Определение параметров облачного покрова и осадков по данным МСУ-МР с полярно-орбитального метеоспутника «Метеор-М» №2 для территории Западной Сибири

Е.В. Волкова, Д.Б.Гиричев

ФГБУ «НИЦ Космической гидрометеорологии «Планета»

123242, Москва, Большой Предтеченский пер., д.7.

E-mail: quantocosa@bk.ru

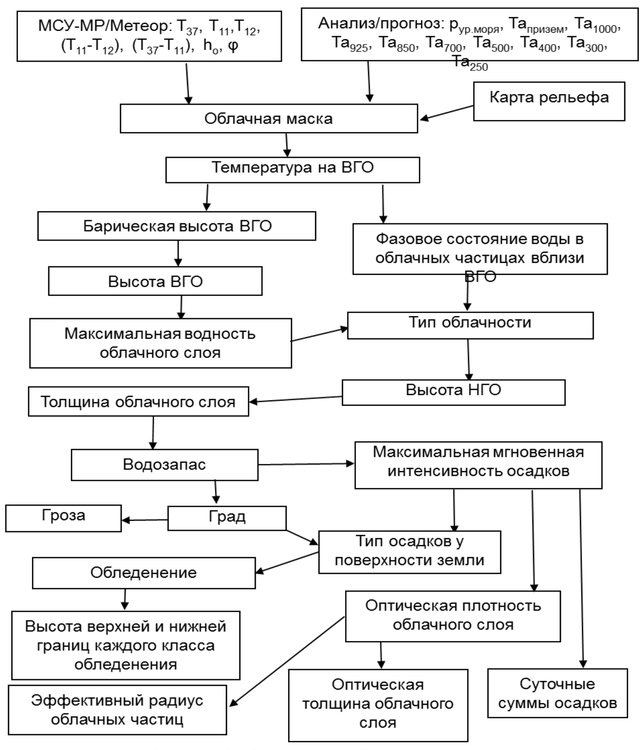

Рис. 1. Схема работы КПМ для данных МСУ-МР/Метеор в составе СПК «MSUMRnsb»

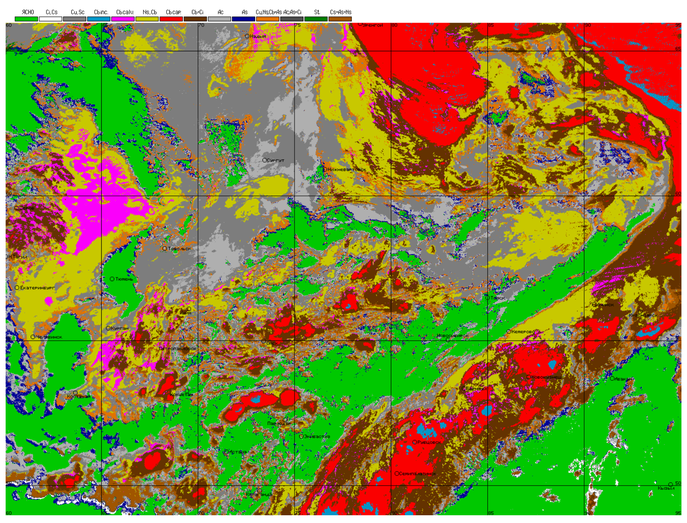

Рис. 2. Облачный анализ (10.06.2017 г., 14:58 ВСВ). Обозначения: clear – безоблачно, Ci,Cs – перистые, Cu,Sc – кучевые, Ac – высоко-кучевые, As – высоко-слоистые, St – слоистые,Cbinc – мощные кучево-дождевые волосатые, Cbcalv – кучево-дождевые лысые, Cbcap – мощные кучево-дождевые с перистыми, Ns,Cb – слоисто--дождевые и кучево-дождевые, Cb+Ci – облачность верхнего яруса над облаками большого вертикального развития, NsAsCs – многоярусная фронтальная облачность типа Ns -As-Cs, med+Ci – облачность верхнего яруса над Cu hum, Ac или As, low+As – облачность среднего яруса над нижней

Комплексная пороговая методика (КПМ) автоматической классификации параметров облачного покрова, осадков и опасных явлений погоды (ОЯП) в круглосуточном режиме для Европейской территории России и сопредельных стран по данным МСУ-МР с полярно-орбитального метеоспутника «Метеор-М» №2 (*Волкова Е.В., 2017*) была модернизирована и специально приспособлена для тех же данных, но территории Западной Сибири.

