

УДК 551.501.777(575.2-17)

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СУММ ОСАДКОВ ДЛЯ АЭРОДРОМА “МАНАС”
ПО СПУТНИКОВЫМ И НАЗЕМНЫМ ДАННЫМ ЗА ПЕРИОД 1998–2017 гг.**

И.А. Павлова, М.О. Рыскаль

Приведены результаты сравнительной оценки фактических наземных сумм осадков и сумм осадков, полученных по данным дистанционного зондирования со спутников TRMM и GPM для международного аэродрома “Манас”. Исходные наземные данные были получены по регулярным измерениям при помощи осадкомера Третьякова с октября 1998 г. по декабрь 2017 г. Осадки дистанционного зондирования представлены двумя типами моделей: модель TMPA-3B43 (1998–2015 гг.) и модель 3IMERGM-V05 (2014–2017 гг.). Результаты оценки показали, что осадки обоих спутниковых продуктов имеют хорошее согласование с наземными данными и могут быть использованы для различных прикладных задач. Приведены также статистические характеристики осадков для аэродрома “Манас” по данным наземных измерений, полученные за 20-летний период.

Ключевые слова: Кыргызстан; аэродром “Манас”; осадки; спутниковые и наземные данные.

**“МАНАС” АЭРОДРОМУ ҮЧҮН 1998-2017-ЖЫЛДАР АРАЛЫГЫНДА
СПУТНИКТИК ЖАНА ЖЕРДЕГИ МААЛЫМАТТАР БОЮНЧА
ЖААН-ЧАЧЫНДАРДЫН СУММАСЫН САЛЫШТЫРМАЛУУ БААЛОО**

И.А. Павлова, М.О. Рыскаль

Бул эмгекте “Манас” эл аралык аэродрому үчүн TRMM жана GPM спутниктеринен аралыктан алынган маалыматтар боюнча жаан-чачындардын суммасын иш жүзүндөгү жердеги жаан-чачындардын суммасына салыштырып баалоонун жыйынтыктары келтирилген. 1998-жылдан тартып 2017-жылдын декабрына чейин жердеги баштапкы маалыматтар Третьякова жаан-чачындарды өлчөгүчтүн жардамы менен туруктуу өлчөө аркылуу алынып турган. Жаан-чачындарды аралыктан өлчөө 2 типтеги модель менен берилген: TMPA-3B43 (1998–2015-жж.) модели жана 3IMERGM-V05 (2014–2017-жж.) модели. Баалоонун жыйынтыгы эки спутниктик продуктынын жаан-чачындары жердеги маалыматтар менен жакшы шайкештикке ээ экендиги жана ар кандай прикладдык милдеттер үчүн колдонууга мүмкүндүгүн көрсөттү. Ошондой эле бул эмгекте “Манас” аэродрому үчүн 20 жылдык мезгилде алынган жаан-чачындардын жердеги өлчөө маалыматтары боюнча статистикалык мүнөздөмөлөрү көрсөтүлдү.

Түйүндүү сөздөр: Кыргызстан; “Манас” аэродрому; жаан-чачындар; спутниктик жана жерден алынган маалыматтар.

**VALIDATION OF PRECIPITATION AMOUNTS FOR “MANAS” AERODROME
BY SATELLITE AND SURFACE DATA FOR THE PERIOD 1998–2017**

I.A. Pavlova, M.O. Ryskal

The article presents the results of a comparative assessment of the actual ground amounts of precipitation and the amounts of precipitation obtained from remote sensing data from the TRMM and GPM satellites for the Manas international airport. Ground data was obtained from regular measurements using a Tretyakov gauge from October 1998 to December 2017. Remote sensing precipitations are represented by two types of models – the TMPA-3B43 model (1998–2015) and the 3IMERGM-V05 model (2014–2017). The results of the evaluation showed that the precipitation of both satellite products are in good agreement with the surface data and can be used for various applications. The paper also presents the statistical precipitation characteristics obtained for the Manas airfield from a ground-based measurement obtained over a 20 year period.

Keywords: Kyrgyzstan; Manas airfield; precipitation; satellite and surface data.

