

Рис. 2. Валидация облачной маски по данным AVHRR/NOAA оценками количества общей облачности по наземным метеонаблюдениям

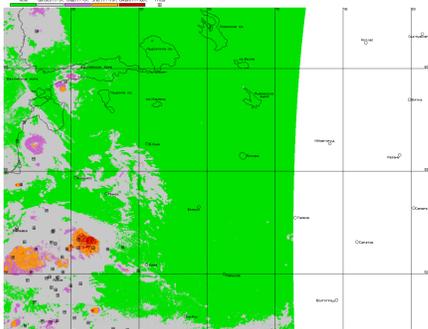


Рис. 3. Валидация зон гроз по данным AVHRR/NOAA оценками погоды в срок наблюдения и в последний час по наземным метеонаблюдениям

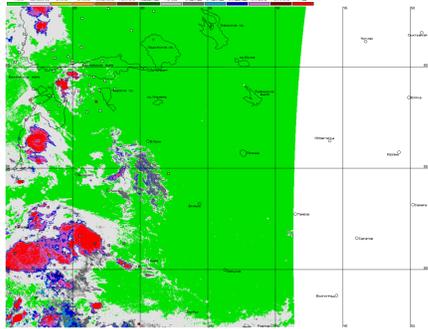


Рис. 4. Валидация типа осадков у поверхности земли по данным AVHRR/NOAA оценками погоды в срок наблюдения и в последний час по наземным метеонаблюдениям

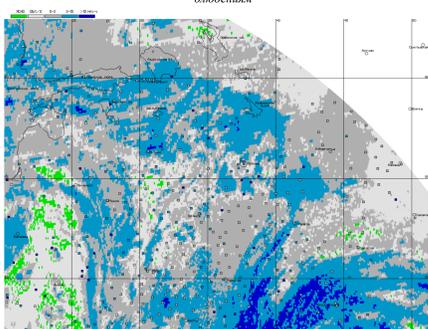


Рис. 5. Валидация интенсивности осадков по данным SEVIRI/Meteosat (0° в.д.) оценками погоды в срок наблюдения и в последний час по наземным метеонаблюдениям

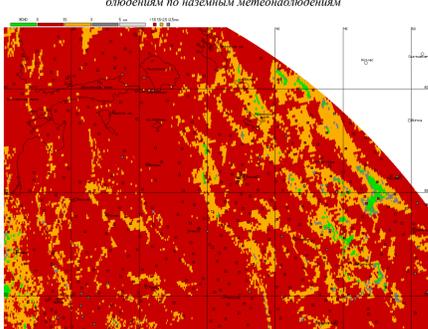


Рис. 6. Валидация высоты НГО по данным SEVIRI/Meteosat (0° в.д.) оценками высоты НГО по наземным метеонаблюдениям

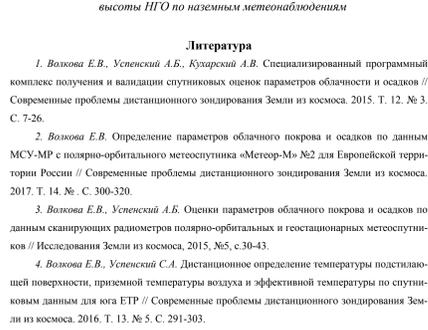


Рис. 7. Валидация типа осадков у поверхности земли по данным SEVIRI/Meteosat (41,5° в.д.) оценками погоды в срок наблюдения и в последний час по наземным метеонаблюдениям



Рис. 8. Валидация зон града по данным MTSU-MP/Meteor-M №2 оценками погоды в срок наблюдения и в последний час по наземным метеонаблюдениям



Рис. 9. Валидация зон града по данным MTSU-MP/Meteor-M №2 оценками погоды в срок наблюдения и в последний час по наземным метеонаблюдениям

Рис. 10. Сопоставление облачной маски по данным SEVIRI/Meteosat (0° в.д.) и SEVIRI/Meteosat (41,5° в.д.)

Рис. 11. Сопоставление зон осадков по данным SEVIRI/Meteosat (0° в.д.) и SEVIRI/Meteosat (41,5° в.д.)

Рис. 12. Сопоставление оценок температуры ВГО по данным SEVIRI/Meteosat (0° в.д.) и AVHRR/NOAA

Рис. 13. Сопоставление сумм осадков по данным AVHRR/NOAA и MTSU-MP/Meteor-M №2



Рис. 1. Краткая структура СПК «ETP» классификации и валидации для двух видов спутниковой информации.