В качестве предикторов КПМ использует измерения МСУ-МР в каналах 4-6 (λ= 3,8, 11 и 12 мкм), а также их разности. Пороговые значения предикторов рассчитываются для каждого пиксела спутникового изображения как функции высоты места над уровнем моря, высоты солнца, номера календарного дня, приземной температуры воздуха и др. Дополнительно используются прогностические поля о вертикальном распределении температуры воздуха на стандартных барических уровнях атмосферы и атмосферном давлении на уровне моря, а также цифровая карта рельефа. Кроме того, в КПМ используются параметры облачности и осадков, полученные на начальных этапах классификации (см. табл. 1 и рис. 1). Выделение классов/градаций параметров идёт по нарастающей: от отсутствия явления к его максимальному значению.

Выходными продуктами работы КПМ являются оценки параметров облачного покрова (облачная маска, типы облачности (13 классов), максимальная и суммарная водность облачного слоя (по 8 градаций), температура и высота верхней границы облачности (ВГО), высота нижней границы облачности (НГО) (4 градации), толщина облачного слоя (14 градаций), фазовое состояние воды в облачных частицах в слое вблизи ВГО (4 класса), оптические плотность (11 градаций) и толщина (14 градаций) облачного слоя, эффективный радиус облачных частиц (8 градаций)), характеристики осадков (зоны осадков разной интенсивности (9 градаций), тип осадков у поверхности земли (13 классов), суточные и месячные суммы осадков) и ОЯП (зоны гроз, града и обледенения разной интенсивности (по 4 класса)). Примеры классификации см. на рис. 2-8. В табл. 2 представлены характеристики выделяемых КПМ облачных классов.

На основе архива синхронных спутниковых и наземных наблюдений за 2017-2018 гг. проведена валидация полученных с помощью КПМ по данным МСУ-МР/Метеор результатов определения параметров облачности и осадков данными наземных наблюдений на метеостанциях за количеством общей облачности, $h_{НГО}$ и погодой, а также климатическими оценками. Полученные результаты показывают, что КПМ позволяет с достаточной высокой точностью для каждого пиксела спутникового изображения автоматически в круглосуточном режиме определять параметры облачного покрова и детектировать осадки и ОЯП. Полученные результаты хорошо согласуются с данными наземных наблюдений, климатическими оценками, синоптической ситуацией и аналогичными расчётами по данным МСУ-МР/Метеор для региона «ЕТР» (*Волкова, 2017*). В целом, результаты классификации КПМ удовлетворяют требованиям, предъявляемым к ним пользователями (см. табл. 3), и могут использоваться в качестве равноценной замены или дополнения к наземным метеонаблюдениям для мезомасштабного мониторинга облачного покрова и его параметров как в оперативном режиме, так и для климатических исследований. КПМ детектирует большинство параметров облачности, осадков и ОЯП с точностью ±1-2 класса/градации (при использовании данных численного анализа Exeter) в 70-95 % случаев. Грубых ошибок выявлено не было. Точность КПМ падает в ночное время, в холодный период года, при наличии температурных инверсий, в горах (Алтай) и над водоёмами (крупные реки и водохранилища) с большой амплитудой температур относительно окрестной суши. На качество выходных продуктов влияет точность дополнительной информации.

Вариант КПМ для Западной Сибири показал хорошую конкурентоспособность с зарубежными методиками аналогичного назначения (например, используемые в центрах EUMETSAT SAF CM (*http://www.cmsaf.eu)*): практически не уступает им по качеству выходных продуктов и имеет ряд преимуществ:

- облачный анализ детектирует больше облачных классов, по которым возможна предварительная оценка параметров облачного покрова (W_{max}, $h_{ВГО}$, $h_{НГО}$, COD, COT, R_{eff}) и степени его «опасности» (вероятность и интенсивность осадков, грозы, града, обледенения) (см. табл. 2);

- детектирует больше классов faza в круглосуточном режиме независимо от типа подстилающей поверхности;

- значения COD, COT, R_{eff}, W_{max} и SW определяются круглосуточно над любой поверхностью и относятся ко всему облачному слою;

- помимо интенсивности осадков из любой облачности независимо от сезона и времени суток определяется тип осадков, а также вероятность и интенсивность ОЯП. Суммы осадков оказываются вполне сопоставимыми с наземными измерениями;

- использует меньше дополнительной информации.

Однако, в силу специфики своей информации данным МСУ-МР/Метеор-М №2 присущи следующие недостатки (из-за погрешностей бортовой калибровки и др.):

1) плохо «видят» перистые и тонкие высоко-слоистые облака в дневное время (из-за неудовлетворительной работы канала 6);

2) ночью «теряются» облака, термические характеристики которых близки к наземным (из-за неудовлетворительной работы канала 6);

3) очень плохо детектируются мелкие ячейки Cu и Ac даже в середине полосы обзора сканера МСУ-МР (ячейки с КОО=2-8 баллов сливаются в Sc 9-10 баллов);

4) из-за пунктов 1, 2 и 3 КПМ для данных МСУ-МР/Метеор плохо пригодна для оценок радиационных свойств подстилающей поверхности;

5) «полосатость» классифицированных изображений (ширина полосы 5-10 пикселов) из-за неудовлетворительной работы канала 6.