Введение. Привлечение дистанционных данных со спутников с целью повышения качества анализа пространственно-временного распределения осадков, особенно над районами с редкой метеорологической наблюдательной сетью, продолжает оставаться актуальным. Горная орографически сложная территория Кыргызстана имеет неравномерное распределение осадкомеров, которые, в основном, сосредоточены в подгорной равнине и предгорной зоне. Этого недостаточно для репрезентативной оценки поля осадков по данной территории. Основная проблема использования спутниковых данных заключается в валидации (или проверке соответствия) спутниковых данных с наземными. Валидация этих данных необходима для того чтобы численно определить точность вычислительной модели, и установить возможность ее использования для конкретного региона. Многочисленные работы по валидации и сравнению продукта модели (TMPA) и наземными наблюдениями были проведены как в региональном [1–6], так и в глобальном масштабе [7]. Заметно меньшее количество работ было проведено по валидации спутниковых данных над орографически сложными регионами по сравнению с изучением осадков над равнинной территорией и океаном. Осадки над горным регионом очень сложны по своей природе и зависят от большого количества факторов, поэтому и их изучение требует более специфичного подхода [3–5]. Над районами Кыргызстана результаты валидации спутниковых и наземных данных по осадкам для решения вопроса о возможности их различного прикладного использования были показаны в работах [6, 8–10].

Основной целью настоящего исследования является валидация двух продуктов дистанционного зондирования – модели TMPA-3B43 (спутник TRMM и др.), а также модели 3IMERGM (спутник GPM) на примере длительного ряда (20 лет) наблюдений на аэродроме “Манас”. В предыдущих работах [6, 8–10] по Кыргызстану для валидации использовался более короткий ряд наблюдений (1998–2007 гг.) и только одна модель – TMPA-3B43. В работе также получены основные статистические характеристики месячных, сезонных и годовых сумм осадков по наземным данным на аэродроме “Манас”. Эта климатологическая информация по осадкам будет очень

полезна для использования различными организациями гражданской авиации, а также климатологам и другим потребителям, использующим информацию по осадкам в различных целях. До настоящего времени информация по осадкам (средние многолетние значения месячных и годовых сумм осадков) по району аэродрома “Манас” была приведена только в работе [11] за 5-летний период наблюдений (1987–1992 гг.).

Исходные данные и методика исследования. В настоящей работе проанализированы характеристики режима осадков по наземным данным аэродрома “Манас” за период 1998–2017 гг. и по двум спутниковым моделям: TMPA-3B43-V6 за период 1998–2014 гг. и 3IMERGM-V05 – за период 2015–2017 гг. Данные спутниковых моделей представляют собой сумму осадков за месяц, по модели TMPA-3B43 они были взяты с сайта НАСА [12], а по модели 3IMERGM-V05 – с сайта [13]. Модель TMPA (Tropical Rainfall Measuring Mission Multi-satellite Precipitation Analysis)-3B43 (спутник TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission – Миссия по измерению осадков в тропиках) и др.) – это мультиспутниковая модель по анализу осадков в тропиках. Как уже было показано в [8, 9, 10] между данными модели TMPA-3B43 и наземными наблюдениями прослеживается достаточно хорошая связь, особенно для Северного и Северо-Западного Кыргызстана (ССЗК). Однако в 2015 г. закончился срок эксплуатации спутника TRMM и взамен ему на орбиту был запущен спутник GPM (Global Precipitation Measurements – Глобальное измерение осадков) – доработанная и улучшенная версия TRMM. Главное преимущество GPM по сравнению с TRMM заключается в дополнительном канале измерения Ku-band [3], данные которого нашли применение в новой спутниковой модели GPM 3IMERGM-V05. В качестве примера по валидации новой модели были использованы наземные данные по осадкам аэродрома “Манас”. Месячные суммы осадков по аэродрому “Манас” получены из суточных данных регулярных измерений при помощи осадкомера Третьякова.

Международный аэродром “Манас” расположен в 23 км к северо-западу от г. Бишкек. В климатическом отношении этот район относится к ССЗК.

По наземным данным были рассчитаны основные статистические характеристики сумм

Таблица 1 – Рассчитанные абсолютные (СКО $S_{\Delta R}$ (мм)) и относительные (СКО_{отн.} $S_{\Delta R(\%)}$) значения среднеквадратических ошибок для сезонных и годовых сумм осадков по спутниковым (TMPA и 3IMERGM) и наземным данным

Сезон	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
TMPA $S_{\Delta R}$ ($S_{\Delta R(\%)}$)	15 (15 %)	26 (15 %)	16 (30 %)	19 (17 %)	38 (9 %)
3IMERGM $S_{\Delta R}$ ($S_{\Delta R(\%)}$)	6 (6 %)	17 (10 %)	15 (27 %)	5 (5 %)	17 (4 %)

осадков по месяцам, сезонам года и в целом для года: средняя сумма осадков – \bar{R} , среднеквадратическое отклонение – СКО – , коэффициент вариации и их стандартные ошибки δ . Также из всего ряда были выбраны: абсолютные максимальное R_{max} и минимальное $R_{мин}$ количество осадков, абсолютный суточный максимум осадков $R_{сут.макс}$.

