

МЕТЕОРОЛОГИЯ

УДК 551.501.777(23.0)(575.2)

DOI 10.17072/2079-7877-2019-1-63-74

**ВАЛИДАЦИЯ ДАННЫХ ПО ОСАДКАМ, ПОЛУЧАЕМЫХ
ПО МУЛЬТИСПУТНИКОВОЙ МОДЕЛИ TMPA ДЛЯ ГОРНОЙ ТЕРРИТОРИИ
КЫРГЫЗСТАНА****Олег Андреевич Подрезов**

e-mail: meteokaf_krsu@mail.ru

*Кыргызско-Российский Славянский университет, Кыргызская Республика, Бишкек***Марина Олеговна Рыскаль**

SPIN-код: 8614-2824

e-mail: marina_karaseva87@mail.ru

Авиационный Метеорологический Центр, Кыргызская Республика, Бишкек

Рассматривается валидация косвенных расчетов осадков, получаемых с помощью мультиспутниковой модели (TMPA)-3B43 Version-6, которая хорошо адаптирована для широтной зоны от 45°ю.ш. до 45°с.ш., на северной периферии которой расположен Кыргызстан, с наземными данными 35 его метеостанций в диапазоне высот 0,6–3,6 км. В качестве меры расхождений используются средние квадратические ошибки (СКО разности) в оценках осадков в виде их абсолютных и относительных значений. Доказано, что модель TMPA достаточно верно отражает фоновое распределение осадков в горах Кыргызстана, показывая, однако, в целом более сглаженную картину, чем это следует из наземных наблюдений метеостанций. Полученные результаты позволяют критически оценить, а для высокогорной зоны уточнить предыдущие карты осадков Кыргызстана.

Ключевые слова: Кыргызстан, спутниковые данные по осадкам, модель TMPA, валидация, средние квадратические ошибки.

**VALIDATION OF PRECIPITATION DATA OF MULTI SATELLITE TMPA MODEL
FOR THE KYRGYZSTAN MOUNTAINOUS TERRITORY****Oleg A. Podrezov**

e-mail: meteokaf_krsu@mail.ru

*Kyrgyz-Russian Slavic University, Kyrgyz Republic, Bishkek***Marina O. Ryskal'**

SPIN-code: 8614-2824

e-mail: marina_karaseva87@mail.ru

Aviation Meteorological Center, Kyrgyz Republic, Bishkek

The paper deals with the validation of indirectly calculated precipitation data obtained using the multi-satellite model (TMPA)-3B43 Version-6, which is well adapted for the latitude zone of 45°N 45°S, on the Northern periphery of which Kyrgyzstan is located, and of the ground data from its 35 weather stations in the altitude range of 0.6–3.6 km. The mean square errors (mean difference) in precipitation estimates, represented by their absolute and relative values, are used as a measure of discrepancies. It has been found that the TMPA model quite correctly reflects the background distribution of precipitation in the mountains of Kyrgyzstan, giving, however, in general a smoother picture than it follows from ground observations of weather stations. The obtained results allow us to critically assess, and for the high-altitude zone to clarify the previously obtained maps of precipitation in Kyrgyzstan.

Key words: Kyrgyzstan, satellite data of precipitation, TMPA model, validation, mean square errors.

Введение

Территориальное распределение осадков в слабоосвещенных метеостанциями горных и высокогорных районах Кыргызстана, занимающего основную часть территории Тянь-Шаня и

Памиро-Алая, является актуальной климатической задачей, несмотря на многолетнюю историю исследований и полученные к настоящему времени значительные результаты [1, 3, 4, 6, 7].

Так, в работе [4] на основе прямых данных осадкомеров, косвенных корреляционных расчетов с использованием летних экспедиционных наблюдений за температурой и осадками на многих ледниках, а также современных методов климатического картирования, с использованием цифровой модели рельефа, получена наиболее обоснованная карта годовых осадков Кыргызстана. К сожалению, в этой работе отсутствуют какие-либо критические оценки качества карты, прежде всего, для высокогорной зоны, где она получена преимущественно по косвенным данным. Поэтому необходимо получение независимых данных по осадкам для такой сложной горной территории, которые позволят обосновать эти результаты и уточнить их особенно для высокогорной зоны с малым количеством метеостанций.

Наиболее эффективно в этом случае использование современных спутниковых наблюдений по осадкам, которые представляют собой расчетные косвенные данные, получаемые по различным подспутниковым моделям на основе измерений температуры верхней границы облаков (сенсоры инфракрасного диапазона), измерение излучений капель в микроволновом диапазоне, а также классификации самих облаков по дождевому и не дождевому типам (сенсоры видимого спектра) [13]. Наиболее адаптированной и успешно применяемой такой моделью для экваториально-тропической зоны, особенно для районов Мирового океана и влажных тропических лесов, является мультиспутниковая модель ТМРА-3В43 (Tropical Rainfall Measuring Mission Multi-satellite Precipitation Analysis). Она предназначена для оценки осадков в квазиглобальной зоне от 45° с.ш. до 45° ю.ш. (на северной периферии которой расположен Кыргызстан), получаемых с большого количества современных сенсоров, установленных на различных спутниках, расчеты по которым осуществляются с разрешением 0,25×0,25° и осреднением за каждые 3 ч [10]. Расчетные данные по модели ТМРА-3В43 представляют собой суммы осадков за каждый месяц в узлах сетки 0,25×0,25°, т.е. территорию Кыргызстана покрывают около 340 узлов. Это на порядок больше, чем количество действующих в настоящее время 32 станций, большая часть из которых расположена в низкогорной и среднегорной зонах. Успешное применение модели в экваториально-тропической зоне в значительной мере объясняется однородным строением подстилающей поверхности (океан и влажно-тропические леса), которая, в свою очередь, создает однородное поле обратного излучения, позволяющее надежно отфильтровать его от поступающего прямого сигнала, несущего информацию об осадках. В случае сложной по строению подстилающей поверхности суши, например, на границе океан-суша, результаты значительно ухудшаются. Особенно это характерно для горных районов, где чередование водоразделов различных порядков и разделяющих их долин и ущелий часто создает чрезвычайно сложный обратный сигнал, сильно искажающий прямой сигнал, несущий сведения об осадках. Но именно в горных районах с их редкой осадкомерной сетью, как, например, в Кыргызстане, спутниковые данные представляют особую ценность.

Поэтому, прежде чем использовать спутниковую информацию об осадках в горах в прикладных целях, необходимо провести ее качественную и всестороннюю валидацию [12]. Цель настоящей работы – верификация данных для годовых и сезонных сумм осадков, получаемых по модели ТМРА над орографически сложными горными районами Кыргызстана. Полученные результаты позволят решить вопрос о возможности их различного прикладного использования и, прежде всего, в высокогорных районах с их очень редкой сетью метеостанций, существенное расширение которой в ближайшее время не предвидится.