Однако для мониторинга ОЯП и других «сильных» явлений (большие значения параметров облачности и осадков) данные МСУ-МР/Метеор вполне пригодны.

На основе КПМ создан достаточно простой в обращении специализированный программный комплекс (СПК) «MSUMRnsb», позволяющий в автоматическом режиме осуществлять не только классификацию спутниковых данных с целью получения информации об облачном покрове, осадках и ОЯП, но и валидировать (ежесуточно и ежемесячно) выходные продукты климатическими оценками и результатами наземных наблюдений на метеостанциях за аналогичными параметрами.

Программные модули СПК «MSUMRnsb» написаны на языке программирования Fortran-90 с использованием командных bat-файлов (синтаксис команд MS-DOS) в виде 3х исполняемых модулей с пакетным интерфейсом. Пользовательский интерфейс реализован через Far manager. Время обработки (классификации) большого фрагмента спутникового изображения (размером 1020х1400 пикселов) составляет не более 0,5 мин (с предварительной обработкой – не более 1-1,5 мин) в зависимости от параметров ПЭВМ, при этом рассчитываются одновременно все параметры облачности, осадков и ОЯП.

Таким образом, создана достаточно эффективная и не требующая больших вычислительных и информационных ресурсов система спутникового мониторинга облачности и осадков регионального покрытия, полностью отечественная и не уступающая по качеству зарубежным аналогам.

Таблица 1. *Детектируемые КПМ параметры облачного покрова, осадков и ОЯП, их классы/градации и необходимые для классификации предикторные характеристики*

детектируемый параметр	*обозначение*	*классы/градации*	*предикторы*	*пороговые значения зависят от*
Облачная маска	КОО	облачно, безоблачно	T_{11}, (T_{11}-T_{12}), (T_{37}-T_{11})	data, h_o, $Та_{ур.моря}$, $Та_{призем}$,
Температура ВГО (К, °С)	$T_{ВГО}$	точные значения	(T_{37}-T_{11}), (T_{11}-T_{12}), T_{11}, T_{12}, h_o, $Та_{призем}$, $Та_{ур.моря}$	
Высота ВГО (м, гПа)	$h_{ВГО}$, $ph_{ВГО}$	точные значения	$T_{ВГО}$, $p_{ур.моря}$, $Та_{max}$, φ, h_{ref}	
Фазовое состояние воды в облачных частицах на ВГО	faza	кристаллические, водяные, смешанные: вода>лёд, вода<лёд	(T_{37}-T_{11}), $T_{ВГО}$	data, h_o, $Та_{ур.моря}$
Максимальная водность облачного слоя (г/м²)	W_{max}	0, 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3, 0,3-0,5, 0,5-1, 1-3, 3-5, >5	T_{11}, (T_{11}-T_{12}), (T_{37}-T_{11}), $h_{ВГО}$	$Та_{700-500}$, $Та_{500}$, $Та_{500-400}$, $Та_{400}$, $Та_{400-300}$, $Та_{300}$, $Та_{ур.моря}$, $Та_{max}$, $Та_{призем}$, h_{ref}, h_o, data
Тип облачности	cltyp	CiCs, CuSc, Cbinc, Cbcalv, NsCb, Cbcap, low+Ci, AcCu, As, low+As, med+Ci, St,	T_{11}, (T_{11}-T_{12}), (T_{37}-T_{11}), $T_{ВГО}$, $h_{ВГО}$, W_{max}, faza	data, h_{ref}, $Та_{ур.моря}$, $Та_{700}$, $Та_{700-500}$, $Та_{500}$, $Та_{400}$, $Та_{300}$, h_o
Высота НГО (км)	$h_{НГО}$	<1,5, 1,5-3, 3-5, >5	cltyp, W_{max} (T_{11}-T_{12}), $h_{ВГО}$	h_{ref}, $Та_{ур.моря}$
Толщина облачного слоя (км)	dH	<0,5, 0,5-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8,	$h_{НГО}$, $h_{ВГО}$, h_{ref},	
Максимальный водозапас облачного слоя (кг/м²)	SW	<0,1, 0,1-0,5, 0,5-1, 1-2, 2-5, 5-15, 15-25, >25	W_{max}, (T_{11}-T_{12}), $Та_{max}$, data, dH, $Та_{ур.моря}$	
Максимальная мгновенная интенсивность осадков (мм/ч)	I_{max}	0, 0-1, 1-3, 3-5, 5-8, 8-15, 15-25, 25-50, 50-100, >100	T_{11}, (T_{11}-T_{12}), (T_{37}-T_{11}), $T_{ВГО}$, W_{max}, SW, faza, $h_{ВГО}$, $h_{НГО}$, $Та_{призем}$, $Та_{ур.моря}$	(T_{11}-T_{12}), data, h_o, h_{ref}, $Та_{max}$, $Та_{ур.моря}$, $Та_{850}$, $Та_{850-700}$, $Та_{700}$, $Та_{700-500}$, $Та_{500}$, $Та_{400}$, $Та_{300}$, $Та_{250}$
Град	hail	без града, град в облаках/слабый, умеренный, силь-	cltyp, W_{max}, SW, T_{11}, (T_{11}-T_{12}), (T_{37}-T_{11}), $T_{ВГО}$, $h_{ВГО}$	data, h_{ref}, $Та_{ур.моря}$, h_o, $Та_{300}$, $Та_{250}$
Гроза	thund	без грозы, слабая, умеренная, сильная гроза	hail, T_{11}, (T_{11}-T_{12}), W_{max}, SW, $T_{ВГО}$, $h_{ВГО}$	h_o, data, h_{ref}, $Та_{ур.моря}$, $Та_{400}$,$Та_{300}$, $Та_{250}$,
Тип осадков у поверхности земли	prtyp	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}, SW, $Та_{max}$, $Та_{призем}$, $Та_{ур.моря}$, $T_{ВГО}$, $h_{ВГО}$, T_{11}, $Та_{850}$, $Та_{850-700}$	h_{ref}, data, $Та_{ур.моря}$, $Та_{призем}$, I_{max}, hail, $Та_{1000}$, $Та_{850-700}$, $Та_{700}$
Оптическая плотность облачного слоя	COD	<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, faza, (T_{11}-T_{12})	$Та_{ур.моря}$
Оптическая толщина облачного слоя	COT	<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_{11}-T_{12}), $Та_{ур.моря}$, data	
Эффективный радиус облачных частиц (мкм)	R_{eff}	<5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35, >35	cltyp, I_{max}, faza, COD	-
Обледенение	icing	без обледенения, слабое, умеренное, сильное	W_{max}, I_{max}, $h_{НГО}$, prtyp, $p_{ур.моря}$, $Та_{ур.моря}$, $T_{ВГО}$, $Та_{приз-}$	$ph_{ВГО}$
Высота верхней и нижней границ обледенения (км) каждой интенсивности	ВГ, НГ	<1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8, >8	$ph_{ВГО}$, $h_{НГО}$, $p_{ур.моря}$, $Та_{ур.моря}$, h_{ref}, φ	-
Суточные суммы осадков	$ΣI_{сут}$	точные значения	I_{max}	
Месячные суммы осадков	$ΣI_{мес}$	точные значения	$ΣI_{сут}$	