Для сравнительного анализа спутниковых и наземных данных использовали предложенный ранее в работе [9] метод расчёта абсолютных и относительных СКО разности данных, а также метод корреляционно-регрессионного анализа. Спутниковые точки для сравнительного анализа были подобраны по методике, приведенной в работе [14].

Метод расчёта абсолютных и относительных СКО разности данных. Обозначим текущие годовые/сезонные суммы осадков, полученные для каждой станции по спутниковым данным, через $R_{i(сп)}$, а по наземным данным через $R_{i(наз)}$. Тогда их разность ΔR_i будет представлять собой величину расхождения или ошибку спутниковых данных за i -год, сезон:

$$\Delta R_i (\text{мм}) = R_{i(сп)} (\text{мм}) - R_{i(наз)} (\text{мм}). \quad (1)$$

По массивам ΔR_i (мм) найдем значения средних квадратических ошибок спутниковых данных (СКО) на каждой станции, обозначив их через $S_{\Delta R}$, по общеизвестной формуле:

$$СКО = S_{\Delta R} = ((\sum \Delta R_i^2) / (n-1))^{0.5}, \quad (2)$$

где $S_{\Delta R}$ в мм, а суммирование выполняется по всем случаям i на станции, равным использованному массиву данных n .

Для анализа степени согласования требуется также вычислить дополнительно относительные значения ошибок (СКО_{отн.} в %), равные отношению СКО (мм) к годовым/сезонным нормам осадков в мм, которые представляют собой средние за годы наблюдений значения осадков:

$$СКО_{отн.} (\%) = S_{\Delta R(\%)} = (СКО / норма) * 100\%. \quad (3)$$

Относительные значения средних квадратических ошибок СКО_{отн.} обладают высо-

кой наглядностью при статистическом анализе и широко используются на практике, так как они нормированы значениями самой измеряемой величины, в данном случае годовыми или сезонными нормами осадков.

При использовании метода корреляционно-регрессионного анализа по уравнениям регрессии вида: $y(\text{наз., мм}) = b_0 + b_1 * x(\text{сп., мм}) \pm s$, находили следующие параметры: угловой коэффициент – b_1 , остаточный член – b_0 , абсолютная – S (мм) и относительная – S (%) средняя квадратическая ошибка регрессии, n – объем выборки. Также определялась сила связи – коэффициент корреляции – r , и оценивалась значимость каждого уравнения регрессии на уровне доверительной вероятности 0,90 и 0,95.

Обсуждение результатов исследований.

Сравнительный анализ спутниковых и наземных данных. В качестве меры расхождений спутниковых и наземных данных использовали средние квадратические ошибки (СКО $S_{\Delta R}$) в оценках осадков, представленные их абсолютными и относительными значениями (таблица 1).

Для годовых сумм осадков по модели TMPA абсолютное значение $S_{\Delta R} = 38$ мм, что дает его относительное значение $S_{\Delta R(\%)} = 9$ % (таблица 1). По данным [8] для аэродрома “Манас”, где использовался более короткий период наблюдений, $S_{\Delta R(\%)}$ для годовых сумм осадков составило 15 %. Как первый, так и второй результат соответствуют высокому качеству согласования спутниковых и наземных данных, согласно предложенной авторами оценки в [8]: 1) высокое качество СКО_{отн.} = 0–15 %, 2) хорошее качество СКО_{отн.} = 16–25 %, 3) удовлетворительное качество СКО_{отн.} = 26–50 %, 4) неудовлетворительное качество СКО_{отн.} ≥ 51 %. По сезонам для TMPA значение $S_{\Delta R(\%)}$ меняется от 15 до 30 %, т. е. качество согласования – от высокого до удовлетворительного. Для модели 3IMERGM наблюдаются более низкие значения $S_{\Delta R(\%)}$: для года – 4 %, по сезонам – от 6 до 27 %. По обеим моделям