Таким образом, для наиболее точной оценки количества осадков и их распределения по исследуемой территории необходимо использовать все виды измерений, при этом основой могут быть спутниковые данные, а наземные измерения должны применяться для обязательной валидации и дальнейшей интеграции данных.

Материалы и методы исследования

Для верификации спутниковых данных об осадках по мультиспутниковой модели TRMM-3В43 (версия 6) были использованы 9-летние ряды наблюдений с 1998 по 2007 г. по 35 метеостанциям Кыргызгидромета, расположенным в диапазоне высот от 0,6 до 3,6 км (рис. 1). Спутниковые данные TRMM, представляющие собой сумму осадков за месяц, были взяты с сайта НАСА – [5]. Следует, однако, пояснить, что вследствие высокой изменчивости осадков во времени и в пространстве сопоставление данных мгновенных измерений из Космоса (проводимых с 3-х часовым осреднением) и наземных измерений с помощью осадкомеров не корректно. Поэтому на практике при валидации

используются усредненные суммы осадков для больших промежутков времени – месяц, сезон и год [13]. Этот подход использован и в настоящей работе.

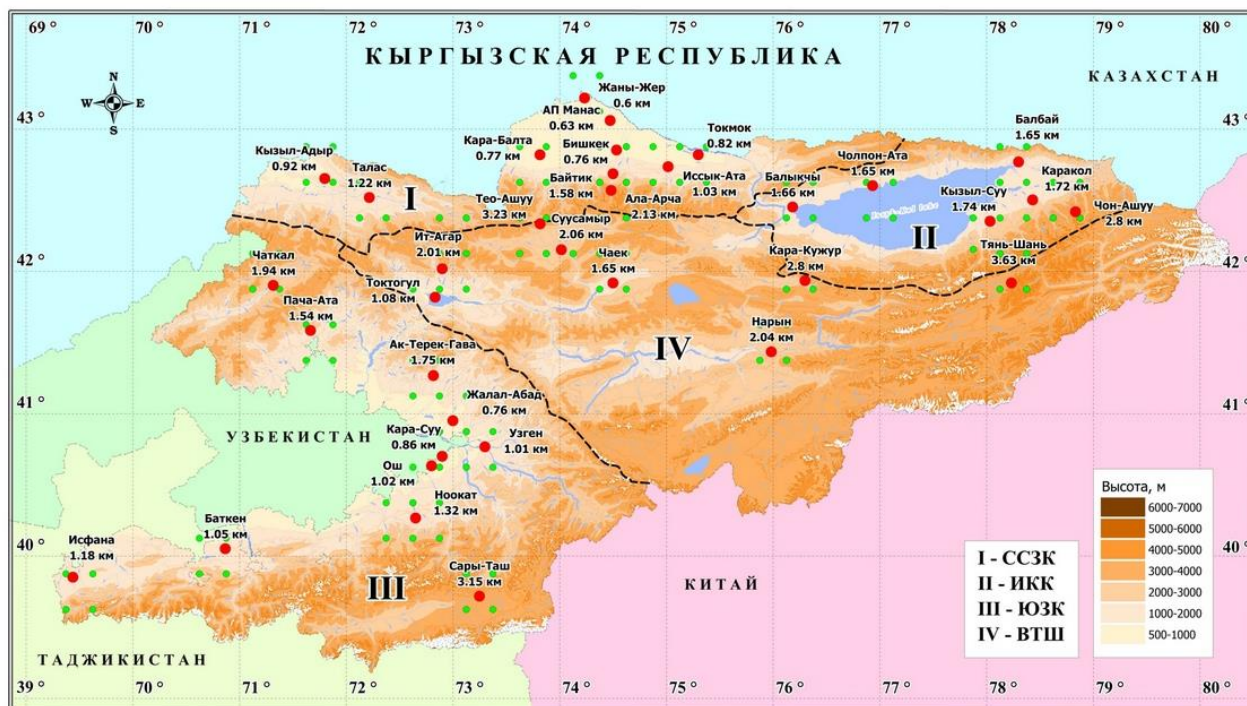


Рис. 1. Орографическая схема Кыргызстана с границами 4 климатических провинций и расположением 35 использованных метеостанций

В горных районах необходимо предварительно правильно выбрать конкретные точки сетки спутниковых данных, для которых модель выдает осадки. Эти данные при сопоставлении их с данными на метеостанциях позволят получить наилучшие согласования результатов. Это объясняется тем, что точки сетки имеют предельное удаление от станции до 28 км, что в условиях горного рельефа может привести к малосопоставимым и даже не сопоставимым условиям по высоте и орографии для узла сетки и станции. В связи с этим нами была разработана специальная методика подбора «лучшей точки» по группе точек, окружающих станцию, которая подробно изложена в работе [9]. Например, на рис. 2 показана станция Нарын (широтная межгорная долина, высота 2,04 км), для которой лучшие результаты при сопоставлении спутниковых и наземных данных по осадкам дает точка 4 сетки, наиболее адекватно отражающая высоту и орографию расположения станции, а также суммы наблюдаемых осадков. Так, общие суммы осадков за период с января 1998 по сентябрь 2007 г. составили: станция Нарын – 3093 мм, точка 1 – 3481 мм, точка 2 – 4243 мм, точка 3 – 3171 мм и точка 4 – 3188 мм. Хорошо видно, что точки 2 и 3, несмотря на относительную близость расположения и достаточно высокую корреляцию осадков ($r=0,69-0,86$), значительно отличаются по высоте, орографии и значениям осадков на станции. Одновременно такая же близкая по высоте и орографии точка 2 показывает заметно худшие результаты, чем точка 4. Поэтому точка 4 выбрана как лучшая точка сетки для станции Нарын.

В тех случаях, когда ни одна из точек сетки, окружающих станцию, не имела явных преимуществ, использовалась специальная технология Крессмана [9], позволяющая рассчитать спутниковые осадки по всей группе точек, взятых с весовыми коэффициентами, пропорциональными их удалению от станции.

Полученный таким образом массив исходных месячных сумм осадков по наблюдениям 35 станций и спутниковым данным был статистически обработан и проанализирован. Для этого, прежде всего, все станции и спутниковые данные были дифференцированы по 4 климатическим провинциям Кыргызстана (рис. 1), характеризующимися, как это установлено всеми предшествующими исследованиями, значительным единством местных климатических условий: 1) Северный и Северо-Западный Кыргызстан (ССЗК), 2) Иссык-Кульская котловина (ИКК), 3) Юго-Западный Кыргызстан (ЮЗК) и Внутренний Тянь-Шань (ВТШ) [1,3,4,6-8]. Сама статистическая обработка включала следующее.

