

## Определение параметров облачного покрова, осадков и опасных явлений погоды по данным аппаратуры МСУ-МР с полярно-орбитальных КА серии Метеор-М для западных регионов России

Е. В. Волкова

ФГБУ «НИЦ «Планета»  
123242, Москва, Большой Предтеченский пер., д.7.  
E-mail: [quantocosa@bk.ru](mailto:quantocosa@bk.ru)

В июле 2014 г. запущен российский полярно-орбитальный космический аппарат (КА) «Метеор-М» №2, а в июле 2019 г. – КА «Метеор-М» №2-2. На обоих КА установлено многозональное сканирующее устройство малого разрешения (МСУ-МР) с шестью спектральными каналами (в диапазоне  $\lambda$  от 0,5 до 12,5 мкм), аналогичное прибору AVHRR на зарубежных КА серии NOAA и Metop. Назначение прибора МСУ-МР – широкозахватная трассовая съемка в видимом и инфракрасном участках спектра с пространственным разрешением  $\sim 1$  км в надире. По сравнению с прибором МСУ-МР/«Метеор-М» №2 у прибора МСУ-МР/«Метеор-М» №2-2 увеличен диапазон динамических температур (нижняя граница регистрируемых температур смещена с 240 К до 190 К). Информация МСУ-МР может использоваться для глобального мониторинга параметров облачного покрова, осадков и опасных явлений погоды (ОЯП), характеристик подстилающей поверхности и растительного покрова, пожаров, наводнений, состояния снежного и ледового покровов и др.

В ФГБУ «НИЦ «Планета» создан автоматизированный программный комплекс (АПК) «MSUMRexeter», предназначенный для неоперативного мониторинга макро- и микрофизических параметров облачного покрова, детектирования зон осадков разного типа и интенсивности и опасных явлений погоды, а также характеристик приземного слоя воздуха и подстилающей поверхности по данным прибора МСУ-МР КА серии «Метеор-М» для Европейской территории России и Западной Сибири (см. рис. 1).

Дешифрирование и классификация в АПК «MSUMRexeter» осуществляются попиксельно пороговым методом по косвенным признакам (используется оригинальная авторская Комплексная пороговая методика (КПМ)). В качестве предикторов для детектирования облачности используются измерения МСУ-МР радиационной температуры в каналах 4-6 ( $\lambda = 3,7$  ( $T_{37}$ ),  $10,8$  ( $T_{11}$ ) и  $12,0$  ( $T_{12}$ ) мкм), их разности ( $(T_{37}-T_{11})$  и  $(T_{11}-T_{12})$ ), а также параметры облачного покрова, осадков и ОЯП, полученные на предыдущих этапах КПМ. Значения альбедо в каналах 1 и 2 ( $\lambda = 0,6$  ( $A_{06}$ ) и  $0,85$  ( $A_{09}$ ) мкм) совместно с  $T_{11}$ ,  $T_{12}$  и  $(T_{11}-T_{12})$  применяются для расчёта характеристик подстилающей поверхности и приземного слоя воздуха. Дополнительно используются прогностические поля приземной температуры воздуха ( $T_{a\text{призем}}$ ), температуры воздуха на стандартных барических уровнях атмосферы ( $T_{a\text{ppp}}$ ) (ppp=1000, 925, 850, 700, 500, 400, 300, 250 и 200 гПа) и атмосферного давления на уровне моря ( $p_{\text{ур.моря}}$ ) (числовая прогностическая модель Exeter (Великобритания) с пространственным разрешением  $2,5^\circ$ , сроки 0 и 12 ч ВСВ), а также цифровая модель рельефа ( $h_{\text{ref}}$ ) (gtoro30). Динамические пороговые значения рассчитываются для каждого пиксела спутникового изображения с использованием оригинальных авторских эмпирических функциональных зависимостей (получены на

основе статистических и климатических данных) от  $h_{ref}$ , географической широты ( $\phi$ ), высоты солнца ( $h_0$ ), номера календарного дня от начала года ( $datd$ ),  $T_{a_{призем}}$ , температуры воздуха приведённой к уровню моря ( $T_{a_{ур.моря}}$ ) и максимальной в атмосферном столбе ( $T_{a_{max}}$ ). Значения характеристик подстилающей поверхности и растительного покрова рассчитываются по стандартным формулам, используя измерения альбедо в каналах 1 и 2 ( $\lambda = 0,6$  и  $0,9$  мкм) (см. рис. 2 и табл. 1).



*Рис. 1. Технологическая схема работы АПК «MSUMRexeter»*

Для светлого времени суток и характеристик подстилающей поверхности строятся суточные монтажи, а для параметров облачности, осадков и ОЯП – монтажи за любой промежуток времени (от 1 ч до суток) по данным одного или нескольких спутниковых приборов МСУ-МР. Суточные суммы осадков рассчитываются по оригинальной авторской методике, используя комбинированные данные нескольких приборов МСУ-МР. Месячные и годовые суммы осадков получают простым суммированием соответственно суточных и месячных сумм осадков. Также проводится автоматическая ежесуточная и ежемесячная валидация параметров облачности, осадков и ОЯП данными аналогичных наблюдений на метеостанциях и климатическими оценками и выдаётся автоматическое заключение о качестве классификации.