Таблица 2. *Краткое описание классов облачности, выделяемых КПМ по информации МСУ-МР/Метеор для региона «Западная Сибирь» (выборка 2017-2018 гг.)*

класс облачности	*Ci,Cs*	*Cu,Sc*	*Cb inc.*	*Cb calv*	*Ns,Cb*	*Cb cap*	*Cb+Ci*	*Ac,Cu*	*As*	*low+As*	*med+Ci*	*St*	*CsAsNs*
повторяемость обл. класса, %	0,3	12,0	0,5	5,6	9,6	5,8	11,4	4,8	11,4	24,7	0,6	8,6	4,7
основные формы облачности	Ci, Cs, Cc, As trans.	Cu hum., Cu med., Cu cong., Ac cuf., Sc, St und.	Cb inc. (начало распада)	Cb calv., Cu cong.	Ns, Frnb., Cb hum., St fr., Cu fr.	Cb cap. (макс. развитие)	Cb, Ns, Cu, Sc, Cu cong. + Ci, Cs, As	Ac, Cc, Cu hum., Sc trans., As und., St und.	As, Ac und., St, Ci sp., Cs neb.	Sc, Ns, Cu, Cb, St +As, Ac	Ac, As Cu hum. +Ci, Cs, As	St, As neb., Sc, Cu fr., Ac, Cu hum.	Cs+As+Ns, Cb, St
$T_{ВГО}$, К (сред., (мин.-макс.))	244 (194-267)	256 (224-286)	229 (190-249)	250 (227-276)	252 (224-278)	236 (191-263)	239 (194-268)	259 (225-289)	254 (215-284)	248 (220-278)	241 (194-267)	255 (227-299)	242 (197-267)
$H_{ВГО}$, км (сред., (мин.-макс.))	5,5 (3,8-11,0)	3,5 (1,8-6,2)	9,5 (6,4-14,8)	5,0 (3,5-6,2)	4,2 (2,9-6,2)	7,8 (5,7-14,7)	6,3 (4,1-12,9)	3,7 (1,8-6,2)	3,5 (1,6-6,2)	3,9 (1,8-6,1)	5,3 (3,8-11,3)	1,9 (≤4,7)	6,1 (4,0-12,0)
$H_{НГО}$, км (преобладает, (диапазон))	≥5 (≥3)	≤1,5 (≤3)	≤1,5	≤1,5	≤1,5	≤1,5	≤1,5	1,5-3 (≤5)	1,5-3 (≤5)	≤3 (≤5)	3-5 (любая)	≤1,5 (≤3)	≤3 (≤5)
dH, км (сред., (мин.-макс.))	0,46 (≤3)	2,30 (≤5)	8,14 (≥4)	3,84 (2-5)	3,04 (1-5)	6,58 (≥4)	5,02 (1-10)	0,57 (≤4)	0,48 (≤4)	2,28 (≤5)	1,16 (≤5)	0,71 (≤2)	4,51 (≤9)
COD (сред., (мин.-макс.))	2,5 (≤5)	23,2 (15-40)	57,2 (≥40)	36,7 (30-50)	29,8 (25-40)	51,7 (≥40)	37,7 (25-60)	4,2 (≤10)	2,8 (≤10)	22,2 (10-40)	2,7 (≤10)	8,6 (≤30)	30,4 (15-50)
COT (сред., (мин.-макс.))	2,5 (≤10)	36,6 (≤100)	269,1 (≥100)	87,3 (40-200)	60,0 (10-150)	199,7 (≥100)	111,6 (10-400)	2,9 (≤20)	2,8 (≤20)	35,5 (≤150)	3,2 (≤30)	7,6 (≤75)	87,0 (≤250)
R_{eff}, мкм (сред., (мин.-макс.))	26,7 (5-10, ≥35)	14,4 (5-25)	33,5 (≥25)	23,2 (5-30)	18,9 (5-25)	30,8 (≥15)	23,7 (15-35)	7,4 (≤10, ≥35)	19,2 (≤10, ≥35)	14,1 (5-25)	31,6 (5-10, ≥30)	16,1 (≤20, ≥30)	19,1 (5-30)