Созданный в ФГБУ «НИЦ «Планета» Специализированный Программный Комплекс (СПК) «ETP» [1] был существенно дополнен и модернизирован. В результате СПК «ETP» позволяет автоматически в круглосуточном режиме определять параметры облачного покрова, осадков и опасных явлений погоды (ОЯП), а также подстилающей поверхности и приземного слоя воздуха для Европейской территории России и сопредельных стран (47-63° с.ш. и 20-50° в.д. на регулярной сетке с пространственным разрешением 1° по широте и 1,5° по долготе) по данным AVHRR (полярно-орбитальные КА серии NOAA), MTSU-MP (полярно-орбитальный КА Meteor-M №2) и SEVIRI (геостационарные КА серии Meteosat, точки стояния 0° и 41,5° в.д.), а также валидировать выходные продукты результатами наземных наблюдений и климатическими оценками и сравнивать результаты классификаций по данным разных спутниковых приборов между собой (в т.ч. выдаются автоматические оценки качества классификации и различия двух классификаций).

В основе СПК лежат созданные Волковой Е.В. варианты Комплексной пороговой методики (КПМ) для разных спутниковых данных [2, 3] и методика расчета температуры приземного слоя воздуха и почвы [4]. Помимо спутниковых измерений альbedo и радиационной температуры используются прогнозные поля о вертикальном распределении температуры воздуха на стандартных барических уровнях атмосферы и атмосферном давлении на уровне моря, а также цифровая модель рельефа и параметры облачности и осадков, полученные на начальных этапах классификации. КПМ дешифрирует и классифицирует параметры облачности, осадков и ОЯП по косвенным признакам пороговым методом. Динамические пороговые значения задаются в КПМ в виде эмпирически полученных функциональных зависимостей от географической широты, высоты места над уровнем моря, угла спутникового зорирования, номера календарного дня, приземной температуры воздуха и др. параметров. Выделение классов/градаций происходит от отсутствия явления к его максимальному значению. Порядок пороговых характеристик и формулы пороговых значений к ним немного различаются для разных спутниковых приборов. Количество выделяемых классов/градаций для некоторых параметров облачности также варьирует в зависимости от вида спутниковой информации.

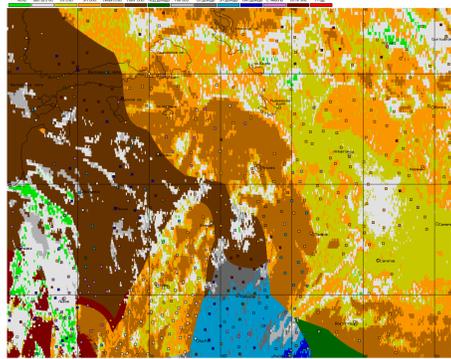


Рис. 7. Валидация типа осадков у поверхности земли по данным SEVIRI/Meteosat (41,5° в.д.) оценками погоды в срок наблюдения и в последний час по наземным метеонаблюдениям

Таблица. Точность оценок параметров облачности, осадков и ОЯП по спутниковым данным при сопоставлении с наземными наблюдениями