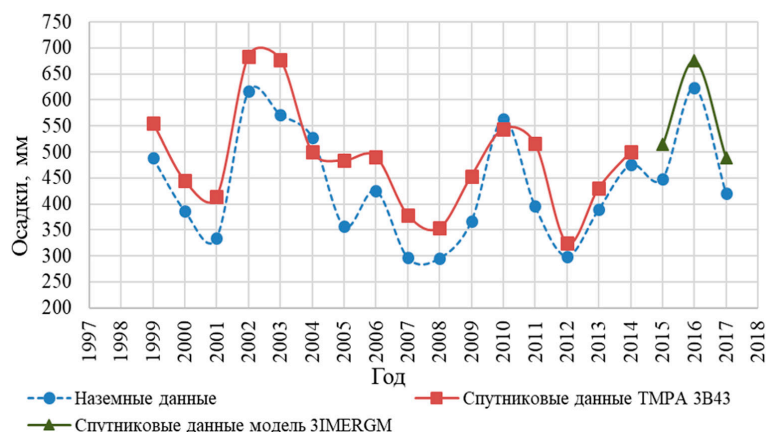


Рисунок 1 – Годовые суммы осадков по моделям TMPA (1999–2014 гг.), ZIMERGM (2015–2017 гг.) и по наземным наблюдениям на аэродроме “Манас” (1999–2017 гг.)

Таблица 2 – Характеристики уравнений регрессии и коэффициент корреляции для годовых и сезонных сумм осадков по спутниковым (TMPA и ZIMERGM) и наземным наблюдениям для аэродрома “Манас”

Сезон	Модель	Параметры регрессии					Значимость
		b_1	b_0	S	$S_{отн}$	r	
Зима	TMPA	0,7178	46,3	17	17	0,80	Значима $p = 0,95$
	ZIMERGM	0,8321	18,1	7	6	0,97	Не значима
Весна	TMPA	0,9046	10,4	32	19	0,87	Значима $p = 0,95$
	ZIMERGM	0,8321	45,3	22	13	0,94	Не значима
Лето	TMPA	0,9633	34,0	17	31	0,89	Значима $p=0,95$
	ZIMERGM	0,8321	38,6	15	27	0,97	Значима $p=0,90$
Осень	TMPA	0,7589	33,4	16	14	0,93	Значима $p=0,95$
	ZIMERGM	0,8321	28,4	18	16	0,89	Значима $p=0,95$
Год	TMPA	0,8885	105,7	38	9	0,93	Значима $p=0,95$
	ZIMERGM	0,8321	-37,0	7	2	0,99	Значима $p=0,95$

согласованность спутниковых и наземных данных лучше для зимы, весны, осени и хуже летом. Качество согласования сумм осадков по модели ZIMERGM несколько выше, чем по модели TMPA, однако период сравнения осадков по этой модели значительно короче, это хорошо видно на рисунке 1, поэтому делать какие-либо выводы пока рано.

На рисунке хорошо видно, что модельные данные завышают суммы осадков для данной точки, что дополнительно на большом объеме выборки подтверждает выводы, полученные нами в [8, 9]. Согласно [8] количество осадков,

полученное по модели TMPA, как правило, завышено для районов с небольшими фактическими осадками и, наоборот, занижено при больших осадках. В зависимости от орографических условий расположения, наилучшая согласованность между двумя видами измерений наблюдается для подгорной равнины с более однородным строением поверхности, и по той же причине для обширных горных котловин независимо от их высоты.

Качество статистической связи определяется силой связи, которую показывает коэффициент корреляции (r), значимостью регрессии

и величиной ее ошибки S . В таблице 2 приведены результаты корреляционно-регрессионного анализа.

Коэффициент корреляции r между спутниковыми моделями и наземными данными сезонных и годовых сумм осадков высокий и очень высокий (более 0,8), что говорит о хорошей согласованности для данной точки (таблица 2). При этом r выше для модели 3IMERGM для всех сезонов, кроме осени. Однако уравнения регрессии по этой модели не значимы для зимы и осени, а для лета значимы с уровнем доверительной вероятности с $p = 0,90$. Это может быть объяснено высоким значением F -критического, при проверке значимости уравнения регрессии методом Фишера из-за малого объема выборки (3–4 сезона). Относительная среднеквадратическая ошибка регрессии $S_{\text{отн}}$ составляет 9 % для годовых сумм осадков по модели TMPA и 2 % – по модели 3IMERGM, что говорит о высокой согласованности данных. По сезонам эта величина больше 16–31 % по TMPA и 6–27 % – для 3IMERGM.

