

УДК 551.501.777 (575.2)

МЕТОДИКА ПОДБОРА ТОЧЕК СЕТКИ ГРИД ДЛЯ АНАЛИЗА ОСАДКОВ МОДЕЛИ TMPA ПО ДАННЫМ СПУТНИКА TRMM НА ТЕРРИТОРИИ КЫРГЫЗСТАНА

М.О. Рыскаль, И.А. Павлова

Методика подбора точки сетки ГРИД с данными осадков по модели TMPA-3B43 описывает процесс анализа и подбора корректной точки, которая в дальнейшем будет использоваться для сравнительного анализа осадков спутниковых данных и наземных измерений. При подборе точки используется комплексный подход, учитывающий отдаленность, высоту над уровнем моря, локальные орографические особенности, корреляцию с наземными измерениями. Методика подбора точки может быть применена не только для осадков, но и других характеристик климата.

Ключевые слова: осадки; спутниковые данные; наземные данные; подбор точки сетки ГРИД.

TRMM СПУТНИГИНИН МААЛЫМАТЫ БОЮНЧА КЫРГЫЗСТАНДЫН АЙМАГЫНДА TMPA МОДЕЛИНИН ЖААН-ЧАЧЫНДАРДЫ ТАЛДООСУ ҮЧҮН ГРИД ТОРЧОСУНУН ЧЕКИТТЕРИН ТАНДОО МЕТОДИКАСЫ

Бул макалада TMPA – 3B43 модели боюнча жаан-чачындардын маалыматтары менен ГРИД торчосунун чекиттерин тандоо методикасы мындан ары жаан-чачындарды спутниктик маалыматтар жана жердеги ченөөлөр боюнча салыштырма талдоо үчүн колдонула турган талдоо жана корректүү чекитти тандоо процессин чагылдырат. Чекитти тандоодо алыстыкты, деңиз деңгээлинен жогорулугун, локалдык орографиялык өзгөчөлүктөрүн, жердеги ченөөлөрдүн корреляциясын эске алуучу комплекстүү мамиле колдонулат. Чекитти тандоо методикасы жаан-чачындар үчүн гана эмес климаттын башка мүнөздөмөлөрүндө да колдонулушу мүмкүн.

Түйүндүү сөздөр: жаан-чачындар; спутниктин маалыматтары; жердеги маалыматтар; ГРИД торчосунун тандоо чекити.

METHODOLOGY OF GRID POINTS SELECTION ANALYSIS OF TMPA MODEL USING TRMM SATELLITE DATA OVER KYRGYZSTAN

M.O. Ryskal, I.A. Pavlova

Methodology of grid point's selection using rainfall satellite data of TMPA-3B43 model is described process of analysis and selection of correct grid point, which will be used for comparative analysis between satellite and ground observations. During the selection of grid composite method has to use. Several parameters ought to take into account: distance, altitude, local orographic specifications, correlation with ground data. Methodology of grid point's selection can be utilized not only for precipitation but also for another climate characteristic.

Keywords: precipitation; satellite data; ground data; GRID point's selection.

Исследованию режима осадков над территорией Кыргызстана посвящено большое количество работ [1–3]. Большинство исследований основываются на данных наземных наблюдений сети метеорологических станций, имеются также работы, посвященные картографированию полей осадков на основе разработанных моделей [4]. На сегодняшний день в Кыргызстане работает около 35

метеорологических станций, на которых производится измерение осадков. При этом распределение наземных осадкомеров неравномерно – большинство из них расположено в равнинной подгорной территории [5]. Эти точечные данные являются показательными только для небольшой, прилегающей к станции территории. Использование лишь наземных наблюдений для восстановления поля

осадков над обширными территориями, особенно для труднодоступной горной местности, недостаточно [6]. Альтернативной возможностью изучения пространственно-временного распределения осадков являются новые технологии, связанные со спутниковыми данными. Количество осадков, полученных по спутниковым данным, обладают более полным пространственно-временным покрытием по сравнению с наземными измерениями, однако дистанционные средства не могут полностью заменить наземные измерения. Наземные наблюдения (как фактически наблюдаемая и напрямую измеренная величина) являются более надежными, можно сказать “эталоном”, именно их надо использовать для валидации спутниковой информации, в том числе для улучшения алгоритмов расчета спутниковых данных. Поэтому для наиболее точной оценки количества осадков и их распределения целесообразно использовать все виды имеющейся информации. При этом основой могут быть спутниковые данные, которые должны обязательно проходить валидацию наземными измерениями.