<i>Фазовое состояние воды в облачных частицах на ВГО</i>	faza	кристаллические, водяные, смешанные: вода>лёд, вода<лёд	$(T_{37}-T_{11})$ , $T_{ВГО}$ , data, $h_o$ , $T_{ур.моря}$
<i>Максимальная водность облачного слоя (<math>г/м^3</math>)</i>	$W_{max}$	0, 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3, 0,3-0,5, 0,5-1, 1-3, 3-5, >5	$T_{11}$ , $(T_{11}-T_{12})$ , $(T_{37}-T_{11})$ , $h_{ВГО}$ , $T_{a700-500}$ , $T_{a500}$ , $T_{a500-400}$ , $T_{a400}$ , $T_{a400-300}$ , $T_{a300}$ , $T_{aур.моря}$ , $T_{a_{max}}$ , $T_{a_{призем}}$ , $h_{ref}$ , $h_o$ , datd
<i>Тип облачности</i>	cltyp	CiCs, CuSc, Cbinc, Cbcalv, NsCb, Cbcap, low+Ci, AcCu, As, low+As, med+Ci, St, Cs+As+Ns	$T_{11}$ , $(T_{11}-T_{12})$ , $(T_{37}-T_{11})$ , $T_{ВГО}$ , $h_{ВГО}$ , $W_{max}$ , faza, datd, $h_{ref}$ , $T_{aур.моря}$ , $T_{a700}$ , $T_{a700-500}$ , $T_{a500}$ , $T_{a400}$ , $T_{a300}$ , $h_o$
<i>Стадии развития Cb</i>	Cb	облачность без Cb; некрупные Cb; мощные Cb в стадии максимального развития; мощные Cb в стадии начала распада	cltyp, $W_{max}$
<i>Высота НГО (км)</i>	$h_{НГО}$	<1,5, 1,5-3, 3-5, >5	cltyp, $W_{max}$ , $(T_{11}-T_{12})$ , $h_{ВГО}$ , $h_{ref}$ , $T_{aур.моря}$
<i>Толщина облачного слоя (км)</i>	dH	<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	$h_{НГО}$ , $h_{ВГО}$ , $h_{ref}$
<i>Водозапас облачного слоя (<math>кг/м^2</math>)</i>	SW	<0,1, 0,1-0,5, 0,5-1, 1-2, 2-5, 5-15, 15-25, >25	$W_{max}$ , $(T_{11}-T_{12})$ , $T_{a_{max}}$ , datd, dH, $T_{aур.моря}$
<i>Максимальная мгновенная интенсивность осадков (мм/ч)</i>	$I_{max}$	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, $h_{ВГО}$ , $h_{НГО}$ , $T_{a_{призем}}$ , $T_{aур.моря}$ , $(T_{11}-T_{12})$ , datd, $h_o$ , $h_{ref}$ , $T_{a_{max}}$ , $T_{a850}$ , $T_{a850-700}$ , $T_{a700}$ , $T_{a700-500}$ , $T_{a500}$ , $T_{a400}$ , $T_{a300}$ , $T_{a250}$
<i>Град</i>	hail	без града, град в облаках/слабый, умеренный, сильный град	cltyp, $W_{max}$ , SW, $T_{11}$ , $(T_{11}-T_{12})$ , $(T_{37}-T_{11})$ , $T_{ВГО}$ , $h_{ВГО}$ , datd, $h_{ref}$ , $T_{aур.моря}$ , $h_o$ , $T_{a300}$ , $T_{a250}$
<i>Гроза</i>	thund	без грозы, слабая, умеренная, сильная гроза	hail, $T_{11}$ , $(T_{11}-T_{12})$ , $W_{max}$ , SW, $T_{ВГО}$ , $h_{ВГО}$ , $h_o$ , datd, $h_{ref}$ , $T_{aур.моря}$ , $T_{a400}$ , $T_{a300}$ , $T_{a250}$
<i>Тип осадков у поверхности земли</i>	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, $T_{a_{max}}$ , $T_{a_{призем}}$ , $T_{aур.моря}$ , $T_{ВГО}$ , $h_{ВГО}$ , $T_{11}$ , $h_{ref}$ , datd, $T_{a1000}$ , $T_{a850}$ , $T_{a850-700}$ , $T_{a700}$
<i>Гололёд на поверхности земли</i>	slip	без гололеда, слабый, умеренный, сильный гололед	prtyp, $I_{max}$
<i>Оптическая плотность облачного слоя</i>	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, $(T_{11}-T_{12})$ , $T_{aур.моря}$
<i>Оптическая толщина облачного слоя</i>	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, $(T_{11}-T_{12})$ , $T_{aур.моря}$ , datd
<i>Эффективный радиус облачных частиц (мкм)</i>	$R_{eff}$	<5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35, >35	cltyp, $I_{max}$ , faza, COD
<i>Обледенение в облаках</i>	icing	без обледенения, слабое,	$W_{max}$ , $I_{max}$ , $h_{НГО}$ , prtyp,

		умеренное, сильное	$p_{ур.моря}, T_{ур.моря}, T_{ВГО}, T_{апризем}, h_{ref}, \varphi, p_{hВГО}$
Высота верхней и нижней границ слоя обледенения в облаках (км)	ВГ, НГ	<1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8, >8	$p_{hВГО}, h_{НГО}, p_{ур.моря}, T_{ур.моря}, h_{ref}, \varphi$
Суточные суммы осадков (мм)	$\Sigma I_{сут}$	точные значения	datd, $I_{max}$
Месячные суммы осадков (мм)	$\Sigma I_{мес}$	точные значения	$\Sigma I_{сут}$
Годовые суммы осадков (мм)	$\Sigma I_{год}$	точные значения	$\Sigma I_{мес}$
Индекс вегетации	NDVI	точные значения	$A_{06}, A_{09}$
Степень проективного покрытия растительностью	b	точные значения	NDVI
Излучательная способность подстилающей поверхности	e	точные значения	b или b, NDVI
Листовой индекс	LAI	точные значения	NDVI

**Примечание.**  $T_{a850}, T_{a850-700}, T_{a700-500}, T_{a500-400}, T_{a400-300}, T_{a300-250}$  – средняя между барическими уровнями температура воздуха

Был проведён анализ результатов автоматической валидации выходных продуктов АПК «MSUMRexeter», полученных по данным приборов МСУ-МР КА Метеор-М №2 и №2-2 (каждого в отдельности и суммарно по двум), результатами аналогичных наблюдений на метеостанциях и климатическими оценками с апреля 2020 г. по май 2022 г. В процессе автоматической валидации результаты наземных метеонаблюдений за количеством общей облачности (КОО), высотой нижней границы облачности ( $h_{НГО}$ ), суммами осадков и погодой (интенсивностью и типом осадков, грозой и градом) извлекаются из телеграмм SYNOP за 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 и 21 ч ВСВ (метеоданные АСООИ ГМЦ в кодах КН-01 (из БД ГМЦ России)). Вырезаются небольшие фрагменты спутниковых изображений (линейные размеры 5-15 пикселей в зависимости от валидируемого параметра) с центром в метеорологической станции и разницей по времени между спутниковым и наземным наблюдением  $|dt| \leq 20-30$  мин. Используются только те фрагменты спутникового изображения, каждый пиксел которых подвергся классификации, т.е. фрагменты без «бракованных» пикселей. В процессе валидации рассчитываются следующие характеристики точности:

- среднее, минимальное и максимальное значение величины по валидируемой (оценки по данным МСУ-МР) и контрольной (наземные метеонаблюдения) выборкам;
- $dev = testing - tested$  – среднее отклонение валидируемой (tested) оценки от контрольной (testing);
- $|dev| = |testing - tested|$  – среднее абсолютное отклонение валидируемой оценки от контрольной;
- $СКО = \sqrt{(\Sigma(testing - tested)^2 / N)}$  – среднее квадратичное отклонение валидируемой оценки от контрольной;

- $HR_{(err \leq A)}$  – вероятность (%) оценки валидируемой величины с определённой точностью (A), т.е. отношение количества случаев, когда  $|dev| \leq A$  к общему количеству случаев выборки;
- POD – (Probability of Detection) вероятность правильного детектирования класса (%), т.е. отношение количества правильно детектированных случаев к общему количеству случаев этого класса по контрольной выборке;
- HR – (Hit Rate) точность классификации или суммарное правильное детектирование всех классов характеристики (%), т.е. отношение суммарного количества случаев правильного детектирования всех классов характеристики к общему количеству случаев всей выборки.

