD, %	без грозы	82-98	77-98	в зависимости от сезона и времени суток
		гроза	до 78	до 78	
	HR, %	все	78-98	76-98	
Тип осадков	POD, %	дождь	75-80	70-78	в зависимости от сезона, времени суток и способа валидации
	POO, %		36-63	40-64	
	POD, %	снег	32-58	39-63	
	POO, %		41-66	46-66	
	POD, %	остальные осадки	22-37	20-35	
	POO, %		8-79	до 79	
Суточные суммы осадков	dev, мм	-	0,0-0,8	-0,4-+0,5	средние за месяц, в зависимости от сезона
	СКО, мм		3,3-7,3	2,6-7,5	
	dev, мм		0,3	0,0	среднее за год
	СКО, мм		5,1	4,8	

Примечание: POD (Probability of Detection) – вероятность правильного распознавания класса, FAR (False alarm) – вероятность ошибочного распознавания, HR (Hit Rate) – точность классификации, POO (Probability of Occurrence) – вероятность события внутри выделенной зоны, dev – среднее отклонение спутниковых оценок от наземных, СКО – среднее квадратичное отклонение.

Выходные продукты СПК в основном удовлетворяют предъявляемым к ним пользователями требованиям и находятся в хорошем соответствии с синоптической ситуацией и с климатологией для соответствующих облачных классов [5], поэтому могут быть рекомендованы к использованию в качестве равноценной замены наземным метеонаблюдениям для мезомасштабного мониторинга облачного покрова и его параметров как в оперативном режиме, так и для климатических исследований

References

- [1] Cotin L.F.L. *Algorithm theoretical basis document for "Cloud products"* (CMa-PGE01, CT-PGE02&CTTH-PGE03 v.1.4), SAF/NWC/CDOP/MFL/SCI/ATBD/01, Issue 1, Rev. 4, November 17, 2007. 69 p.
- [2] Hollmann R. CM SAF. *Annual product quality assessment report 2014*, SAF/CM/DWD/AQA/OR2015, Issue 1.1, May 29, 2015. 70 p.
- [3] Volkova E.V., Uspenskii A.B., Day and night automatic estimation of cloud cover parameters using Meteosat-9 data, *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*, 2010, 7(3), pp. 16-22. (In Russian).
- [4] Volkova E.V., Uspenskii A.B., Estimation of cloud cover parameters and precipitation utilizing polar-orbiting and geostationary satellite data, *Issledovaniya Zemli iz Kosmosa*, 2015, No 5, pp. 30-43. (In Russian).
- [5] Mazin I.P., Khrgian A.H. Clouds and cloud atmosphere, *Leningrad: Gidrometizdat*, 1989, 647 p. (In Russian).