Таким образом, результаты приводимого выше анализа дают положительный ответ о возможности прикладного использования данных обоих спутниковых продуктов при оценке сумм осадков в районе аэродрома “Манас”. При этом действующая в настоящий момент спутниковая

модель 3IMERGM, видимо, будет иметь лучшее согласование с наземными данными.

Режим осадков на аэродроме “Манас” по фактическим измерениям. В таблице 3 приведены статистические характеристики месячных сумм осадков для аэродрома “Манас”.

Среднее число дней с осадками по месяцам года меняется от 6–7 в августе и сентября, до 12–13 в апреле и мае, соответственно. Средняя месячная сумма осадков за исследуемый период меняется от 11 мм в августе до 57 в апреле. Наибольшее количество осадков приходится на весенние месяцы, а наименьшее – с июня по сентябрь. Для сравнения в первой строке таблицы 3 приведены средние месячные суммы осадков за 5-летний период (1987–1992 гг.) по [11]. Как видно, за период 1998–2017 гг. средние месячные суммы осадков в феврале, марте, мае и в сентябре больше в среднем на 20–29 %, по сравнению с 5-летним периодом исследования. В январе, апреле и ноябре суммы осадков не изменились (0–4 %). В остальные месяцы года осадки уменьшились от 13 % (в декабре) до 52 % (в июле). Полученные стандартные ошибки средних осадков позволяют судить о том, насколько надежны полученные характеристики. Оказалось, что они незначительны и составляют 15–20 % соответственно, от самих средних (рисунок 2).

Таблица 3 – Статистические характеристики месячных сумм осадков за период 1998–2017 гг. по данным фактических измерений на аэродроме “Манас”

Месяц	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
\bar{R} , мм [11]	30	27	44	55	46	31	38	18	14	62	51	42
\bar{R} , мм \pm	30 \pm 4	35 \pm 3	53 \pm 4	57 \pm 7	56 \pm 8	25 \pm 5	18 \pm 5	11 \pm 2	17 \pm 4	47 \pm 8	49 \pm 6	36 \pm 3
R_{max} , мм	67 (2010)	58 (2010)	81 (2010)	127 (2002)	121 (2004)	86 (2016)	83 (2003)	38 (1999)	51 (1999)	123 (2000)	141 (2003)	63 (1998)
R_{min} , мм	6 (2008)	10 (2016)	26 (2001)	15 (2008)	6 (2001)	4 (2014)	2 (2015)	0 (2006)	0 (2005)	2 (2005)	13 (2005)	13 (2000)
$S(R) \pm \delta$, мм	16 \pm 3	13 \pm 2	17 \pm 3	32 \pm 5	34 \pm 6	20 \pm 3	22 \pm 4	11 \pm 2	18 \pm 3	38 \pm 6	29 \pm 5	15 \pm 2
$C(R) \pm \delta$	0,5 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,8 \pm 0,2	1,2 \pm 0,3	1,0 \pm 0,2	1,0 \pm 0,2	0,8 \pm 0,2	0,6 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1
Среднее число дней с осадками	10	11	10	12	13	11	10	6	7	8	10	10

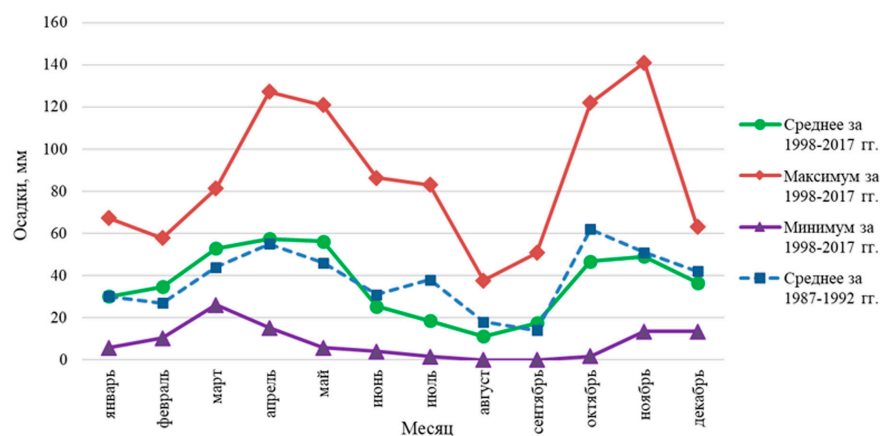


Рисунок 2 – Средние, максимальные и минимальные суммы осадков для аэродрома “Манас” за период 1998–2017 гг., а также средние месячные суммы осадков за 1987–1992 гг. по [11]