Средние за рассматриваемый период времени оценки качества классификации приведены в табл. 2.

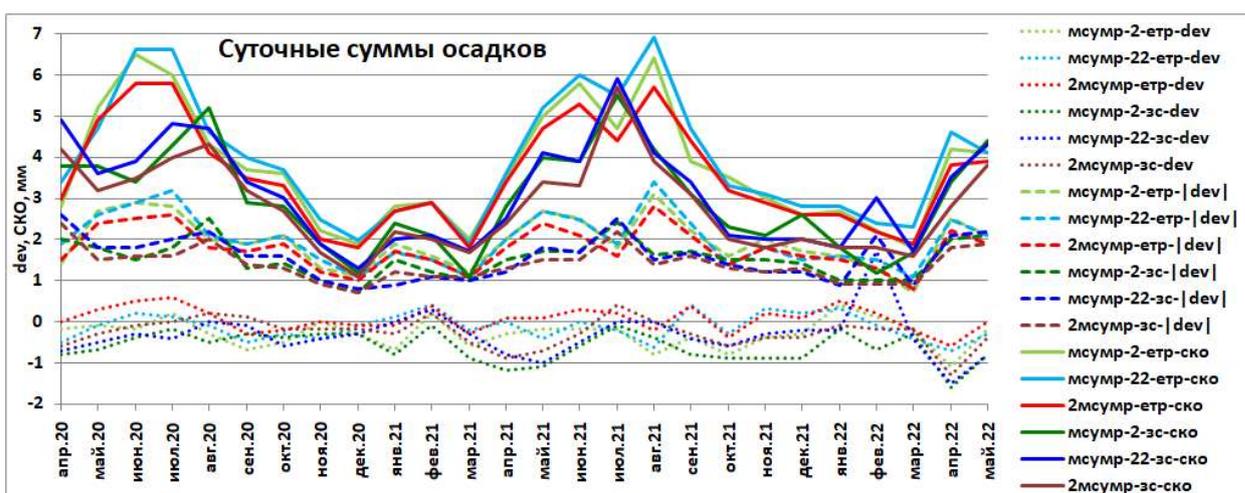
**Таблица 2.** Результаты автоматической валидации выходных продуктов АПК «MSUMRexeter» по данным приборов МСУ-МР КА Метеор-М №2 и №2-2 (по каждому отдельно (мсумр-2 и мсумр-22) и суммарно по двум (2мсумр)) наземными наблюдениями на метеостанциях для регионов «ЕТР» и «Западная Сибирь» (средние значения за период с апреля 2020 г. по май 2022 г.)

характеристики точности	ЕТР			Западная Сибирь		
	мсумр-2	мсумр-22	2мсумр	мсумр-2	мсумр-22	2мсумр
<i>dev</i> (KOO), окт.	-0,9	-1,0	-0,9	-0,7	-0,5	-0,7
$ dev $ (KOO), окт.	1,6	1,6	1,6	1,8	1,7	1,8
СКО (KOO), окт.	2,6	2,6	2,6	2,8	2,7	2,8
HR ( $err \leq 2$ окт.), %	79,3	79,2	79,4	75,3	77,3	75,7
HR(3 класса: ясно, разорв., сплош.), %	66,0	65,6	65,8	59,9	62,6	60,8
HR(2 класса: ясно, обл.), %	91,5	89,9	91,1	89,8	89,6	89,3
HR(2 класса: осадки, б/ос.), %	85,6	88,1	86,6	87,2	90,8	88,1
POD ( $I < 3$ мм/ч), %	67,6	76,9	71,0	67,0	78,8	71,0
POD ( $I = 3-10$ мм/ч), %	79,0	82,7	81,1	70,9	79,5	75,2
POD ( $I > 10$ мм/ч), %	31,6	34,3	32,4	31,3	34,7	30,6
HR(3 кл.: слаб., умер., сил. ос.), %	63,4	69,1	65,4	53,5	59,9	56,9
POD (снег), %	41,3	47,2	42,4	55,8	54,0	52,2
POD (дождь), %	60,8	61,8	61,5	56,5	59,5	58,8
POD (смешан.), %	29,9	33,0	32,4	20,2	19,1	17,1
HR (Ннго, 2 кл.: $\leq 1,5$ км, $> 1,5$ км), %	86,1	94,9	89,7	84,3	91,4	87,5
HR(2 класса: гроза, б/грозы), %	97,3	99,2	98,1	96,9	98,9	97,8
HR(2 кл.: град в обл., обл.б/града), %	73,7	79,6	76,3	58,1	67,9	63,9
<i>dev</i> ( $\Sigma I_{сут}$ ), мм	-0,3	-0,1	0,1	-0,6	-0,3	-0,3
$ dev $ ( $\Sigma I_{сут}$ ), мм	2,0	2,0	1,8	1,5	1,6	1,4
СКО ( $\Sigma I_{сут}$ ), мм	3,7	4,0	3,6	3,0	3,1	2,8
HR ( $\Sigma I_{сут}$ , $err \leq 1$ мм), %	53,1	54,6	56,4	58,4	60,5	62,8
HR ( $\Sigma I_{сут}$ , $err \leq 2,5$ мм), %	73,3	77,4	80,4	83,8	82,5	85,2
HR ( $\Sigma I_{сут}$ , $err \leq 5$ мм), %	90,2	89,8	91,9	93,4	93,0	94,7

Анализ результатов автоматической валидации выходных продуктов АПК по облачности, осадкам и ОЯП результатами наземных наблюдений на метеостанциях и климатическими оценками показал хорошее качество выходных информационных продуктов. В основном они удовлетворяют требованиям пользователей и могут быть рекомендованы к использованию в качестве дополнения к наземным метеонаблюдениям для мезомасштабного мониторинга облачного покрова и его параметров. Грубых ошибок

выявлено не было. Точность выходных продуктов немного падает в ночное время, в холодный период года (например, облачная маска), при наличии температурных инверсий, в горах и над водоёмами с большой амплитудой температур относительно окрестной суши, а также в случаях с оптически тонкой и многослойной облачностью. На качество выходных продуктов влияет дополнительная информация (анализ/прогноз Exeter). В целом, точность оценок большинства метеопараметров, полученных по данным МСУ-МР/«Метеор-М» №2-2, оказывается немного выше, чем по данным МСУ-МР/«Метеор-М» №2. Так, по информации МСУ-МР/«Метеор-М» №2-2 заметно лучше видны оптически тонкие облака (например,  $C_i$  и  $C_s$ ) как над подстилающей поверхностью, так и над более низкой облачностью, в результате, значения  $T_{ВГО}$  получаются немного ниже, а  $h_{ВГО}$  немного выше, т.е. ближе к реальным.