W_{max}, г/м³ (сред., (мин.-макс.))	0,05 (≤0,1)	0,25 (0,1-0,5)	4,69 (≥1)	0,75 (0,5-3)	0,40 (0,3-0,5)	2,93 (≥1)	0,77 (0,3-3)	0,06 (≤0,2)	0,06 (≤0,2)	0,28 (0,1-1)	0,15 (0,1-0,2)	0,09 (≤0,3)	0,51 (0,2-1)
SW, кг/м² (сред., (мин.-макс.))	0,05 (≤0,5)	0,36 (≤1)	20,02 (≥2,5)	1,75 (0,5-7,5)	0,75 (≤2,5)	9,97 (≥2,5)	2,24 (≤15)	0,08 (≤0,5)	0,08 (≤0,5)	0,47 (≤2,5)	0,22 (≤1)	0,10 (≤0,5)	1,65 (≤7,5)
I_{max}, мм/ч (сред., (макс.))	0	1,4 (≤8)	33,7 (≥1)	5,8 (≤15)	3,1 (≤8)	19,1 (≥1)	6,4 (≤25)	0,5 (≤1)	0,5 (≤1)	1,4 (≤8)	0,5 (≤1)	0,5 (≤3)	2,6 (≤15)
POP, %	0	90	100	~100	99	100	~100	8	8	80	3	9	97
prtyp ***(наиболее вероятны)***	-	**слаб., умер. снег, слаб. дождь, морось,** сн. крупа	**умер.,** сил. снег, слаб, умер., **сил. дождь, ливень**, сн. крупа, **град**	**умер., сил. снег,** слаб., **умер., сил. дождь, сн. крупа**	слаб., **умер.,** сил. снег, морось, **слаб., умер. дождь, сн. крупа**	умер., **сил.** снег, слаб, умер., **сил. дождь, ливень, сн. крупа, град**,	слаб., **умер., сил. снег,** морось, слаб, **умер., сил. дождь,** ливень, **сн. крупа**	**слаб. снег,** морось, **слаб. дождь**	**слаб. снег, морось**	**слаб., умер., снег, морось, слаб.,** умер. дождь, сн. крупа	слаб. снег, **морось**	слаб. снег, **морось**	слаб., **умер., сил.** снег, **слаб., умер.,** сил. дождь, **сн. крупа**
faza на ВГО ***(преобладает)***	**ice,** i>w	ice, **i>w, w>i,** wat	**ice**	**ice**, i>w, w>i, wat	**ice, i>w,** w>i, wat	**ice,** i>w	**ice,** i>w	ice, **i>w, w>i,** wat	**ice, i>w,** w>i, wat	**ice, i>w,** w>i, wat	**ice,** i>w	**ice, i>w, w>i, wat**	**ice, i>w**
гроза	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
град в облаках	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
обледенение ***(преобладает.)***	**б/обл.**	б/обл., **слаб., умер.**	слаб., умер., **сил.**	б/обл., слаб., умер., **сил.**	б/обл, слаб., **умер.**	слаб., умер., **сил.**	слаб., **умер., сил.**	**б/обл.,** слаб.	**б/обл.,** слаб.	б/обл., **слаб., умер.,** сил.	**слаб.**	**б/обл., слаб.**	**слаб., умер., сил.**