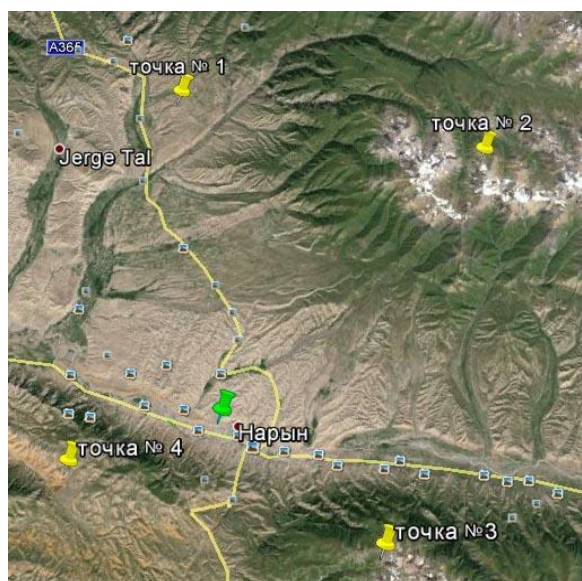


Рис. 2. Пример выбора подходящей точки 4 сетки для станции Нарын (2,04 км, широтная межгорная долина) из 4 близлежащих узлов сетки, имеющих расположение: 1 – подножье южного склона хребта, высота 2,32 км, удаление 23 км; 2 – гребень хребта, высота 3,57 км, удаление 25 км; 3 – гребень хребта, высота 3,40 км, удаление 13 км; 4 – подножье северного склона хребта, высота 2,30 км, удаление 11 км

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 или сезон:

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

По массивам $\Delta R_i(\text{мм})$ найдем значения средних квадратических ошибок спутниковых данных (СКО) на каждой станции, обозначив их через $S_{\Delta R}$ по общеизвестной формуле [2]:

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

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

Как известно [2], при нормальном распределении ΔR_i , с вероятностью p максимальный возможный диапазон расхождений между значениями осадков по спутнику и наземным данным, равный $\Delta R_{\text{макс.}}(p)$, связан со значением ошибки $S_{\Delta R}$ следующим образом:

$$\Delta R_{\text{макс.}}(p = 0,68) = \pm 1 S_{\Delta R}, \quad (3)$$

$$\Delta R_{\text{макс.}}(p = 0,95) = \pm 2 S_{\Delta R}, \quad (4)$$

$$\Delta R_{\text{макс.}}(p = 0,997) = \pm 3 S_{\Delta R}, \quad (5)$$

где p – есть задаваемая вероятность для максимального диапазона $\Delta R_{\text{макс.}}(p)$.

Соотношения (3,4,5) имеют простой вероятностный смысл: например, с вероятностью $p=95\%$ (что обычно используется на практике) максимально возможное расхождение $\Delta R_{\text{макс.}}(p=0,95)$ попадет в интервал значений, равный $\pm 2 S_{\Delta R}$, т.е. в интервал $\pm 2 СКО$ (аналогично для других вероятностей p). Этот интервал можно принять как максимально возможное расхождение спутниковых и наземных данных с риском совершить ошибку в 5%.

Полученный по всем станциям массив абсолютных значений СКО $S_{\Delta R}$ (мм) явился исходным материалом для анализа степени согласования спутниковых и наземных данных. Однако только абсолютных значений СКО (мм) для полноценного анализа недостаточно. Требуется также вычислить дополнительно относительные значения ошибок ($СКО_{\text{отн.}}(\%)$), равные отношению СКО (мм) к годовым/сезонным нормам осадков (мм), которые представляют собой средние за годы наблюдений (1998–2007 гг.) значения осадков на соответствующей станции:

$$СКО_{\text{отн.}}(\%) = S_{\square R(\%)} = (СКО / \text{норма}) * 100\%. \quad (6)$$

Относительные значения средних квадратических ошибок $СКО_{отн.}$ обладают высокой 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 на каждой станции. Абсолютные и относительные значения средних квадратических ошибок, полученные по каждой станции, затем осредняются по каждой из 4 климатических провинций и Кыргызстану в целом, а также рассматриваются индивидуально по отдельным станциям.

Наряду с этим важно принять для дальнейшего анализа определенные условные критерии *качества согласованности* спутниковых и наземных данных. Для этой цели нами использованы следующие градации значений средних квадратических ошибок: 1) высокое качество $СКО_{отн.} = 0-15\%$, 2) хорошее качество $СКО_{отн.} = 16-25\%$, 3) удовлетворительное качество $СКО_{отн.} = 26-50\%$, 4) неудовлетворительное качество $СКО_{отн.} \geq 51\%$. Эти градации приняты нами в соответствии с обычно достигаемой точностью прикладных климатических расчетов и точностью спутниковых данных об осадках. Например, общепринято считать, что прикладные климатические расчеты (возможно, за очень редким исключением) не имеют точность выше 5–10%. Полученная по отдельным провинциям и станциям различная степень согласованности спутниковых и наземных данных по этим критериям, насколько это было возможно, объяснялась спецификой спутниковых расчетов осадков по модели ТМРА и расположением станций, т.е. соответствием использованной точки сетки высоте и орографии станции.

Результаты и их обсуждение

Приведем вначале весьма полезные данные о полученных годовых суммах осадков (и их разностях ΔR) по спутниковым и наземным данным для каждой из 35 использованных станций Кыргызстана за период 1998–2007 гг. (рис. 3). В среднем по Кыргызстану за этот период годовая сумма осадков по наземным данным составила 471 мм, что на 17 мм больше, чем по спутниковым оценкам (454 мм). Это соответствует их относительному расхождению всего на -4%, что является очень хорошим результатом. Кратность (результат деления) в разнице между средними максимальными и средними минимальными значениями годовых сумм осадков по всей территории для спутниковых данных составляет 2,1, а для наземных – 6,8. Исходя из этого очевидно, что территориальное распределение осадков для Кыргызстана по спутниковым данным представляет гораздо более сглаженную картину по сравнению с наземными наблюдениями. Из рис. 3 следует, что завышения и занижения спутником годовых осадков (знак ошибки в формуле (1)) составляет около 50%, т.е. являются равновероятными по знаку.

В абсолютном выражении спутник сильнее всего *занижает нормы годовых осадков* ($\Delta R \geq 200$ мм) для 4 станций, где они высоки и составляют более 650 мм: Тео – Ашуу $z=3,25$ км (на -274 мм), Узген $z=1,01$ км (на -235 мм), Пача-Ата $z=1,54$ км (на -341 мм) и Ак-Терек-Гава $z=1,75$ км (на -449 мм). Заметим, что такой же порядок абсолютных значений был получен в работе [11] для территории Бангладеш. Однако, вследствие больших значений самих норм осадков на этих станциях, относительные разности (отнесенные к нормам осадков) для них малы и соответственно равны 12, 14, 18 и 21%. Наименьшая абсолютная разность наблюдается на метеостанциях Кызыл-Суу, Нарын, Жаны-Жер, Чаткал, Байтик, Ноокат, где ею можно пренебречь (3–11 мм).