Суточные суммы осадков в АПК вычисляются путём определения средней за сутки интенсивности осадков ( $I_{ср,сут}$ ), которая затем умножается на эмпирический коэффициент. Поэтому, чем больше в течение суток спутниковых наблюдений, тем точнее получаются значения  $\Sigma I_{сут}$ . В результате, при использовании комбинированного способа расчёта (по данным одновременно двух приборов МСУ-МР) независимо от региона точность оценок  $\Sigma I_{сут}$  в среднем за 2 года выше, чем по каждому прибору в отдельности (см. табл. 2 и рис. 3 и 4). В среднем за 2 года независимо от способа расчёта точность оценок  $\Sigma I_{сут}$  для региона «Западная Сибирь» немного выше, чем для региона «ЕТР» (из-за большего количества сроков спутниковых наблюдений (по техническим причинам)). Среднемесячные значения  $|dev|$  и СКО имеют хорошо заметный сезонный ход для обоих регионов: с летним максимумом (т.к. интенсивность осадков и, следовательно, количество выпавших за сутки осадков обычно выше, чем зимой) и зимним минимумом (зоны осадков более протяжённые и однородные по интенсивности, а  $I$  заметно меньше, чем летом). Абсолютные максимумы (для отдельных метеостанций)  $\Sigma I_{сут}$  по данным наземных измерений обычно получаются существенно больше, чем по спутниковым оценкам (по комбинированным спутниковым данным меньше, чем по данным одного прибора).



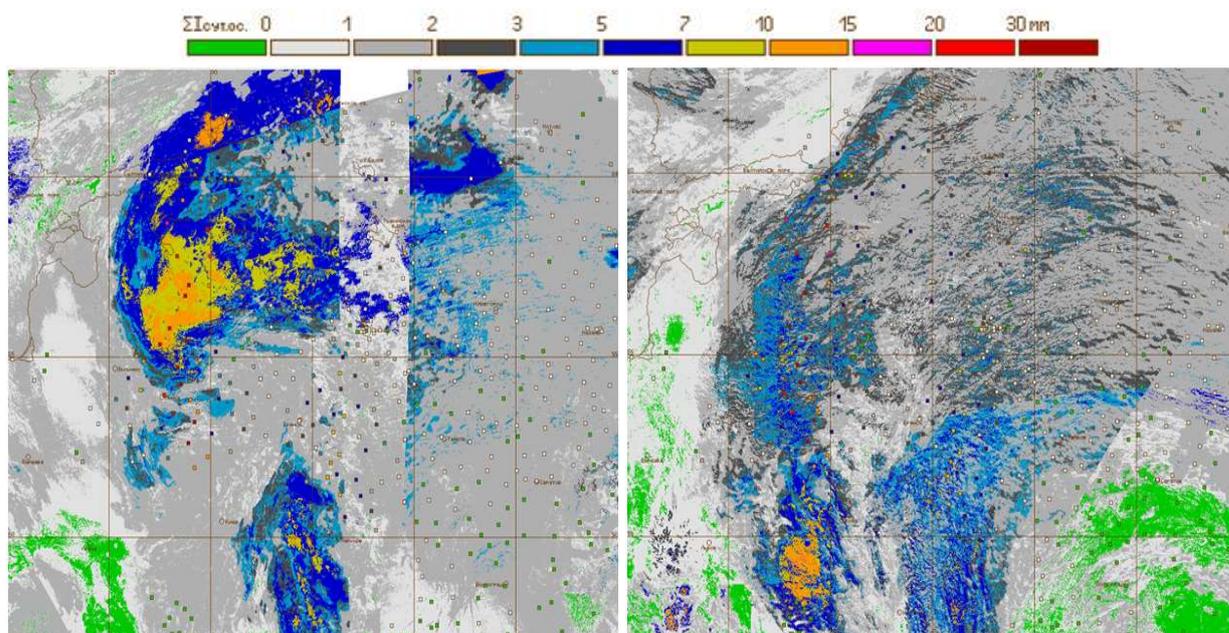
**Рис. 3.** Годовой ход среднемесячных значений  $dev$  и СКО (отклонение суточных сумм осадков по спутниковым данным от наземных измерений на метеостанциях) по данным двух приборов МСУ-МР КА Метеор-М №2 и Метеор-М №2-2 (по каждому отдельно (msump-2 и msump-22) и суммарно по двум (2msump)) для регионов «ЕТР» и «Западная Сибирь» (зс)

Дополнительно для региона «ЕТР» (46,17-50,0° с.ш., 20,0-50,0° в.д.) и отдельно для его юга – Центрально-Чернозёмного региона (ЦЧР) (регион «ЦЧР»: 49-54° с.ш. и 31-43° в.д.) за 2021 г. была проведена валидация спутниковых оценок  $\Sigma I_{\text{сут}}$ ,  $\Sigma I_{\text{мес}}$  и  $\Sigma I_{\text{год}}$  данными наземных измерений на метеостанциях и климатическими оценками. В качестве контрольных использовались: климатические данные о  $\Sigma I_{\text{год}}$ , среднегодовых  $\Sigma I_{\text{сут}}$  и др. (глобальные и для территории России и СССР); данные ВМО и Росгидромета об аномальных относительно нормы осадках за 2021 г.; данные наземных наблюдений за  $\Sigma I_{\text{сут}}$  на 43 метеостанциях, расположенных в пределах Центрально-Чернозёмного региона (ЦЧР) ЕТР (Курская, Белгородская, Липецкая, Орловская, Воронежская, Тамбовская и Брянская области) за 2021 г. Использование наземных измерений  $\Sigma I_{\text{сут}}$  на 43х метеостанциях, расположенных в пределах ЦЧР, позволило рассчитать значения  $\Sigma I_{\text{мес}}$  и  $\Sigma I_{\text{год}}$  и сравнить их с аналогичными спутниковыми оценками как «по станциям», так и «по региону» (см. рис. 5-9 и табл. 4 и 5).

Анализ полученных результатов показал, что получаемые спутниковые оценки сумм осадков комбинированным способом по данным МСУ-МР/«Метеор-М» хорошо согласуются как с наземными измерениями для «ЦЧР», так и с климатическими оценками для «ЦЧР» и «ЕТР» и могут использоваться как альтернативная замена наземным измерениям при оценках увлажнения обширных территорий.