Примечание. ice – кристаллические, i>w – смешанные, кристаллическая фаза преобладает, w>i – смешанные, жидко-капельная фаза преобладает, wat – жидко-капельные, сн. – снег, сил. – сильный, умер. – умеренный, слаб. – слабый, сн.крупа – снежная крупа, POP – вероятность выпадения осадков из облаков, б/обл. – без обледенения

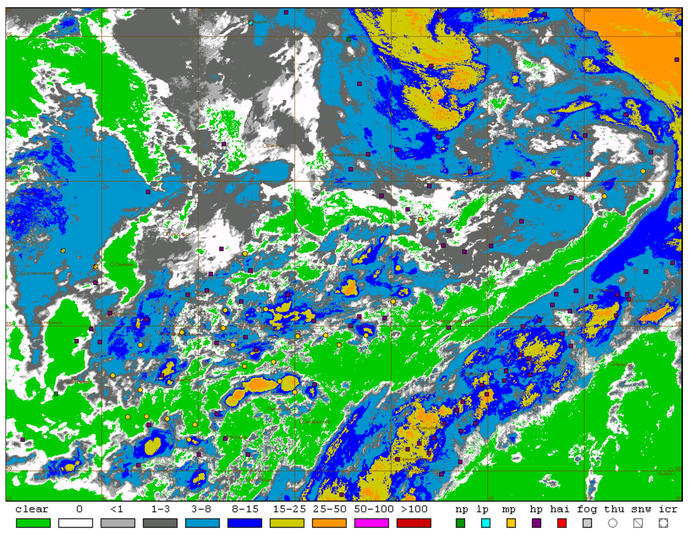

Рис. 3. Максимальная мгновенная интенсивность осадков (10.06.2017 г., 14:58 ВСВ). Дополнительно нанесены результаты наземных наблюдений за погодой в срок наблюдения и в последний час на метеостанциях (10.06.2017 г., 15 ч ВСВ). Обозначения: clear – безоблачно, np – без осадков, lp – слабые осадки, mp – осадки умеренной интенсивности, hp – сильные осадки, hai – град, fog – туман, thu – гроза, snw – снег, icr – ледяной дождь

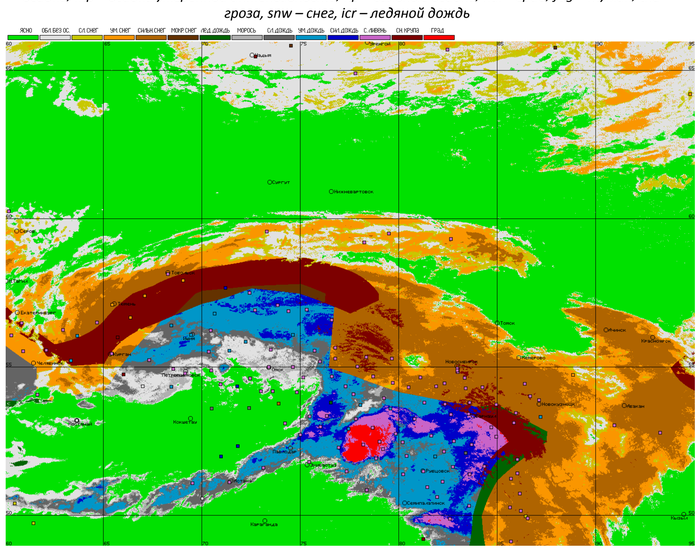

Рис. 4. Валидация определения типа осадков у поверхности земли по данным МСУ-МР/Метеор (4.05.2018 г., 14:49 ч ВСВ) данными наземных наблюдений на метеостанциях за погодой в срок наблюдения и в последний час (4.05.2018 г., 15 ч ВСВ). Значками в тех же цветах показаны наземные наблюдения за типом осадков.