Цель данной работы – представление созданной методики подбора спутниковых данных (модель ТМРА-3В43) по осадкам в заданной точке на территории Кыргызстана для дальнейшего сравнения их с данными наземных метеостанций.

Исходные данные. Наземные данные представляют собой месячные суммы осадков на 35 метеорологических станциях Кыргызстана. Спутниковые данные – это месячные суммы осадков по модели ТМРА-3В43 (Tropical Rainfall Measuring Mission Multi-satellite Precipitation Analysis). Период исследования составляет 10 лет с 1998 по 2007 г.

ТМРА – это мультиспутниковая модель по анализу осадков в тропиках. Цель данной модели – получение наиболее точных данных об осадках над огромным регионом от экватора до умеренных широт (45°). При этом используются данные инфракрасного, видимого и микроволнового сенсоров измерения осадков, установленные на

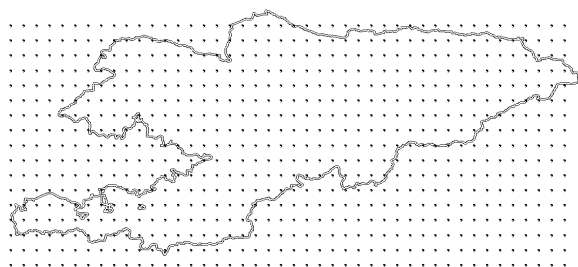


Рисунок 1 – Сетка ГРИД, с размерами ячейки $0,25 \times 0,25^\circ$

спутниках TRMM, SSM/I, AMSR, AMSU [7]. Версия ТМРА 3В43 предоставляет собой стандартный продукт суммы осадков за месяц, который выводится после осреднения продукта модели ТМРА 3В42 V6 (суточная сумма). Данная модель имеет очень высокое временное разрешение (3 часа) и пространственное разрешение $0,25 \times 0,25^\circ$ (рисунок 1).

Методика и результат исследования. Территорию Кыргызстана покрывают около 340 узлов сетки при разрешении $0,25 \times 0,25^\circ$, в которых имеются данные осадков по спутниковым данным. Необходимо корректно подобрать точку сетки ГРИД с данными осадков по модели (далее – спутниковая точка), которая будет наиболее подходящей для сравнения с данными осадков определенной метеостанции. При подборе спутниковой точки использовали комплексный подход, учитывающий отдаленность точки от метеорологической станции (МС), высоту над уровнем моря, локальные орографические особенности, корреляцию осадков по спутниковым данным с наземными измерениями. Узел сетки может находиться на значительном расстоянии от МС (до 28 км), что существенно для осадков в горной местности. Если при подборе спутниковой точки ориентироваться только на близость ее расположения, можно совершить ошибку. Так, например, один узел сетки спутниковых данных будет находиться на меньшем расстоянии, чем остальные узлы, но высота над уровнем моря в этом месте может быть значительно выше (ниже), чем на метеорологической станции, соответственно количество осадков здесь будет существенно завышено (занижено). В связи с этим, анализировали значения всех близлежащих спутниковых точек вокруг каждой метеостанции. Было условно принято, что всем точкам, в зависимости от их положения к метеостанции, был присвоен порядковый номер (1 – верхняя левая, 2 – верхняя правая, 3 – нижняя правая, 4 – нижняя левая).

Приведем пример комплексного анализа для МС Нарын, расположенной на высоте 2040 м. Вблизи станции находятся четыре спутниковые точки (рисунок 2). Точка № 2 и точка № 3 имеют высоту более 3000 м (таблица 1), что уже делает данные этих спутниковых точек неподходящими для использования их по району МС Нарын. Точка № 2 находится на удалении 25 км от МС Нарын, осадков в среднем за месяц здесь выпадает больше (36,3 мм), другие характеристики осадков также значительно отличаются, однако коэффициент корреляции между данными этой точки и МС Нарын достаточно высокий – 0,69. Точка № 3 находится на относительно малом удалении от станции – всего 13 км, количество выпадающих