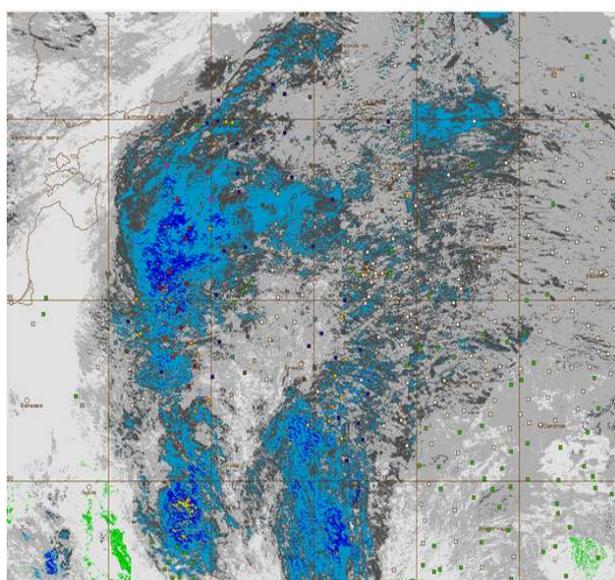
### Список литературы

1. Дроздов О.А., Васильев В.А., Кобышева Н.В., Раевский А.Н., Смекалова Л.К., Школьный Е.П. Климатология. Л.: Гидрометиздат, 1989. 568 с.
2. Мазин И.П., Хргиан А.Х. Облака и облачная атмосфера. Справочник. Л.: Гидрометиздат, 1989. 647 с.
3. Седунов Ю.С., Авдюшин С.И., Борисенков Е.П., Волковицкий О.А., Петров Н.Н., Рейтенбах Р.Г., Смирнов В.И., Черников А.А. Атмосфера. Справочник. Л.: Гидрометиздат, 1991. 510 с.
4. Трешников А.Ф. Географический энциклопедический словарь. Понятия и термины. М.: Советская энциклопедия, 1988. 432 с.
5. Хромов С.П., Мамонтова Л.И. Метеорологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 568 с.
6. Gruber A., Levizzani V. Assessments of global precipitation products. A project of the WORLD Climate Research Programme Global Energy and Water Cycle Experiment (GEMEX) Radiation Panel, WCRP-128, May 2008. WMO/TD – No.1430. 50 pp.