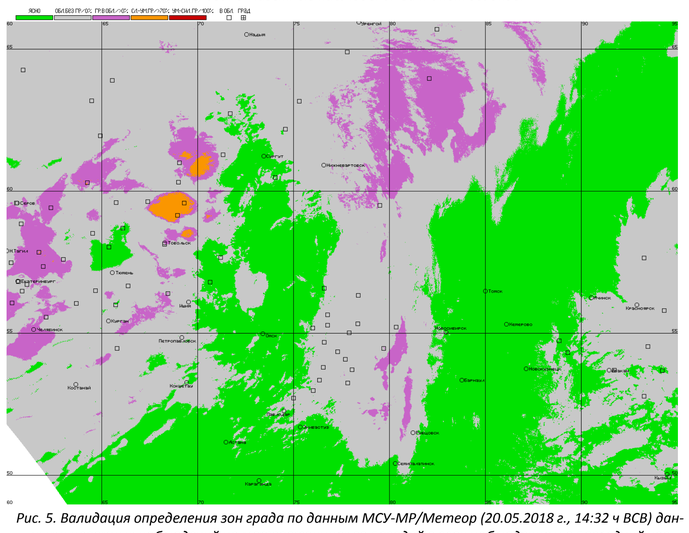

Рис. 5. Валидация определения зон града по данным МСУ-МР/Метеор (20.05.2018 г., 14:32 ч ВСВ) данными наземных наблюдений на метеостанциях за погодой в срок наблюдения и в последний час (20.05.2018 г. 15 ч ГВ). Значками показаны наземные наблюдения: «град в облаках» и «град/крупа у поверхности земли»

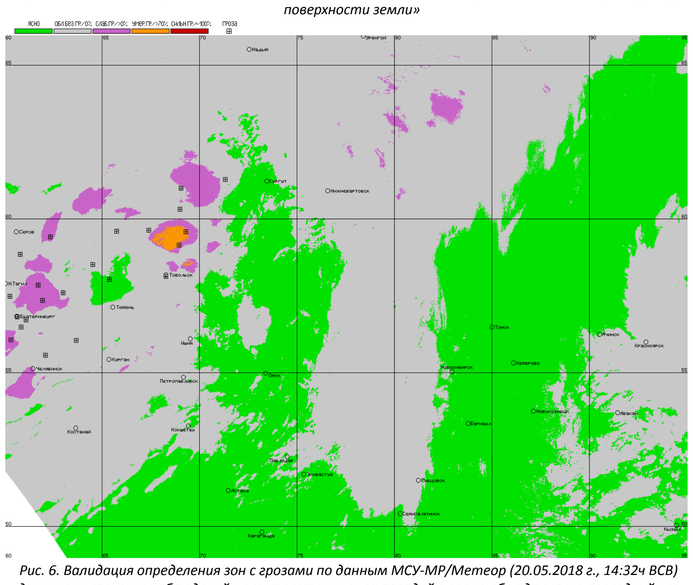

Рис. 6. Валидация определения зон с грозами по данным МСУ-МР/Метеор (20.05.2018 г., 14:32ч ВСВ) данными наземных наблюдений на метеостанциях за погодой в срок наблюдения и в последний час (20.05.2018 г., 15 ч ВСВ). Значками показаны наземные наблюдения «гроза»

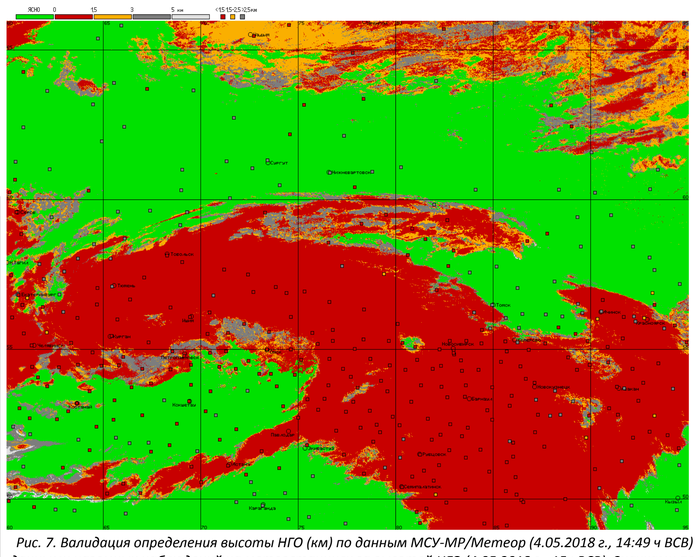

Рис. 7. Валидация определения высоты НГО (км) по данным МСУ-МР/Метеор (4.05.2018 г., 14:49 ч ВСВ) данными наземных наблюдений на метеостанциях за высотой НГО (4.05.2018 г., 15ч ВСВ). Значками показаны наземные наблюдения за высотой НГО (км)