валидуемый параметр	критерий качества	класс параметра	точность КПМ для ETP				
			SEVIRI/Meteosat (0° в.д.) (2011-2018 гг.)	SEVIRI/Meteosat (41,5° в.д.) (2018 г.)	AVHRR/NOAA (2011-2016 гг.)	MTSU-MP/Meteor-M №2 (2015-2018 гг.)	
Облачная маска	9 классов/градаций в октах	dev, окт.	-1,6	-1,5 - 0,3	-0,6 - 0,0	-1,2 - 0,0	
		ldev, окт.	2,2	1,7-3,1	1,1-1,6	0,9-2,1	
		SKO, окт.	3,2	2,7-4,4	2,0-2,8	1,9-3,1	
		HR(<=1окт), %	54	47-66	64-77	53-78	
		HR(<=2окт), %	62	55-77	76-87	70-89	
		HR(<=3окт), %	-	62-84	82-92	78-93	
	POD, %	«ясно» (0-1 окт.)	55	26-70	59	51	
		«разорв. обл.» (2-6 окт.)	23	18-64	52	52	
		«сплош. обл.» (7-8 окт.)	97	50-68	75	71	
		«ясно» (0-1 окт.)	27	35-79	35	31	
		«разорв. обл.» (2-6 окт.)	39	79-88	67	86	
		«сплош. обл.» (7-8 окт.)	48	2-46	13	8	
Высота НГО	HR, %	3 класса	57	48-67	64-76	53-78	
		«ясно»	-	29-80	-	-	
	POD, %	«облачно»	-	79-99,8	-	-	
		«ясно»	-	1,7-70	-	-	
	FAR, %	«облачно»	-	11-25	-	-	
		«ясно»	-	66-92	-	-	
	HR, %	2 класса	-	-	-	-	
		KSS	-	0,16-0,79	-	-	
	Зоны осадков разной интенсивности	POD, %	h _{top} < 1,5 км	81-97	76-91	96-99,7	86-98
			h _{top} > 1,5 км	45-85	47-81	72-89	43-80
		FAR, %	h _{top} < 1,5 км	5-32	10-36	2-11	3-18
			h _{top} > 1,5 км	5-65	13-53	2-27	14-58
HR, %		2 класса	73-93	67-90	90-98	77-95	
		осадки	78-98	80-88	90-91	88-97	
Тип осадков	POD, %	без осадков	47-80	58-83	72-87	40-61	
		осадки	80-96	49-92	87-97	76-95	
	FAR, %	осадки	4-20	8-51	5-13	6-24	
		2 класса	77-96	72-86	84-91	73-86	
	POD, %	слабые осадки	65-87	62-87	79-93	64-83	
		умеренные осадки	56-92	66-87	74-95	72-85	
Град	POD, %	дождь	42-94	23-71	22-91	26-91	
		сильные осадки	70-83	57-61	69-79	65-73	
	FAR, %	дождь	38-69	61-78	38-67	42-72	
		снег	61-91	54-70	59-81	60-77	
	POD, %	остальное	41-66	55-74	42-63	46-64	
		13-35	14-17	15-24	18-27		
Гроза	POD, %	град в облаках	0-81	5-86	1-97	0-100	
		выпадение града	0-76	0-75	0-37	0-83	
	FAR, %	град в облаках	2-14	1,5-2,5	0-44	5-19	
		выпадение града	58-85	79-96	0-39	32-72	
	Суммарные суммы осадков	POD, %	слабая гроза	29-76	22-86	-	-
			умеренная гроза	16-60	0-56	-	17-100
FAR, %		слабая гроза	2-23	0-28	-	-	
		умеренная гроза	21-41	2-19	-	-	
POD, %		умеренная гроза	38-58	0-32	-	0-42	
		сильная гроза	69-76	0-37	-	-	
Суммарные суммы осадков	dev, мм	средние за месяц	-0,9 - 0,9	-0,7 - 1,1	-1,6 - 0,9	-0,5 - 0,9	
		ldev, мм	-	1,0-1,8	-	-	
	SKO, мм	средние за месяц	1,4-8,0	2,8-5,5	2,0-6,9	1,9-6,9	
		HR(<1мм), %	-	62-84	-	-	
	HR(<2,5мм), %	HR(<2,5мм), %	-	83-95	-	-	
		HR(<5мм), %	-	90-97	-	-	
Суммарные суммы осадков	dev, мм	средние за год	-0,3 - 0,3	0,0	-1,6 - 0,4	-0,1 - 0,2	
		ldev, мм	-	1,3	-	-	
	SKO, мм	средние за год	2,5-6,4	3,8	3,2-5,3	3,2-4,3	
		HR(<1мм), %	-	73	-	-	
	HR(<2,5мм), %	HR(<2,5мм), %	-	87	-	-	
		HR(<5мм), %	-	94	-	-	

Примечание. Указаны средние для всей выборки значения или диапазон средних значений в зависимости от года, сезона, времени суток и способа валидации: dev (deviation) – среднее отклонение спутниковой оценки от наземной; SKO – среднее квадратичное отклонение спутниковой оценки от наземной; HR (Hit rate) – точность классификации (в т.ч. с ошибкой не более указанного значения); POD (Probability of Detection) – вероятность правильного распознавания класса (относительно наземных наблюдений); POO (Probability of Occurrence) – вероятность события (относительно спутниковых наблюдений); FAR (False Alarm Ratio) – ложная тревога (относительно спутниковых наблюдений)

СПК «ETP» в автоматическом режиме обеспечивает (см. рис. 1):

- сбор необходимых для его работы данных (из соответствующих баз данных (БД));
- предварительную подготовку спутниковой информации;
- классификацию (с помощью соответствующего варианта КПМ) параметров облачности, осадков и ОЯП по каждому виду спутниковой информации;
- построение подсуточных монтажей (только для данных AVHRR и MTSU-MP);
- определения параметров подстилающей поверхности и приземного слоя воздуха по каждому виду спутниковой информации;
- расчёт суточных, месячных и годовых сумм осадков;
- валидацию результатов классификации параметров облачности, осадков и ОЯП данными наземных наблюдений на метеостанциях и климатическими оценками;
- сравнение результатов классификаций, полученных по разным видам спутниковой информации.