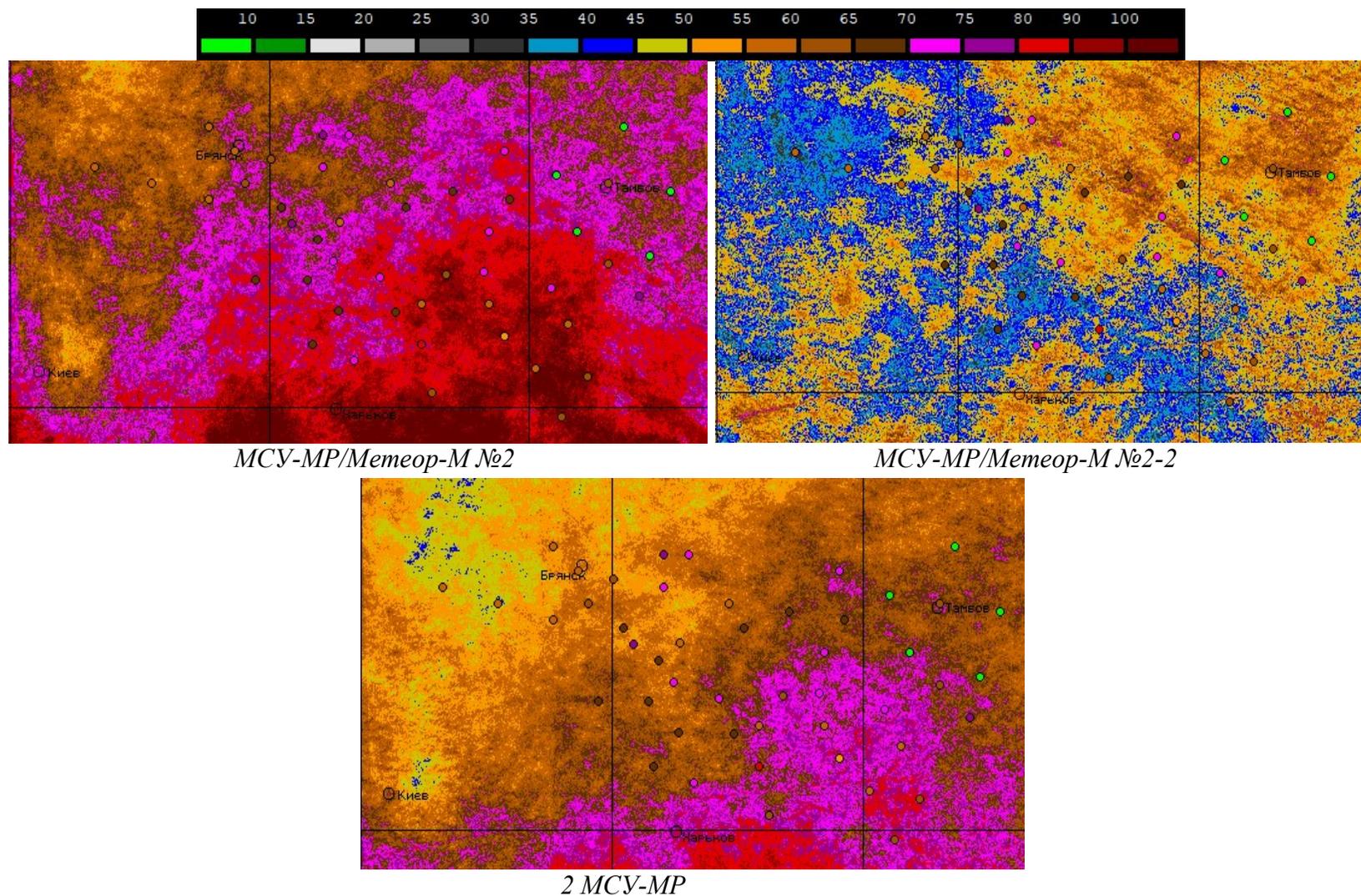
*МСУ-МР/Метеор-М №2*

*МСУ-МР/Метеор-М №2-2*

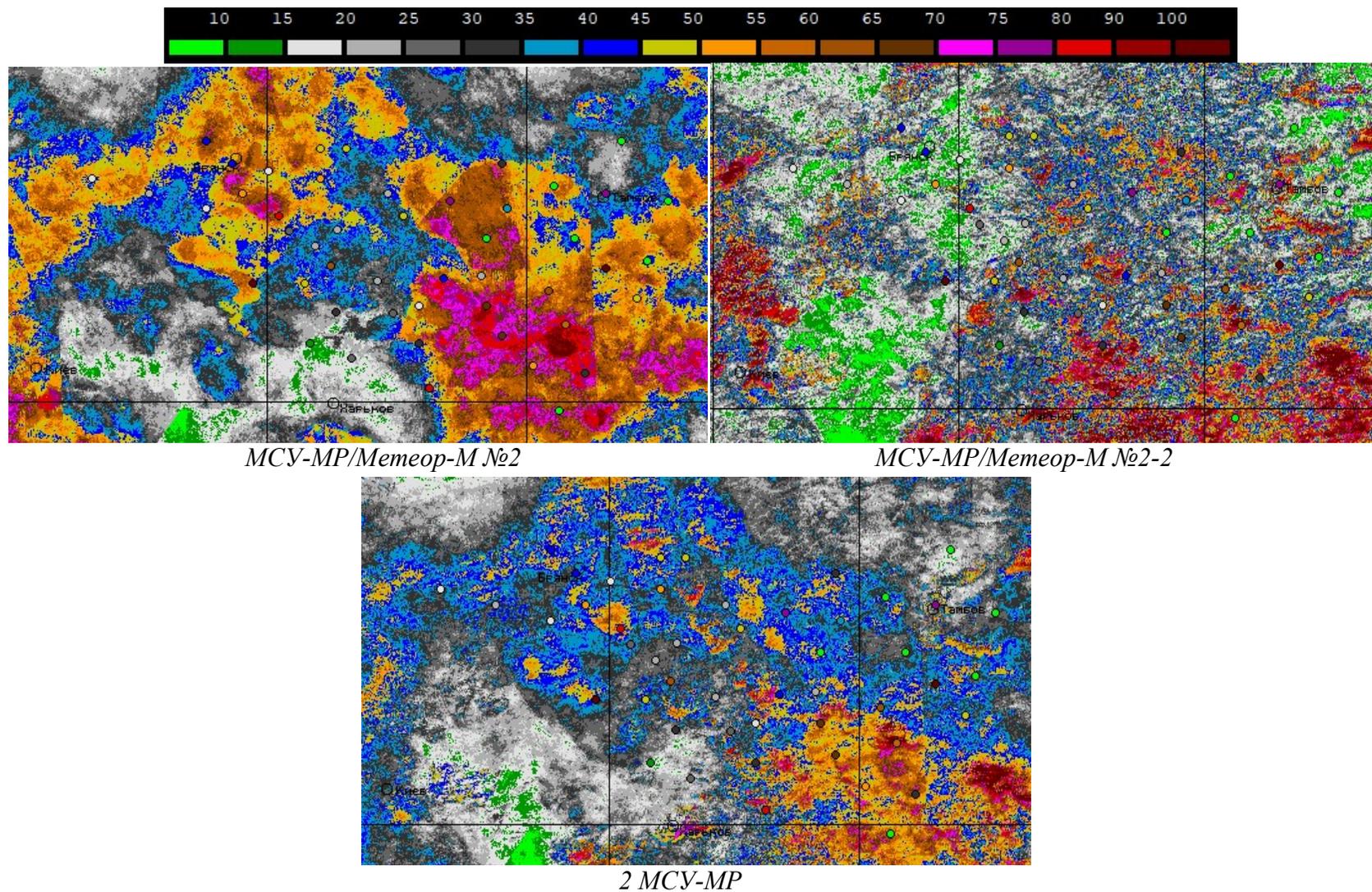


*2 МСУ-МР*

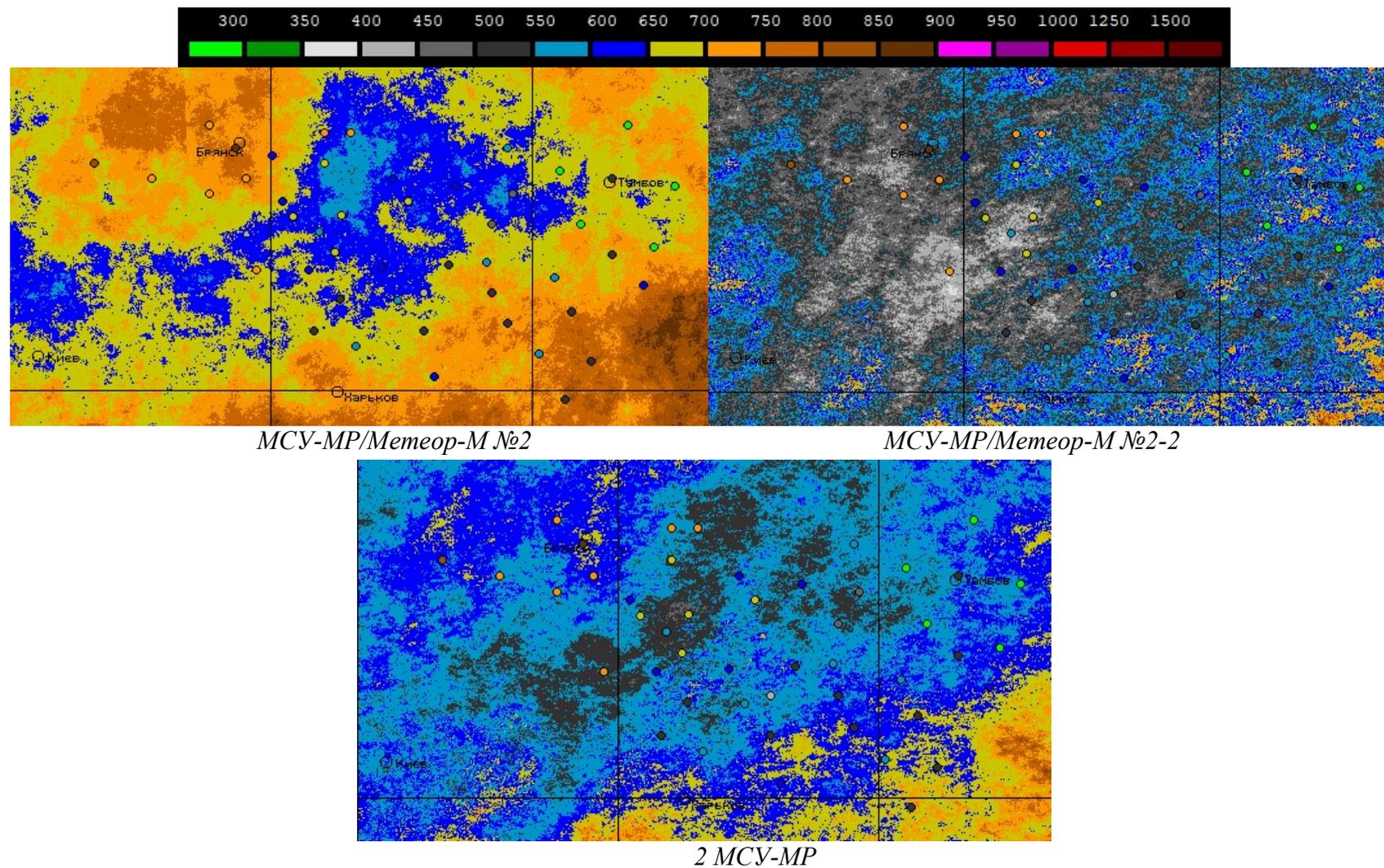
**Рис. 4.** Суточные суммы осадков по спутниковым (по данным каждого прибора МСУ-МР КА Метеор-М №2 и №2-2 и комбинированным (2 МСУ-МР)) и наземным метеонаблюдениям для региона «ЕТР», 1 января 2021 г.