В среднем для территории ССЗК разность ΔR между спутниковыми и наземными данными равна 60 мм, что составляет 11% от нормы. Для ИКК и ЮЗК это цифра намного выше – 130 мм (59% и 26% соответственно), а для ВТШ – 90 мм (29%). При этом спутниковые данные, как правило, завышены при малых фактических осадках и наоборот – занижены при больших осадках. Можно выявить общую закономерность – если на метеостанции выпадает среднегодовая сумма около 300–600 мм, то спутниковые данные довольно хорошо коррелируют с наземными. В тех же случаях, когда на метеостанциях наблюдаются либо экстремально большие, либо, напротив, экстремально низкие годовые суммы осадков, спутниковые данные заметно занижают и, напротив, завышают реальную картину. Если дополнительно дифференцировать станции по орографическим условиям их расположения, то 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. Исключением является ИКК с ее крайне низкими осадками в западной части, где их годовая норма – около 130 мм (условия каменистой пустыни). Здесь спутник существенно завышает реальные осадки.

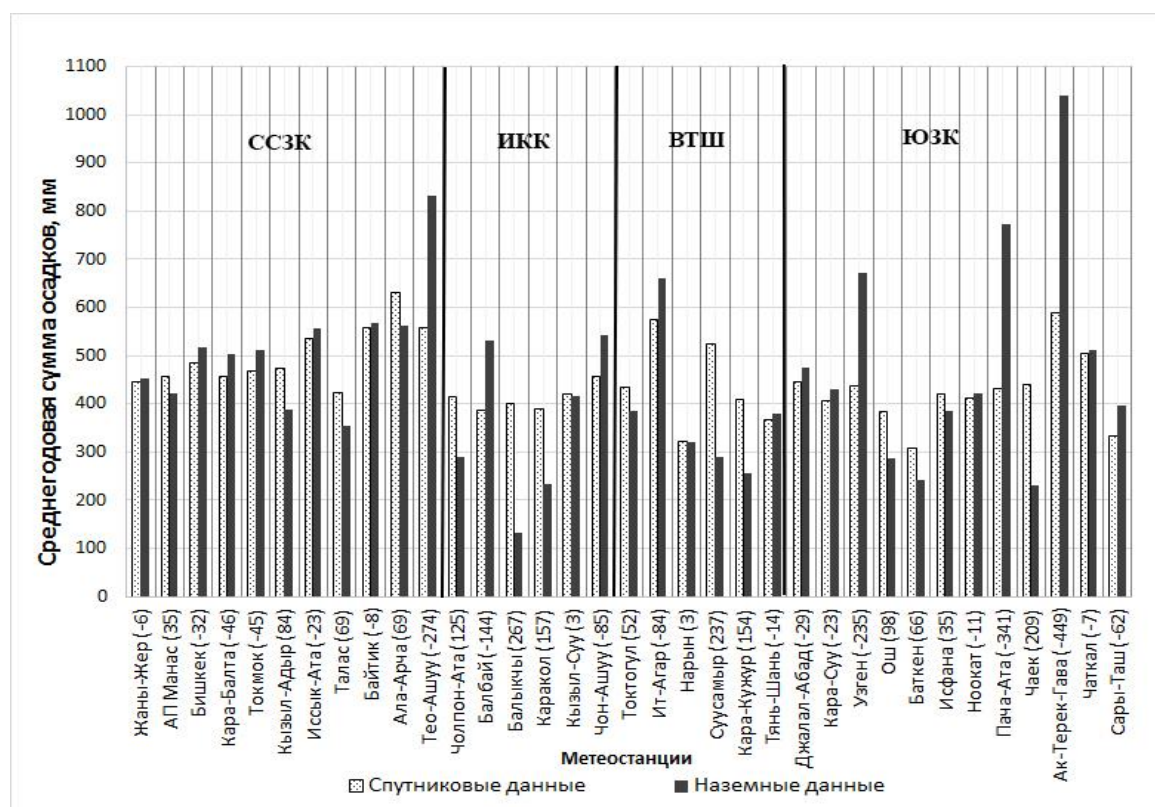


Рис. 3. Среднегодовые суммы осадков по спутниковым и наземным данным за 1998–2007 гг. (и их разность – числа в скобках у названия станций) для 35 использованных метеостанций Кыргызстана, мм

Перейдем после такого предварительного обзора непосредственно к анализу средних квадратических ошибок (СКО) измерений осадков над Кыргызстаном с помощью мультиспутниковой модели TRMM в последовательности: год и сезон, а также Кыргызстан в целом, климатическая провинция, станция.

Согласованность годовых и сезонных сумм осадков по спутниковым и наземным данным по Кыргызстану в целом и 4-м климатическим провинциям. В табл. 1 приведены полученные значения СКО (мм) – $S_{\Delta R}$ и СКО_{отн.} (%) – $S_{\Delta R(\%)}$ для годовых и сезонных сумм осадков, усредненные по 4-м климатическим провинциям и Кыргызстану в целом.

Таблица 1

Рассчитанные абсолютные $S_{\Delta R}$ и относительные $S_{\Delta R(\%)}$ значения ошибок для сезонных сумм осадков по 4 климатическим провинциям и Кыргызстану в целом

Сезон	Вид ошибки	Климатическая провинция				Кыргызстан
		ССЗК	ИКК	ЮЗК	ВТШ	
Зима	$S_{\Delta R}$, мм	27	26	34	22	27
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	30	98	39	74	60
Весна	$S_{\Delta R}$, мм	44	44	57	54	50
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	23	46	33	44	37
Лето	$S_{\Delta R}$, мм	33	44	35	37	37
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	31	32	45	31	35
Осень	$S_{\Delta R}$, мм	32	45	38	30	36
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	27	70	53	45	49
Год	$S_{\Delta R}$, мм	89	119	104	98	103
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	17	33	27	20	24

Как видно из этой таблицы, для годовых сумм осадков и Кыргызстана в целом абсолютное значение $S_{\Delta R}=103$ мм, что дает его относительное значение $S_{\Delta R(\%)}=24\%$. Это соответствует по нашим критериям хорошему качеству согласования спутниковых и наземных данных, правда, почти на

верхней границе критерия. Одновременно, с вероятностью $p=95\%$, можно утверждать, что для произвольно заданного периода наблюдений расхождения между спутниковыми и наземными данными для всей территории Кыргызстана не превысят удвоенного значения СКО, т.е. 206 мм, или 48% от нормы осадков по его территории.