Таблица 4 – Статистические характеристики сезонных и годовых сумм осадков за 1999–2017 гг. по данным фактических измерений на аэродроме “Манас”

Характеристика	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
\bar{R} сез, мм [11]	99	145	87	127	458
\bar{R} сез, мм	101±7	167±13	55±8	115±11	437±24
\bar{R} сез, %	23	38	13	26	100
R_{max} , мм (год)	167,3 (2010)	323 (2002)	132,3 (2016)	182 (2014)	624 (2016)
R_{min} , мм (год)	52,6 (2007)	81,3 (2001)	11,9 (2014)	15,1 (2005)	295 (2008)
$S(R)±\delta$, мм	28±5	58±10	37±6	47±8	105±17
$C(R)±\delta$	0,29±0,05	0,35±0,06	0,67±0,13	0,41±0,07	0,24±0,04

Среднеквадратические отклонения $S(R)$ практически во все месяцы года довольно высоки, что говорит о большом разбросе значений сумм осадков вокруг средней величины. Это хорошо видно и по максимальным и минимальным значениям сумм осадков в каждом месяце года, например, R_{max} в мае 2004 г. выпало 121 мм, а R_{min} – только 6 мм (2001 г.), при $\bar{R} = 46$ мм. Относительная изменчивость месячных сумм осадков от года к году, представленная коэффициентом вариации, также достаточно высока, особенно в период с июня по октябрь.

В таблице 4 приведены статистические характеристики сумм осадков для четырех сезонов и года.

Среднее годовое количество осадков за период 1999–2017 гг. для аэродрома “Манас” составило 437 мм. Наибольшее количество осадков

наблюдается весной 167 мм или 38 % от годовой нормы, наименьшее количество выпадает в летний период 55 мм или 13 %. Осенью и зимой количество выпадающих осадков практически одинаково 26 и 23 % от годовой нормы. Обычно для станций, расположенных в подгорной равнине, характерна несколько отличная картина в годовом ходе осадков: имеются два максимума осадков, главный относится к весеннему периоду, а вторичный – к осеннему. Это хорошо видно по данным работы [11] – первая строчка таблицы 4. Максимальное количество осадков за год, которое выпало за исследуемый период, наблюдалось в 2016 г., и составило 624 мм, а минимальное – в 2008 г., и составило 295 мм.

Огромный практический интерес представляют максимальные осадки, которые могут выпасть в течение одних суток (таблица 5).

Таблица 5 – Суточные максимумы осадков за месяц за период 1998–2017 гг. по данным фактических измерений на аэродроме “Манас”

Месяц	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
$R_{сут. макс}$	22	24,9	37,1	35	45,7	30	31,2	21,2	23,8	43,7	44,6	28,6
Дата	17.01 2010	12.02 2015	31.03 2006	15.04 2010	09.05 2016	08.06 2015	11.07 2003	13.08 1999	18.09 2006	21.10 2000	19.11 2016	30.12 1999
Тип синоптич. процесса [15]	5	1/10	1	10	10	10	10	10	5	6	10/6	7

Оказалось, что наибольший суточный максимум на аэродроме “Манас” за период 1998–2017 гг., составил 45,7 мм и наблюдался 09 мая 2016 г. Самые низкие значения наблюдались в январе, феврале, августе и сентябре.

Отмеченные суточные максимумы осадков наблюдались, в основном, при вторжениях холодного воздуха (западные – тип 10, северо-западные – тип 5, северное – тип 6), южно-каспийском циклоне (тип 1) и волновой деятельности на холодном фронте (тип 7).