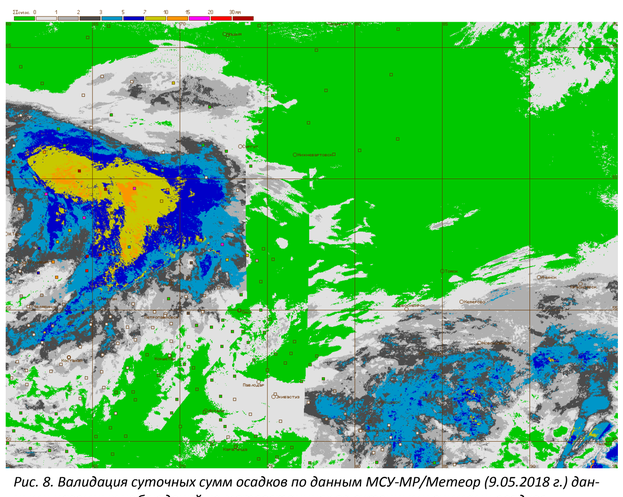

Рис. 8. Валидация суточных сумм осадков по данным МСУ-МР/Метеор (9.05.2018 г.) данными наземных наблюдений на метеостанциях за суточными суммами осадков (9.05.2018 г.). Значками в тех же цветах показаны наземные наблюдения за суточными суммами осадков

Таблица 3. *Требования к точности и точность работы КПМ при определении параметров облачного покрова, осадков и ОЯП для региона «Западная Сибирь»*

параметр облачности	*характеристика точности*	*требования к точности*	*КПМ (по МСУ-МР/ Метеор)*	*зарубежные методики (по AVHRR/NOAA)****
КОО	dev, окт.	±1**	-0,2 (-0,6- 0,5)	1,4 (1,2-1,6)
	СКО, окт	2**	2,7 (2,2-3,2)	2,1-3,2
	HR, %	80-90*	59 (56-64)	70 (40-90)
$H_{ВГО}$	dev, м	±500-1800**	±500-3000	-5180-620
dH	dev, м	±100-1000*	±500-2000	не определяется
$pH_{ВГО}$	dev, гПа	±80-150**	±50-100	-100-180
$H_{НГО}$	dev	±1 градация*	±1 градация	не определяется
	POD, %	80-90*	55-95	
	HR, %	75-90*	80,5 (78-84)	
тип облачности	HR, %		85-90	73-93
faza	dev	±1 класс*	±1 класс	-
	HR, %	75-90*	80-90	0-90
водность	dev	±1 градация*	±1 градация	LWC
	HR, %	75-90*	80-85	
водозапас	dev	±1 градация*	±1 градация	LWP, IWP
	HR, %	75-90*	80-90	
зоны осадков	POD, %	70-80*	85 (69-95)	85-92
	FAR, %	15-35*	7,5 (5-8)	25-47
	HR, %	75-90*	82 (70-89)	-
тип осадков (3 класса)	POD, %	70-80*	8-77	не определяется
град в облаках	POD, %	80-90*	69-92	
град на земле	POD, %	70-80*	6-28	
гроза	POD, %	75-85*	51-80	
	HR, %	80-90*	89 (74-99)	
COD	dev	±1 градация*	±1 градация	-
COT	dev	10 %** или ±1 градация*	±1 градация	5-300 %
Reff	dev	±1 градация*	±1 градация	-
ΣIсут	dev, мм	0,5-10**	0,01	
ΣIмес	dev, мм	10-25 % от ΣI*	0,5	
ΣIгод	dev, мм		3,5	

*Примечание. * – критерии, предложенные автором; ** – требования пользователей к качеству информации (Волкова, 2017); *** – (Волкова, 2017)*

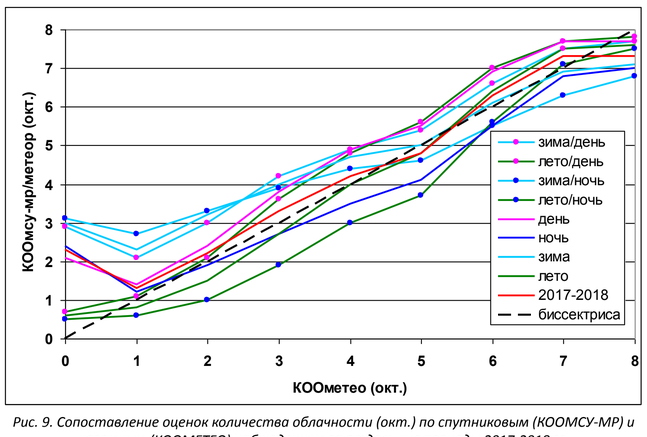

Рис. 9. Сопоставление оценок количества облачности (окт.) по спутниковым (КООМСУ-МР) и наземным (КООМЕТЕО) наблюдениям за отдельные периоды 2017-2018 гг.

Литература

Волкова Е.В. Определение параметров облачного покрова и осадков по данным МСУ-МР с полярно-орбитального метеоспутника «Метеор-М» №2 для Европейской территории России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № . С. 300-320.