осадков почти совпадает с количеством на МС Нарын, и коэффициент корреляции в этом случае достаточно высокий – 0,86. Точка № 1 находится на достаточно большом удалении от МС Нарын (23 км), на высоте 2320 м над уровнем моря, т. е. на 280 м выше, чем метеостанция. Среднее месячное количество осадков за изучаемый период здесь 29,7 мм, т. е. больше всего на 3,3 мм, чем по МС Нарын. Спутниковая точка № 4 является ближайшей и находится на удалении 11 км. Разница в высоте над уровнем моря с МС Нарын несколько меньше, чем у точки № 1, и составляет 260 м. Среднее месячное количество осадков за изучаемый период здесь 27,2 мм, всего на 0,8 мм больше чем на МС Нарын, и соответственно, коэффициент корреляции наибольший по сравнению с другими спутниковыми точками – 0,88. Исходя из этого, можно сделать вывод, что данным МС Нарын по приведенным суммам осадков за исходный период больше всего подходят данные спутниковой точки № 4.

В таблице 2 приведен расчет разницы месячных сумм осадков между данными спутниковых и наземных наблюдений МС Нарын за исследуемый период. Как видно из данных таблицы, максимальная разница наблюдается между данными станции и точкой № 2, минимальная разница соответствует точке № 1, минимальная средняя разница – точке № 4. Эти данные еще раз подтверждают, что среди спутниковых точек для МС Нарын, точка № 4 является наиболее подходящей для использования, в том числе и валидации.

Однако не всегда можно подобрать лишь одну определенную спутниковую точку, которая бы соответствовала наземной лучше, чем остальные. В случае, если при подборе точки для сравнения наземных и спутниковых значений метеостанция находится на значительном удалении от всех узлов сетки спутниковых данных, либо ни одна точка не подходит значительно лучше других, можно использовать совместную интерполяцию этих точек. Основой такого подхода в данном случае является технология Крессмана, в соответствии с которой самая близкая к узлу сетки точка измерения осадков имеет наибольший вес [8]:

$$Wi(x) = \frac{Di^2 - Ri^2}{Di^2 + Ri^2} \quad (1)$$

Так, в пределах некоторого радиуса влияния (Di) от точки измерения (i), значение метеовеличины берется с определенным весом (Wi). Ri – расстояние от исходной точки i (данные метеостанции) до узла сетки x (спутниковые данные). Радиус влияния Di подбирается экспериментально так, чтобы выполнялось условие $Ri < Di$ (рисунок 3). Такой подход также принято называть объективным анализом.



Рисунок 2 – Пример положения метеостанции Нарын и близлежащих узлов сетки спутниковых данных ТМРА 3В43

Таблица 1 – Характеристики, используемые для комплексного анализа подбора спутниковых точек на примере МС Нарын, за период с января 1998 г. по сентябрь 2007 г.

Характеристика	Точка №1	Точка №2	Точка №3	Точка №4	МС Нарын
Сумма осадков за весь период, мм	3481	4243	3171	3188	3093
Максимальное количество осадков за месяц, мм	83	128	73	81	90
Минимальное количество осадков за месяц, мм	2,8	4,5	2,7	2,8	0
Среднее месячное количество осадков, мм	29,8	36,3	27,1	27,2	26,4
Удаление точки от МС, км	23	25	13	11	
Высота точки над уровнем моря, м	2320	3570	3400	2300	2040
Коэффициент корреляции	0,86	0,69	0,86	0,88	

Таблица 2 – Разница месячных сумм осадков между данными спутниковых и наземных наблюдений для МС Нарын за период с января 1998 г. по сентябрь 2007 г.

Характеристика	Точка №1	Точка №2	Точка №3	Точка №4
Максимальная разница, мм	47	119	42	40
Минимальная разница, мм	0,1	0,1	0,3	0,2
Средняя разница, мм	8	13	8	8

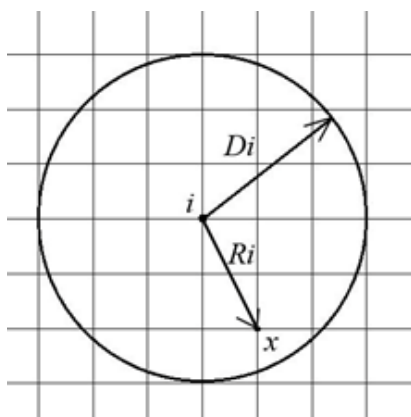


Рисунок 3 – Схема совместной интерполяции по методу Крессмана

Таким образом, вес величины зависит от расстояния до точки измерения, и уменьшается при удалении от нее. При этом эту спутниковую точку желательно подобрать так, чтобы корреляция между ней и данными метеостанции была как можно выше.