Заключение. Результаты валидации годовых и сезонных сумм осадков по продукту дистанционного зондирования модель ТМРА и наземным данным, полученным по 20-летнему ряду для аэродрома “Манас”, оказались более успешными. СКО разности двух оценок годовых сумм осадков составило 9 % за 20-летний период, в то время как за 10-летний период – 15 %. СКО разности по второму продукту (модель 3IMERGM) и наземным данным (3-х летний период) оказалось еще меньше – 4 %. Метод корреляционно-регрессионного анализа также показал высокую согласованность данных. С моделью ТМРА коэффициент корреляции в среднем по сезонам и в целом для года равен 0,88, и уравнения регрессии значимы с уровнем доверительной вероятности с $p = 0,95$. Коэффициент корреляции с данными модели 3IMERGM, которая является улучшенной версией предшествующей ей модели ТМРА, в среднем очень высокий и равен 0,95, но из-за малого объема выборки, уравнения регрессии оказались значимыми только для осеннего сезона и года в целом. Однако коэффициент корреляции между данными двух модельных продуктов очень высок: для сезонов – 0,985; для года – 0,990. В связи с этим, будем полагать, что работающая в настоящее время модель 3IMERGM будет лучше отражать поле осадков по сравнению с предыдущей моделью.

Полученные статистические характеристики месячных, сезонных и годовых сумм осадков по данным фактических измерений на аэродроме “Манас” за период 20 лет хорошо показывают режим осадков в данном месте и рекомендуются для практического применения.

Литература

1. Adeyewa Z.B. Validation of TRMM Radar Rainfall Data Over Major Climatic Regions in Africa / Z.B. Adeyewa, K. Nakamura // J. Climate. 2003. № 42. P. 331–347.
2. Fisher B.L. Climatological Validation of TRMM TMI and PR Monthly Rain Products over Oklahoma / B.L. Fisher // J. Appl. Meteor. 2004. № 43. P. 519–535.
3. Chi Zhang. Evaluation and Intercomparison of High Resolution Precipitation Estimates – GPM, TRMM and CMORPH in the Tianshan Mountain Area / Zhang Chi, Chen Xi, Shao Hua // J. Remote Sens. 2018. № 10. 19 p.
4. Javanmard S. Comparing high-resolution gridded precipitation data with satellite rainfall estimates of TRMM 3B42 over Iran / S. Javanmard, A. Yatagai, M. I. Nodzu and others // J. Advances in Geosciences. 2010. № 25. P. 119–125.
5. Feidas H. Validation of satellite rainfall products over Greece / H. Feidas // J. Theor. Appl. Climatol. 2010. № 99. P. 193–216.
6. Karaseva M.O. Validation of high-resolution TRMM-3B43 precipitation product using rain gauge measurements over Kyrgyzstan / M.O. Karaseva, S. Prakash, R.M. Gairola // J. Theoretical and Applied Climatology. 2011. V. 108. P. 147–157.
7. Huffman G.J. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales / G.J. Huffman, R.F. Adler, D.T. Bolvin, and others // J. Hydrometeorol. 2007. № 8. P. 38–55.

8. *Подрезов О.А.* Валидация данных по осадкам, получаемых по мультиспутниковой модели TMPA для горной территории Кыргызстана / О.А. Подрезов, М.О. Рыскаль // Пермский географический вестник. 2019. № 1 (48). С. 63–74.
9. *Подрезов О.А.* Статистические связи и зависимости годовых и сезонных сумм осадков, получаемых по мультиспутниковой модели TMPA и наземным данным метеостанций для различных климатических провинций Кыргызстана / О.А. Подрезов, М.О. Рыскаль // Электр. журнал ВАК КР. Научн. исследования в Кыргызской Республике. 2018. 3 квартал. С. 10–20.
10. *Рыскаль М.О.* Оценка годовых и сезонных сумм осадков, полученных по мультиспутниковой модели TRMM для горных районов Кыргызстана / М.О. Рыскаль // Вестник КРСУ. 2018. Т. 18. № 12. С. 141–145.
11. Климатическая характеристика аэропорта Манас. Бишкек: ГП “Кыргызаэронавигация”, 2004. 177 с.
12. URL: <http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/> (дата обращения: 18.09.2018).
13. URL: https://www.nasa.gov/mission_pages/GPM/main/index.html (дата обращения: 18.01.2019).
14. *Павлова И.А.* Методика подбора точек сетки ГРИД для анализа осадков модели TMPA по данным спутника TRMM на территории Кыргызстана / И.А. Павлова, М.О. Рыскаль // Вестник КРСУ. 2018. Т. 18. № 8. С. 181–186.
15. Руководство, по краткосрочным прогнозам погоды. Часть 2. Вып. 3. Средняя Азия. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 320 с.