Для года по отдельным климатическим провинциям средние значения $СКО_{отн.}$ различны. Так, они минимальны для ССЗК, где $S_{\Delta R(\%)}=17\%$ (хорошее качество согласования), и ВТШ, где $S_{\Delta R(\%)}=20\%$ (так же хорошее качество согласования). Значения $S_{\Delta R(\%)}$ более высокие для ЮЗК и ИКК, где они равны 27 и 33%, что соответствует удовлетворительному качеству согласования, правда, почти на границе хорошего качества.

Таким образом, можно считать, что установлено хорошее и удовлетворительное по качеству согласование годовых сумм осадков, найденных по спутниковым и наземным данным как в среднем, как по территории Кыргызстана, так и его 4-м климатическим провинциям.

Прежде чем анализировать табл. 1 по отдельным сезонам, отметим, что зимние суммы осадков в Кыргызстане по абсолютной величине являются наиболее малыми по сравнению с другими сезонами. За счет этого абсолютные значения СКО – $S_{\Delta R}$ (мм) малы, но значительно увеличиваются их относительные значения $S_{\Delta R(\%)}$. Как видно из табл. 1, значения для $S_{\Delta R}$ по сезонам для Кыргызстана в целом равны: зима – 27 мм (наименьшее значение), лето, весна и осень – соответственно 50 мм (наибольшее значение), 37 и 36 мм. В относительных величинах $S_{\Delta R(\%)}$ эти значения составляют: зима – 60%, весна – 37%, лето – 35% и осень – 49%. Это соответствует по нашим критериям удовлетворительному качеству согласования спутниковых и наземных данных для всех сезонов, кроме зимы, где наблюдается неудовлетворительное согласование.

По отдельным климатическим провинциям сезонные средние значения $S_{\Delta R}$ и $S_{\Delta R(\%)}$ различны. Так, для относительных ошибок они минимальны для ССЗК, где $S_{\Delta R(\%)}=17\%$ (хорошее качество согласования), и ВТШ, где $S_{\Delta R(\%)}=20\%$ (так же хорошее качество согласования). Значения $S_{\Delta R(\%)}$ более высокие для ЮЗК и ИКК и соответственно равны 27 и 33%, что соответствует удовлетворительному качеству согласования. Значения $S_{\Delta R(\%)}$ практически во все сезоны, кроме лета, наиболее высокие для ИКК, а наиболее низкие в ССЗК для всех сезонов.

Таким образом, можно считать, что имеет место хорошее и удовлетворительное по качеству согласование не только годовых, но и сезонных сумм осадков, найденных по спутниковым и наземным данным, как в среднем, как по всей территории Кыргызстана, так и его 4-м климатическим провинциям. Исключением является ИКК, где $S_{\Delta R(\%)}$ сравнительно велико и меняется от 32 до 98% в зависимости от сезона года, т.е. ошибка здесь находится на границе градаций удовлетворительного и неудовлетворительного согласия и попадает и в ту, и в другую градацию $S_{\Delta R(\%)}$.

Согласованность годовых сумм осадков по спутниковым и наземным данным для различных станций. Покажем, как выглядит согласованность годовых сумм осадков по спутниковым и наземным данным для отдельных станций. Для этого на рис. 4 представлены гистограммы значений абсолютных и относительных ошибок, рассчитанных для годовых осадков для периода 1998–2007 гг. по каждой станции. Они дают весьма наглядную картину распределения этих погрешностей спутниковых данных по отдельным станциям/точкам в каждой из 4 климатических провинций. Согласно рис. 4, повторяемость различных градаций относительных значений СКО для годовых сумм осадков, найденных по всем станциям, оказалась следующей:

градации $S_{\Delta R(\%)}$, %	0–15	15–25	25–50	50–100
повторяемость градаций, %	26	37	34	3

Видно, что если к этому виду ошибок применить принятые выше критерии качества, то для годовых норм осадков высокое качество согласованности будет соответствовать для 26% станций, хорошее качество – 37% и удовлетворительное – 34%. В сумме это составляет 97% станций. Только в 3% случаев, или одна станция Балыкчы, наблюдается неудовлетворительный результат ($СКО=79\%$). Это объясняется, как уже отмечалось, прежде всего, аномально малым годовым количеством осадков в крайней западной части ИКК, где расположена станция. Подчеркнем, что это единственный весьма ограниченный район Кыргызстана с таким малым количеством годовых осадков.

Таким образом, можно принять, что в целом для 63% станций различных климатических провинций установлено высокое и хорошее согласование спутниковых и наземных данных в годовом выводе, а в 97% оно не хуже удовлетворительного. Это позволяет практически применять спутниковую модель ТМРА для расчета годовых норм осадков в Кыргызстане.