**Рис. 5.** Месячные суммы осадков по спутниковым (по данным каждого прибора МСУ-МР КА Метеор-М №2 и №2-2 и комбинированным (2 МСУ-МР)) и наземным метеонаблюдениям для региона «ЦЧР», январь 2021 г.



**Рис. 6.** Месячные суммы осадков по спутниковым (по данным каждого прибора MCSU-MP КА Метеор-М №2 и №2-2 и комбинированным (2 MCSU-MP)) и наземным метеонаблюдениям для региона «ЦЧР», июль 2021 г.

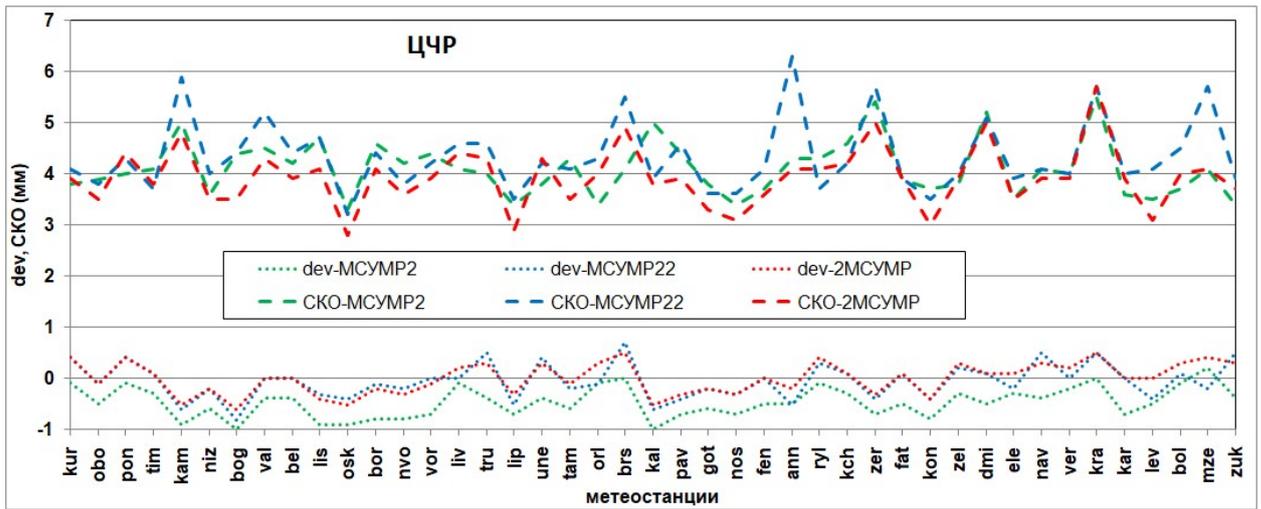


**Рис. 7.** Годовые суммы осадков по спутниковым (по данным каждого прибора MSU-MP КА Метеор-М №2 и №2-2 и комбинированным (2 MSU-MP)) и наземным метеонаблюдениям для региона «ЦФР», 2021 г.

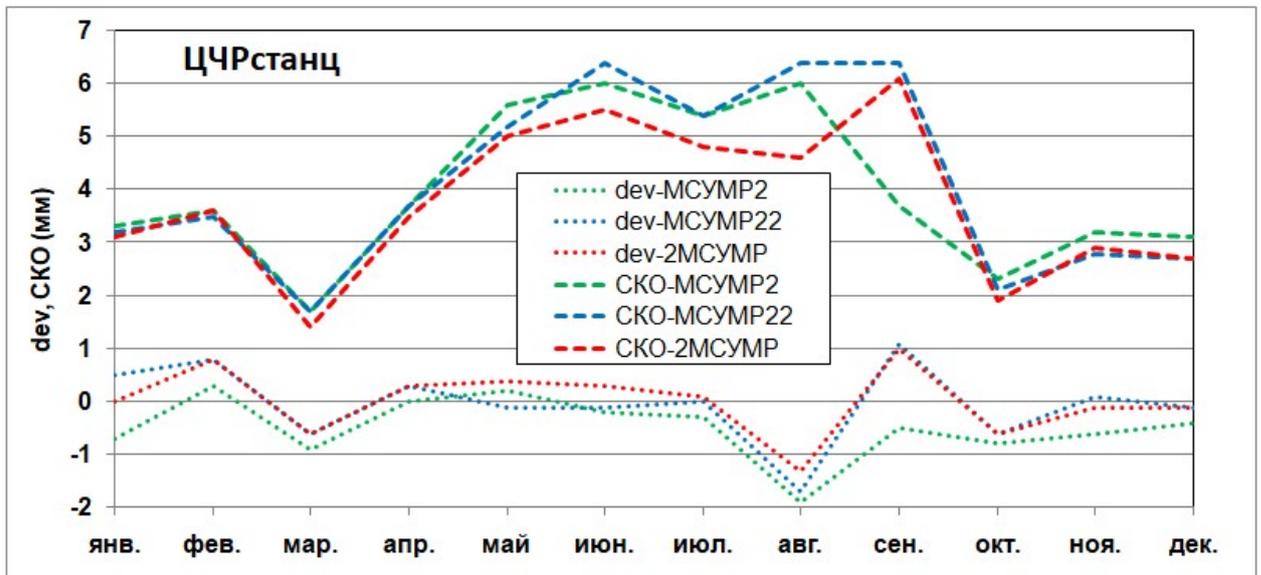
Таблица 3. Сопоставление средних за месяц оценок  $\Sigma I_{\text{сум}}$  по спутниковым (МСУ-МР/Метеор-М №2, МСУ-МР/Метеор-М №2-2, 2 прибора МСУ-МР) и наземным данным (43 метеостанции), 2021 г. (оценки выполнены по «метеостанциям» и «по региону»)