При использовании весовых коэффициентов Крессмана их рекомендуется нормализовать так, чтобы выполнялось условие (рисунок 3):

$$\sum_{i=1}^{N(x)} W_i(x) = 1. \quad (2)$$

На рисунке 4 приведен пример применения совместной интерполяции спутниковых данных в нескольких узлах для сравнения их с наземными



Рисунок 4 – Применение совместной интерполяции спутниковых данных в нескольких узлах для сравнения их с наземными измерениями МС Узген

измерениями МС Узген. Как видно на рисунке 4, метеостанция находится в зоне подножья, высоты точек, в основном, имеют небольшие различия и расположены примерно на равном расстоянии от станции.

Для того чтобы подобрать подходящую для сравнения спутниковую точку, необходимо проанализировать данные всех четырех точек (таблица 3). Как видно из данной таблицы, осадки, полученные по спутниковым данным, значительно меньше (на 30–50 %), чем по данным МС Узген. Все точки имеют достаточно высокий коэффициент корреляции (более 0,8). Как видно, данные в точках имеют примерно одинаковые характеристики

Таблица 3 – Характеристики, используемые для комплексного анализа подбора спутниковых точек на примере МС Узген за период с января 1998 г. по сентябрь 2007 г.

Характеристика	Точка №1	Точка №2	Точка №3	Точка №4	МС Узген
Сумма осадков за весь период, мм	4070,38	4222,87	4070,38	3993,80	6411
Максимальное количество осадков за месяц, мм	114,23	115,87	114,23	116,38	237
Минимальное количество осадков за месяц, мм	0,22	0,12	0,22	0,06	0
Среднее месячное количество осадков, мм	34,78	36,09	34,78	34,13	54,79
Удаление точки от МС, км	18	12	17	21	
Высота точки над уровнем моря, м	1030	1150	1860	1010	1012
Коэффициент корреляции	0,85	0,84	0,85	0,82	

Таблица 4 – Расчет весовых коэффициентов по методу Крессмана для спутниковых точек и количества осадков с учетом этих коэффициентов на примере МС Узген

Характеристика	X1	X2	X3	X4	Сумма
D_i , км	22	22	22	22	
R_i , км	18	12	17	21	
W_i	0,198	0,541	0,252	0,046	1,038
Среднее количество осадков, мм	34,8	36,1	34,8	34,1	
Количество осадков, в каждой точке с учетом веса, мм	6,9	19,5	8,8	1,6	36,8

Таблица 5 – Результаты подбора спутниковых точек для каждой метеостанции (жирным шрифтом выделены точки, имеющие наибольший вес, при использовании метода Крессмана)

Станция	Спутниковая точка №	Координаты спутниковых точек		Используемый метод
		Широта, °с.ш.	Долгота, °в.д.	
Жаны-Жер	1	43,375	74,125	Метод Крессмана
	2	43,375	74,375	
	3	43,125	74,375	
	4	43,125	74,125	
Бишкек	2	42,875	74,625	Комплексный анализ
Жалал-Абад	2	41,125	73,125	Комплексный анализ
Кара-Балта	2	42,875	73,875	Комплексный анализ, среднее
	3	42,625	73,845	
Токмок	3	42,625	75,375	Комплексный анализ
Токтогул	1	41,875	72,625	Комплексный анализ
Кара-Суу	4	40,625	72,875	Комплексный анализ
Кызыл-Адыр	1	42,875	71,625	Комплексный анализ
Узген	1	40,875	73,125	Метод Крессмана
	2	40,875	73,375	
	3	40,625	73,375	
	4	40,625	73,125	
Ош	1	40,625	72,625	Комплексный анализ
Иссык-Ата	3	42,625	75,125	Комплексный анализ
Баткен	2	40,125	70,875	Комплексный анализ
Исфана	2	39,875	69,625	Комплексный анализ
Талас	4	42,375	72,125	Комплексный анализ
Ноокат	3	40,125	72,625	Комплексный анализ
Пача-Ата	1	41,625	71,625	Метод Крессмана
	2	41,625	71,875	
Гульча	2	40,375	73,625	Комплексный анализ
Байтик	2	42,875	74,625	Комплексный анализ, среднее
	4	42,625	74,375	
Балбай	3	42,625	78,375	Комплексный анализ
Чолпон-Ата	4	76,875	42,625	Комплексный анализ
Чаек	4	41,875	74,375	Комплексный анализ
Балыкчы	3	42,375	76,375	Комплексный анализ
Каракол	2	42,625	78,625	Комплексный анализ
Кызыл-Суу	4	42,625	74,375	Комплексный анализ
Ак-Терек	2	41,375	72,875	Комплексный анализ
Чаткал	4	41,875	71,125	Комплексный анализ
Ит-Агар	3	42,125	73,125	Метод Крессмана
	4	42,125	72,875	
Нарын	4	41,375	75,875	Комплексный анализ
Суусамыр	3	42,125	74,125	Комплексный анализ
Ала-Арча	1	42,625	74,375	Комплексный анализ
Чон-Ашуу	4	42,375	78,625	Комплексный анализ
Кара-Кужур	3	41,875	76,375	Комплексный анализ
Сары-Таш	2	42,375	73,875	Метод Крессмана
	4	42,125	73,625	
Тео-Ашуу	1	42,375	73,625	Метод Крессмана
	2	42,375	73,875	
Тянь-Шань	4	41,875	78,125	Комплексный анализ