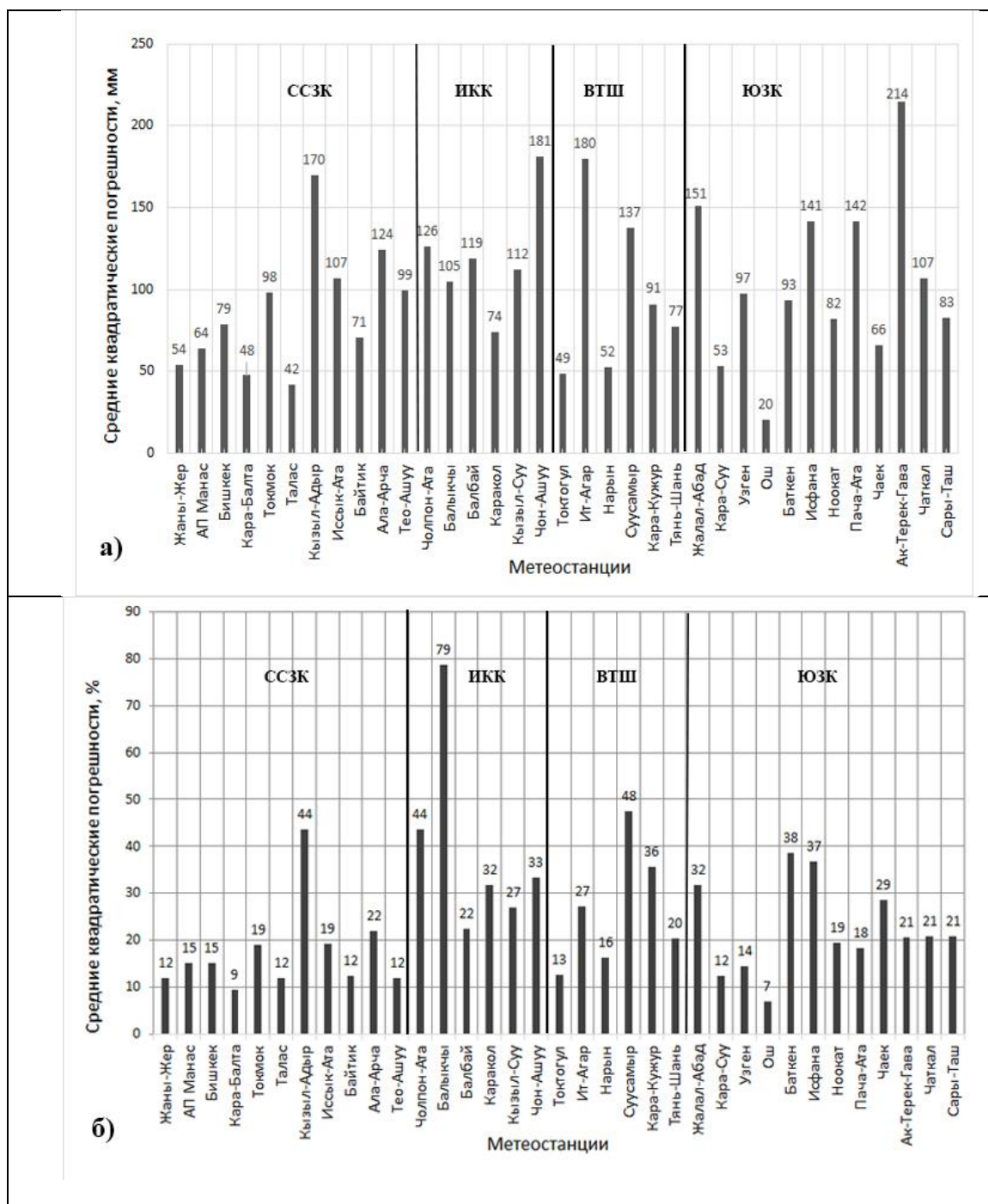


Рис. 4. Средние квадратические ошибки для годовых сумм осадков по отдельным станциям Кыргызстана: а – абсолютные значения СКО – $S_{\Delta R}$, мм; б – относительные значения – $S_{\Delta R(\%)}$, %

Согласованность сезонных сумм осадков по спутниковым и наземным данным для различных станций. На рис. 5 показаны абсолютные и относительные значения СКО, рассчитанные для всех 35 станций Кыргызстана по каждому из 4 сезонов. Из этих данных видно, что в целом почти для всех метеостанций абсолютные значения ошибок $S_{\Delta R}$ имеют минимальные значения осенью и зимой, когда осадки минимальны, и максимальные – весной и летом, когда они максимальны. Для отдельных провинций картина ошибок выглядит следующим образом.

На метеостанциях ССЗК по всем сезонам, за исключением станции Кызыл-Адыр, наблюдается относительные погрешности от 12 до 50%, т.е. они входят в диапазон высокого – удовлетворительного качества. На станции Кызыл-Адыр результаты хуже: ошибки меняются от 28% весной, когда отмечается максимум осадков, до 88% летом, когда осадков выпадает меньше. Зимой и осенью ошибки входят в градацию удовлетворительного качества. Подчеркнем еще раз, что обычно в

зимний период, когда осадков выпадает мало, относительная ошибка больше, чем в другие сезоны (22–58%), когда отмечается хорошее и удовлетворительное качества. Весной, наоборот, количество осадков максимальное (норма 140–230 мм) и $S_{\Delta R(\%)}$ – наименьшее (12–31%).

Если говорить об абсолютных значениях $S_{\Delta R}$, то в ССЗК они зависят также от высотного пояса станций, так как осадки здесь существенно растут с высотой. Так, для долинных станций (Жаны-Жер, АП Манас, Кара-Балта, Токмок, Талас) $S_{\Delta R}$ находится в пределах 16–36 мм, но в среднегорном и высокогорном поясах (Иссык-Ата, Байтик, Ала-Арча, Тео-Ашуу) $S_{\Delta R}$ увеличивается до 72 мм.

В ЮЗК относительные значения ошибок $S_{\Delta R(\%)}$ по отдельным станциям наименьшие для весеннего и зимнего сезонов, когда в среднем они не превышают 33 и 39% соответственно (нормы осадков 62–409 весной, 37–250 мм зимой), что показывает удовлетворительное качество согласования данных. Ошибки несколько увеличиваются летом и осенью, составляя 45 и 53% (нормы осадков 38–167 мм и 27–207 мм), что также указывает на удовлетворительное качество согласования данных. Абсолютные значения ошибок $S_{\Delta R}$ в ЮЗК оказались наименьшими на метеостанциях Ош, Баткен, Кара-Суу и на высокогорной Сыры-Таш, находясь в пределах от 9 до 51 мм. Наибольшие значения отмечались на метеостанциях подножий Ак-Терек-Гава, Пача-Ата и долинной Исфана (35–125 мм).