период вре- мени	по 43м метеостанциям ЦЧР												по региону					
	назем., мм				мсумр, мм				dev, мм				СКО, мм		ЦЧР		ЕТР	
	ср.	min	max	атах	ср.	min	max	атах	ср.	min	max	ср.	min	max	ср.	атах	ср.	атах
<b>МСУ-МР/Метеор-М №2</b>																		
«лето»	<b>1,66</b>	0,9	2,8	77,3	<b>2,13</b>	1,7	2,6	39,1	<b>-0,5</b>	-1,3	0,4	<b>4,8</b>	3,5	6,8	<b>2,23</b>	55,9	2,17	78,6
«зима»	<b>1,54</b>	1,2	1,9	26,3	<b>2,00</b>	1,7	2,4	15,1	<b>-0,5</b>	-1,0	0,0	<b>3,0</b>	2,1	3,6	<b>2,05</b>	32,1	1,95	32,5
год	<b>1,60</b>	1,1	2,3	77,3	<b>2,08</b>	1,7	2,5	39,1	<b>-0,5</b>	-1,0	0,2	<b>4,1</b>	3,3	5,5	<b>2,15</b>	55,9	2,07	78,6
<b>МСУ-МР/Метеор-М №2-2</b>																		
«лето»	<b>1,70</b>	1,0	2,9	77,3	<b>1,87</b>	1,4	2,6	76,9	<b>-0,2</b>	-1,4	0,9	<b>5,3</b>	3,7	8,0	<b>1,81</b>	98,6	1,90	98,6
«зима»	<b>1,51</b>	1,2	1,9	26,3	<b>1,38</b>	1,2	1,7	16,8	<b>0,1</b>	-0,4	0,7	<b>2,8</b>	2,1	3,7	<b>1,41</b>	63,3	1,40	66,3
год	<b>1,62</b>	1,2	2,4	77,3	<b>1,67</b>	1,3	2,1	76,9	<b>0,0</b>	-0,8	0,7	<b>4,4</b>	3,2	6,3	<b>1,64</b>	98,6	1,69	98,6
<b>2 прибора МСУ-МР/Метеор-М</b>																		
«лето»	<b>1,71</b>	1,0	2,9	77,3	<b>1,69</b>	1,4	2,1	38,3	<b>0,0</b>	-0,9	0,9	<b>4,6</b>	3,1	7,1	<b>1,72</b>	77,5	1,71	78,3
«зима»	<b>1,54</b>	1,2	1,9	26,3	<b>1,55</b>	1,3	1,9	13,3	<b>0,0</b>	-0,5	0,5	<b>2,8</b>	2,0	3,6	<b>1,62</b>	28,5	1,53	55,6
год	<b>1,64</b>	1,1	2,4	77,3	<b>1,63</b>	1,4	1,9	38,3	<b>0,0</b>	-0,6	0,5	<b>4,0</b>	2,8	5,7	<b>1,68</b>	77,5	1,64	78,3

Примечание. сред. – среднее значения для периода по всем метеостанциям, min – минимальное значение для периода по всем метеостанциям, max – максимальное значение для периода по всем метеостанциям, атах – абсолютный максимум «по метеостанциям» или «по региону»



**Рис. 8.** Средние за 2021 г. значения  $dev$  и  $SKO$  (отклонение спутниковых оценок  $\Sigma I_{\text{сум}}$  (по данным МСУ-МР/Метеор-М №2, МСУ-МР/Метеор-М №2-2 и 2МСУ-МР) от наземных данных) для 43х метеостанций в пределах «ЦЧР»



**Рис. 9.** Годовой ход средних за месяц средних по 43м метеостанциям в пределах «ЦЧР» значений  $dev$  и  $SKO$  (отклонение спутниковых оценок  $\Sigma I_{\text{сум}}$  (по данным МСУ-МР/Метеор-М №2, МСУ-МР/Метеор-М №2-2 и 2МСУ-МР) от наземных данных) за 2021 г.

Таблица 4. Сопоставление спутниковых (МСУ-МР/Метеор-М №2, МСУ-МР/Метеор-М №2-2, 2 прибора МСУ-МР) и наземных (43 метеостанции) оценок  $\Sigma I_{мес}$  (мм) («по метеостанциям» и «по региону») за 2021 г.

период времени	по 43м метеостанциям ЦЧР				по региону					
	сред. назем.	сред. мсумр	dev	СКО	ЦЧР			ЕТР		
					min	сред.	max	min	сред.	max
<b>МСУ-МР/Метеор-М №2</b>										
«лето»	53,9	56,4	-2,5	27,7	2,2	57,3	205,9	0,1	57,9	226,1
«зима»	46,8	57,1	-10,6	20,9	25,4	59,3	164,7	12,9	56,2	182,8
год	50,9	56,8	-5,9	24,9	2,2	58,2	205,9	0,1	57,1	226,1
<b>МСУ-МР/Метеор-М №2-2</b>										
«лето»	53,9	49,8	4,1	31,5	2,2	50,8	291,1	0,1	51,1	328,3
«зима»	46,8	36,9	9,9	16,5	10,9	38,7	128,5	6,1	36,7	133,5
год	50,9	44,4	6,5	25,3	2,2	45,8	291,1	0,1	45,1	328,3
<b>2 прибора МСУ-МР/Метеор-М</b>										
«лето»	53,9	51,2	-0,5	30,0	5,1	52,3	205,1	0,7	51,8	227,3
«зима»	46,8	46,5	0,5	16,2	23,2	48,7	109,8	10,1	45,7	139,3
год	50,9	49,3	0,0	24,3	5,1	50,8	205,1	0,7	49,3	227,3

Таблица 5. Сопоставление спутниковых (МСУ-МР/Метеор-М №2, МСУ-МР/Метеор-М №2-2, 2 прибора МСУ-МР) и наземных (43 метеостанции) оценок  $\Sigma I_{год}$  (мм) («по метеостанциям» и «по региону») за 2021 г. с климатическими оценками ([1-6]; <https://climatedataguide.ucar.edu>)

прибор	43 станц. ЦЧР			по региону						климат (диапазон) для ЕТР (ЦЧР)*
	наз.	спутн.		спутниковые						
	ср. (min-max)	ср.	dev	ЦЧР			ЕТР			
				min	ср.	max	min	ср.	max	
МСУМР-2	607	681	-74	538	704	937	314	691	1093	100-2000 (400-700)
МСУМР-22	(405-	533	74	352	549	958	271	541	966	
2 МСУМР	877)	591	16	460	610	908	294	591	932	