при проведении комплексного анализа. В этом случае можно прибегнуть к совместной интерполяции методом Крессмана. В таблице 4 приведен расчет весовых коэффициентов по методу Крессмана для исследуемой метеостанции.

Радиус влияния $Di = 22$ км был подобран так, чтобы все Ri были менее Di . При этом 1. Таким образом видно, что наибольшим весом обладает точка № 2 – 0,541, а точка № 4 – наименьшим – 0,046. Следующим шагом умножаются полученные весовые коэффициенты на среднее месячное количество осадков для каждой точки. Суммируя эти значения, получаем среднее значение совместной интерполяции с учетом веса для этих четырех точек = 36,791 мм, которое и будет использовано для валидации. Тем же способом можно рассчитать среднее взвешенное значение спутниковых данных за каждый месяц в течение всего исследуемого периода. Таким образом, применение метода Крессмана не дало существенного улучшения результата.

Из 35 метеорологических станций, используемых в работе, на 26 станциях применялся метод комплексного анализа, а для 9 станций – метод Крессмана (таблица 5).

Таким образом, для валидации спутниковых данных в первую очередь необходимо корректно подобрать исходные точки, по которым в дальнейшем будет проводиться сравнительный анализ. Если однажды такая точка будет подобрана, в дальнейшем можно постоянно использовать ее для сравнения с определенной метеостанцией. Эту точку также можно использовать не только для

сравнительного анализа осадков спутниковых данных и наземных измерений, но других характеристик климата.

Литература

1. Xie P. Global precipitation: a 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs / P. Xie, P.A. Arkin // Bull American Meteorol. Soc. 1997. 78. P. 2539–2558.
2. Павлова И.А. Максимальный водозапас снежного покрова и снеговые нагрузки на территории Кыргызстана / И.А. Павлова, О.А. Подрезов, А.О. Подрезов // Вестник КРСУ. 2011. Том 11. № 12. С. 17–25.
3. Подрезов О.А. Горная климатология и высотная климатическая зональность Кыргызстана / О.А. Подрезов. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2014. 170 с.
4. Подрезов О.А. Современное изменение осадков на территории Северного и Северо-Западного Кыргызстана / О.А. Подрезов, А.О. Подрезов // Вестник КРСУ. 2017. Том 17. № 8. С.189–197.
5. Пономаренко П.Н. Атмосферные осадки Киргизии / П.Н. Пономаренко; под ред. О.А. Дроздова. Л.: Гидрометеиздат, 1976. С. 32–33.
6. URL: [http:// disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/ovas/](http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/ovas/) (дата обращения: 20.06.2014).
7. Cressman G.P. An operative objective analysis scheme / G.P. Cressman // Mon. Wea. 1959. Rev. 87. P. 367–374.
8. Gilchrist B. An experiment in objective analysis / B. Gilchrist, G.P. Cressman // Tellus. 1954. № 6. Vol. 4. P. 309–318.