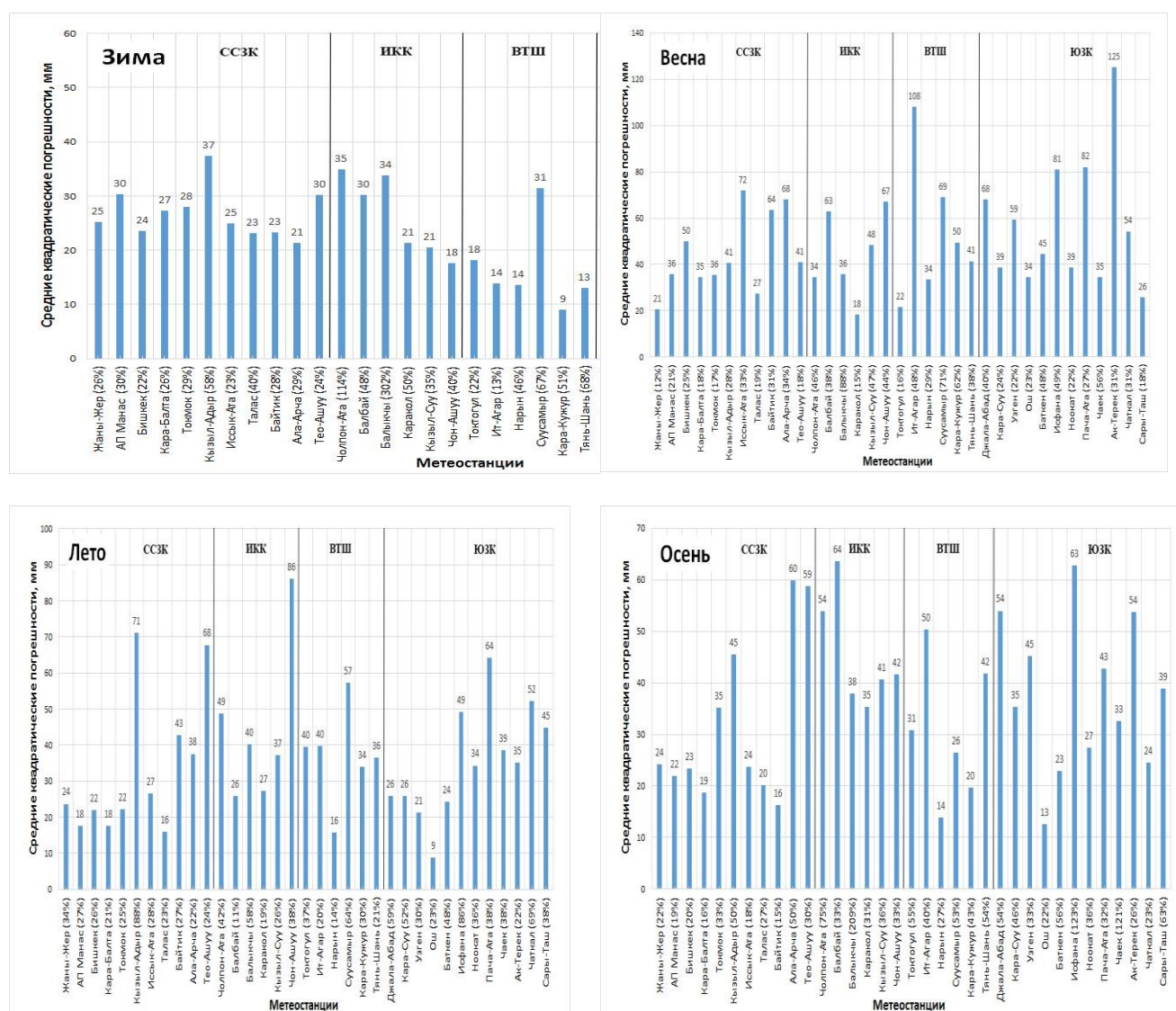


Рис. 5 Абсолютные значения $S_{\Delta R}$ (мм) (подписаны над столбцами) и относительные значения – $S_{\Delta R(\%)}$ (подписаны у названия станций в скобках) для различных сезонов года по отдельным станциям для различных климатических провинций Кыргызстана

Для большинства метеостанций ЮЗК наибольшие значения $S_{\Delta R}$ наблюдаются в весенний период (26–125 мм). Какой-либо закономерности от высоты расположения станций здесь не удалось выявить.

В ИКК с ее экстремально малым количеством осадков в западной части котловины отмечаются наибольшие абсолютные и относительные погрешности $S_{\Delta R}$ и $S_{\Delta R(\%)}$. Особенно это проявляется в зимний период, когда осадков в районе Балыкчы практически нет (норма 11 мм), в связи с чем относительная погрешность достигает рекордного значения – 302%. При смещении на восток осадки увеличиваются и погрешность резко падает, снижаясь в Чолпон-Ате, удаленной от Балыкчы на 70 км, до 114% (норма 31 мм). Как и следовало ожидать, гораздо лучшая согласованность наблюдается в восточной части ИКК. Так, на МС Каракол $S_{\Delta R(\%)}$ лежит в пределах до 15%. Примерно аналогичная картина наблюдается и на сопредельной МС Кызыл-Суу, расположенной в 35 км западнее.

Во ВТШ действующие станции, как уже отмечалось, расположены в днищах высокогорных котловин, где осадков, несмотря на значительные высоты, во все сезоны выпадает мало (250–450 мм/год). Поэтому в целом относительные значения ошибок здесь хотя и несколько повышены, но для большинства станций находятся вблизи верхнего предела удовлетворительного качества согласования данных. На среднегорной станции Суусамыр (2,06 км) и зимой, и весной погрешности достигают 67–71%, уменьшаясь осенью до 43%. Скорее всего, плохое качество согласования данных по Суусамыру следует отнести за счет отсутствия репрезентативных спутниковых точек узлов сетки. Гораздо лучшее качество согласования получено для другой среднегорной станции Нарын (2,04 км), расположенной в межгорной широтно вытянутой долине. Здесь ошибки меняются от 14% летом (высокое качество) до 53% (осенью – удовлетворительное качество, если формально не учитывать превышения в 3%).

Примерно аналогичная картина соответствует двум остальным станциям – Токтогул (низкогорная котловина – 1,08 км) и Кара-Кужур (высокогорная котловина – 2,8 км). На самой высокогорной из использованных станций Тянь-Шань (3,61 км, Кумторские сырты) хорошее согласование наблюдается летом – 21%, удовлетворительное – весной и осенью (38 и 45%) и более худшее – зимой (68%). Какой-либо закономерности зависимости ошибок от высоты расположения станций для ВТШ не удалось выявить.

В заключение приведем табл. 2, где для различных сезонов даны повторяемости (%) попадания относительных ошибок для 35 использованных метеостанций в принятые градации качества расхождений спутниковых и наземных данных.

Таблица 2

Процент попадания метеостанций в принятые градации качества относительных ошибок

Сезон	Градации качества ошибки				
	Высокое	Хор.	Удов.	Не удов.	Всего
Зима	6	26	37	31	100
Весна	3	37	49	11	100
Лето	6	29	46	20	100
Осень	3	20	43	34	100

Видно, что суммарно высокое, хорошее и удовлетворительное качества по сезонам года показывает следующий процент метеостанций Кыргызстана: зима – 69%, весна – 89%, лето – 80% и осень – 66%. Все это, на наш взгляд, позволяет применять на практике мультиспутниковую модель ТМРА для оценки сезонных сумм осадков в Кыргызстане с его сложной горной орографией.

Одновременно заметим, что, к сожалению, для нивальной зоны Кыргызстана, т.е. для высот 4 км и более, где развито мощное оледенение, не было и нет ни одной метеостанции, что не позволяет выполнить прямое сравнение спутниковых и наземных данных для этой важной зоны.

Выводы

Результаты анализа степени согласованности годовых, сезонных и месячных сумм осадков для Кыргызстана в целом, каждой из его 4 климатических провинций и отдельных станций позволяет считать, что мультиспутниковая модель (ТМРА)-3В43 V-6 может быть использована в горных районах Кыргызстана для прикладного расчета сезонных и годовых сумм осадков, что имеет большое значение, особенно для высокогорной зоны с очень редкой осадкомерной сетью. При этом следует учитывать, что спутниковые оценки осадков оказываются завышенными в областях с очень малым

количеством осадков (годовые нормы менее 150–200 мм) и заниженными в областях с достаточно большим количеством осадков (годовые нормы более 600 мм). Для таких районов целесообразно разработать систему корректирующих корреляционных уравнений или коэффициентов, с помощью которых можно существенно уточнить получаемые по спутниковой модели результаты.