Выходными продуктами СПК являются (см. рис. 2-13):

- оценки параметров облачного покрова (облачная маска (2 класса), типа облачности (13 классов), максимальная (7-8 классов) и суммарная (8-9 классов) водность облачного слоя, температура и высота над уровнем моря верхней границы облачности (ВГО) (в точных значениях или по 16 градациям), барическая высота ВГО (16 градаций), высота нижней границы облачности (НГО) над поверхностью земли (4 градации), толщина облачного слоя (14 градаций), фазовое состояние воды в облачных частях в слое близки ВГО (4 класса), оптическая плотность (11 градаций) и толщина (14 градаций) облачного слоя, эффективный радиус облачных частиц (8 градаций), осадков (зоны осадков разной интенсивности (8-9 градаций), тип осадков у поверхности земли (13 классов), суточные, месячные и годовые суммы осадков (в точных значениях) и ОЯП (зоны гроз, града и облеснения разной интенсивности и вероятности (по 4 класса), высота над уровнем моря верхней и нижней грани каждого слоя облеснения (по 10 градаций));
- оценки параметров подстилающей поверхности (температура почвы, эффективная температура подстилающей поверхности, излучательная способность поверхности почвы, вегетационный индекс, листовой индекс и проективное покрытие растительностью) и приземного воздуха (температура воздуха у поверхности растительного покрова) в точных значениях;
- результаты валидации спутниковых оценок параметров облачности, осадков и ОЯП данными наземных наблюдений на метеостанциях (за количеством общей облачности, высотой НГО, погодой и суточными суммами осадков) и климатическими оценками (выдается автоматическое заключение о качестве классификации);
- результаты сравнения оценок параметров облачности, осадков и ОЯП, полученных по разным видам спутниковой информации (выдается автоматическое заключение о степени различия результатов классификаций).

Выходные продукты СПК получаются (см. рис. 2-13):

- в виде матриц значений параметров (в точных значениях или кодах) и соответствующих им карт (результаты классификации и расчётов параметров облачности, осадков и ОЯП);
- в виде матриц значений параметров (в точных значениях) (результаты оценок состояния подстилающей поверхности и приземного воздуха);
- в виде журналов с оценками качества классификации и гистограммами повторяемости значений параметров, в т.ч. для разных облачных классов, а также карт с нанесёнными на них результатами аналогичных наземных наблюдений (для визуальной валидации) (результаты валидации);
- в виде журналов с оценками степени различия двух методик и карт отличий (dev) одной методики от другой (результаты сравнения методик).

Классификация и расчёт параметров облачности, осадков, ОЯП и подстилающей поверхности проводятся для каждого срока спутниковых наблюдений или за все сроки спутниковых наблюдений за полусутки или сутки, а валидация и сравнение методик – 1 раз в сутки (ежедневно) для всех сроков спутниковых наблюдений за сутки и 1 раз в месяц (ежемесячно 1го числа) для всех сроков за месяц.

СПК написан на ФОРТРАН под Windows. Для его работы не требуется больших вычислительных ресурсов, но необходим доступ к БД с результатами спутниковых измерений и дополнительной информацией, в т.ч. используемой при валидации.

Проведённая независимая валидация выходных продуктов СПК для разных видов спутниковой информации данными наземных наблюдений на метеостанциях и климатическими оценками на примере архивов синхронных спутниковых и наземных наблюдений за 2011-2018 гг. (см. таблицу) показывает хорошее качество получаемых спутниковых оценок, сопоставимое с аналогичными оценками зарубежных аналогов (например, в центрах EUMETSAT SAF CM (<http://www.cmsa.eu>)). В основном выходные продукты СПК «ETP» удовлетворяют предъявляемым к ним пользователями требованиям и могут быть рекомендованы к использованию в качестве дополнения к наземным метеонаблюдениям для мезомасштабного мониторинга облачного покрова и подстилающей поверхности в оперативном режиме и для климатических исследований.

Литература

1. Волкова Е.В., Успенский А.В., Кухарский А.В. Специализированный программный комплекс получения и валидации спутниковых оценок параметров облачности и осадков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 3. С. 7-26.
2. Волкова Е.В. Определение параметров облачного покрова и осадков по данным MTSU-MP с полярно-орбитального метеоспутника «Метеор-М» №2 для Европейской территории России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 5. С. 300-320.
3. Волкова Е.В., Успенский А.В. Оценки параметров облачного покрова и осадков по данным сканирующих радиометров полярно-орбитальных и геостационарных метеоспутников // Исследования Земли из космоса, 2015, №5, с.30-43.
4. Волкова Е.В., Успенский С.А. Дистанционное определение температуры подстилающей поверхности, приземной температуры воздуха и эффективной температуры по спутниковым данным для юга ЕТР // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 5. С. 291-303.