Библиографический список

1. *Атлас* Киргизской ССР. Т. 1. Природные условия и ресурсы. М.: ГУГК СССР, 1987. 157 с.
2. *Закс Л.* Статистическое оценивания / пер. с нем. В.Н. Варыгина; под ред. Ю.П. Адлера, В.Г. Горского. М.: Статистика, 1976 г. 578 с.
3. *Климат* Киргизской ССР / под ред. З.А. Рязанцевой. Фрунзе: Илим, 1965. 292 с.
4. *Кузьмичёнок В.А.* Цифровые модели характеристик увлажнения Кыргызстана (Математико-картографическое моделирование). Б.: КPCУ, 2008. 229 с.
5. Национальное авиационное и космическое агентство. URL: <http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/> (дата обращения: 12.05.2018).
6. *Оледенение Тянь-Шаня* / отв. ред. М.Б. Дюргеров, Лю Шаохай, Се Зичу. М., 1995. 233 с.
7. *Подрезов О.А.* Горная климатология и высотная климатическая зональность Кыргызстана. Бишкек: Изд-во КPCУ, 2014. 170 с.
8. *Пономаренко П.Н.* Атмосферные осадки Киргизии / под ред. О.А. Дроздова. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 134 с.
9. *Рыскаль М.О., Павлова И.А.* Методика подбора точек сетки ГРИД для анализа осадков модели TMPA по данным спутника TRMM на территории Кыргызстана // Вестник КPCУ. 2018. №18. С. 181–186.
10. *Huffman G.J., Adler R.F., Bolvin D.T., Gu G., Nelkin E.J., Bowman K.P., Hong Y, Stocker E.F. and Wolff D.B.* The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales // Hydrometeorol. 2007. P. 38–55.
11. *Kawsar P., Gairola R.M.* Validation of TRMM-rainfall variability with ground based rainfall observations over Bangladesh. Pilot Project Report, Meteorology and Oceanography Group Space Applications Center (ISRO), Ahmedabad, 2007.
12. *Karaseva M.O., Prakash S., Gairola R.M.* Validation of high-resolution TRMM-3B43 precipitation product using rain gauge measurements over Kyrgyzstan // Theoretical and Applied Climatology. 2011. Vol. 108. No. 1-2, Pp. 147–157.
13. Xie P, Arkin P.A. Analyses of global monthly precipitation using gauge observations, satellite estimates and numerical model predictions // Climate. 1996. Pp. 840–858

References

1. Atlas Kirgizskoj SSR. Tom 1. Prirodnye usloviya i resursy [The Atlas of Kirgizia USSR. Volume 1. Nature elements and resources] (1987), GUGK, Moscow, Russia.
2. Zaks. L. (1976) Statisticheskoe ocenivaniya. [The statistical estimation] Translated by. V.N. Varygina. Under ed. Y.P. Adler, V.G. Gorskiy. Statistika, Moscow, Russia
3. Ryazanceva, Z.A (ed.) (1965), Klimat Kirgizskoj SSR [Climate of Kirgizia USSR] – Ilim, Frunze, Russia.
4. Kuzmichyonok V.A. (2008) Cifrovye modeli harakteristik uvlazhneniya Kyrgyzstana (Matematiko-kartograficheskoe modelirovanie) [Digital models of humidification elements (Math-cartographical simulation)], KRSU, Bishkek, Kyrgyzstan.
5. National Aeronautics and Space Administration (NASA) official web-site URL: <http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/> (Accessed 12 of May 2018)
6. Oledenenie Tyan'-SHanya [the Tien-Shan glaciation] (1995), in Dyurgerov M.B. (Russia), Lyu SHAohaj and Se Zichu (China) (ed.), Moscow, Russia.
7. Podrezov O.A. (2014) Gornaya klimatologiya i vysotnaya klimaticheskaya zonal'nost' Kyrgyzstana [The mountains climatology and climate altitude zonality of Kyrgyzstan], KRSU, Bishkek, Kyrgyzstan.
8. Ponomarenko P.N. (1976) Atmosfernye osadki Kirgizii [The precipitation of Kyrgyzstan] in Dроздов O.A. (ed). Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia.
9. Ryskal, M and Pavlova, I (2018), “Methodology of grid points selection analysis of TMPA model using TRMM satellite data over Kyrgyzstan“, Bulletin of KRSU, vol. 18, pp. 181-186.

10. Huffman G.J., Adler R.F., Bolvin D.T., Gu G., Nelkin E.J., Bowman K.P., Hong Y, Stocker E.F. and Wolff D.B., (2007). *The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales*. J Hydrometeorol 8:38–55

11. Kawsar P., Gairola R.M., (2007). *Validation of TRMM-rainfall variability with ground based rainfall observations over Bangladesh*. Pilot Project Report, Meteorology and Oceanography Group Space Applications Center (ISRO), Ahmedabad, India.

12. Karaseva, M. O., Prakash, S. and Gairola, R. M., (2011). *Validation of high-resolution TRMM-3B43 precipitation product using rain gauge measurements over Kyrgyzstan*. Theoretical and Applied Climatology, vol. 108, no. 1-2, pp. 147–157.

13. Xie P, Arkin P.A., (1996). *Analyses of global monthly precipitation using gauge observations, satellite estimates and numerical model predictions*. J Climate 9:840–858

Поступила в редакцию:30.10.2018

Сведения об авторах

Подрезов Олег Андреевич

доктор географических наук, профессор кафедры метеорологии, экологии и охраны окружающей среды естественно-технического факультета Кыргызско- Российского Славянского университета; Кыргызская Республика, 720000, г. Бишкек, ул. Киевская 44

About the authors

Oleg A. Podrezov

Doctor of Geographical Sciences, Professor, Department of Meteorology, Ecology and Environmental Protection, Faculty of Science and Technology, Kyrgyz-Russian Slavic University; 44, Kievskaya st., Bishkek, 720000, Kyrgyz Republic

e-mail: meteokaf_krsu@mail.ru

Рыскаль Марина Олеговна

аспирант кафедры метеорологии, экологии и охраны окружающей среды; инженер-синоптик Бишкекского авиационного метеорологического центра, ГП «Кыргызаэронавигация»; Кыргызская Республика, 720062, г. Бишкек, Аэропорт «Манас»

Marina O. Ryskal'

Postgraduate Student, Department Meteorology, Ecology and Environmental Protection, Kyrgyz-Russian Slavic University; Engineer Forecaster of Bishkek Aviation Meteorological Center, Kyrgyzaehronavigaciya; «Манас» Airport, Bishkek, 720062, Kyrgyz Republic

e-mail: marina_karaseva87@mail.ru

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Подрезов О.А., Рыскаль М.О. Валидация данных по осадкам, получаемых по данным мульти спутниковой модели TMPA для горной территории Кыргызстана // Географический вестник = Geographical bulletin. 2019. №1(48). С. 63–74. doi 10.17072/2079-7877-2019-1-63-74

Please cite this article in English as:

Podrezov O.A., Ryskal' M.O. validation of precipitation data of multi satellite tmpa model for the Kyrgyzstan mountainous TERRITORY // Geographical bulletin. 2019. №1(48). P. 63–74. doi 10.17072/2079-7877-2019-1-63-74