

УДК 551.501.777(23.0)(575.2)

ОЦЕНКА ГОДОВЫХ И СЕЗОННЫХ СУММ ОСАДКОВ ДЛЯ ГОРНЫХ РАЙОНОВ КЫРГЫЗСТАНА, ПОЛУЧЕННЫХ ПО МУЛЬТИСПУТНИКОВОЙ МОДЕЛИ ТМРА

М.О. Рыскаль

Рассматривается оценка годовых и сезонных сумм осадков по спутниковым и наземным данным посредством их картографической визуализации. Данные дистанционного зондирования представлены мультиспутниковой моделью ТМРА-3В43, а наземные – данными 35 метеостанций Кыргызстана. Целью работы является получение данных после совместной интерполяции этих двух видов измерений, с использованием объективного анализа. В результате совмещения спутниковых и наземных данных для Кыргызстана был получен абсолютно новый продукт распределения сумм осадков за год и сезоны. Установлено, что модель ТМРА достаточно верно отражает основные структурные части поля осадков в Кыргызстане, давая, однако, в целом более сглаженную картину, чем это следует из наземных наблюдений метеостанций.

Ключевые слова: Кыргызстан; спутниковые и наземные данные; совместная интерполяция; карты сезонных и годовых сумм осадков.

КЫРГЫЗСТАНДЫН ТООЛУУ РАЙОНДОРУ ҮЧҮН ТМРА МУЛЬТИ СПУТНИКТИК МОДЕЛИНИН МААЛЫМАТТАРЫ БОЮНЧА ЖЫЛДЫК ЖАНА СЕЗОНДУК ЖААН-ЧАЧЫНДАРДЫН СУММАСЫН БААЛОО

Бул эмгекте спутниктик жана жердеги маалыматтардын картографиялык көрүнүшү аркылуу жылдык жана сезондук жаан-чачындардын суммасына баалоо жүргүзүү каралган. Аралыктан изилдөөнүн маалыматтары ТМРА-3В43 мультиспутниктик модели аркылуу берилген, ал эми жердегиси - Кыргызстандын 35 метеостанциясынын маалыматтары. Изилдөөнүн максаты болуп объективдүү анализди пайдалануу менен ушул эки өлчөөнүн түрүн бириктирип, интерполяциялоодон кийинки маалыматтарды алуу эсептелет. Спутниктик жана жердеги алынган маалыматтарды бириктирүүнүн натыйжасында Кыргызстан үчүн жылдык жана сезондук жаан-чачындын суммаларын бөлүштүрүүнүн абсолюттук жаңы продуктысы алынган. ТМРА модели Кыргызстандагы жаан-чачындар талаасынын негизги структуралык бөлүктөрүн жетишерлик туура чагылдыра тургандыгы белгиленди, бирок метеостанциялардын жердеги байкоолоруна караганда, жалпысынан маалыматтар бир кыйла жылмаланган.

Түйүндүү сөздөр: Кыргызстан; спутниктик жана жердеги маалыматтар; биргелешкен интерполяциялоо; сезондук жана жылдык жаан-чачындардын картасы.

ESTIMATION OF ANNUAL AND SEASONAL PRECIPITATION AMOUNTS OBTAINED USING THE MULTI-SATELLITE TMPA MODEL FOR MOUNTAINOUS REGIONS OF KYRGYZSTAN

М.О. Ryskal

The paper considers the assessment of annual and seasonal precipitation amounts from satellite and ground-based data through their cartographic visualization. Remote sensing data is represented by the multi-satellite model TMPA-3B43, and ground-based – by data from 35 weather stations in Kyrgyzstan. The aim of the work is to obtain data after joint interpolation of these two types of measurements, using objective analysis. As a result of combining satellite and ground truth data for the years and seasons precipitation amounts, an absolutely new product of rain distribution was obtained for Kyrgyzstan. It was found that the TMPA model fairly correctly reflects the main structural parts of the precipitation field in Kyrgyzstan, giving, however, a generally smoother picture than it follows from ground-based meteorological stations.

Keywords: Kyrgyzstan; satellite and ground truth data; joint interpolation; seasonal and annual precipitation maps.

Введение. Одним из самых наглядных способов представления различной информации, в том числе и метеорологической, является карта. Однако создание карт, особенно в метеорологии, это очень сложная задача, так как метеорологические характеристики имеют значительную пространственную и временную неоднородность распределения, в особенности это касается атмосферных осадков, тем более в горной местности. Имеющиеся методики построения карт осадков [1, 2] предназначены для орографически однородных территорий и не учитывают специфику горного рельефа. Хотя много исследований посвящено распределению осадков в горах [3, 4–8], в настоящее время еще не существует общепринятой методики их объективного картографирования.

В Кыргызстане наиболее часто используют карты осадков, приведенные в [9]. Авторы этих карт – П.Н. Пономаренко и А.А. Григорьев. Для построения этих карт были использованы данные большого количества наземных метеостанций, осадкомерных постов и суммарных осадкомеров, а также вспомогательные косвенные данные (уравнения связи летней температуры воздуха с таянием ледников на их границе, и многолетние геоботанические и почвенные карты республики). В более поздней работе В.А. Кузмиченка для построения карт был использован метод математико-картографического моделирования. В основе этих карт лежали многолетние климатические данные метеостанций, гидрологических постов и суммарных осадкомеров, а также косвенные расчеты осадков в нивальной зоне по данным наблюдений за температурой воздуха на 6 реперных ледниках.

Однако в связи со значительным сокращением количества наземных станций, а также большим вниманием, уделяемому использованию водных ресурсов в Кыргызстане – весьма актуальным становится вопрос максимально эффективного использования новых видов измерений, а именно спутниковой информации, обладающей хорошим пространственно-временным разрешением. Для Кыргызстана спутниковые данные представляют особую ценность, поскольку редкая сеть наземных станций и значительная пестрота в распределении осадков не позволяют полноценно определить фактическое распределение осадков лишь по наземным данным, особенно в высокогорных районах.

Однако прежде чем использовать спутниковые данные по осадкам, обязательна их всесторонняя валидация. Как уже было отмечено в [10], между спутниковыми и наземными наблюдениями прослеживается достаточно хорошая связь, в среднем по Кыргызстану коэффициент корреляции составляет 0,63. Также оказалось, что большие различия

в количестве осадков наблюдаются в районах с довольно низкими (МС Балыкчы) и высокими (МС Ак-Терек-Гава) суммами осадков, где спутниковая модель соответственно завышает и занижает фактические данные. Тем не менее, на большей части территории Кыргызстана спутниковые данные могут быть весьма успешно применены. Благодаря построению карт осадков можно также проводить анализ распределения сумм осадков по всей территории республики, особенно в горных районах, не освещенных данными метеостанций.

Исходные данные и методика исследования. В настоящей работе были построены схематические карты средних сумм осадков за год и сезоны по данным 35 наземных метеостанций Киргизгидромета и мультиспутниковой модели TMPA-3B43-V6, за период с 1998 по 2007 г. Исходные спутниковые данные, представляющие собой сумму осадков за месяц, были взяты с сайта НАСА [11].

Расчетные данные по модели TMPA-3B43-V6 представляют собой суммы осадков за каждый месяц в узлах сетки $0,25 \times 0,25^\circ$, при этом территорию Кыргызстана покрывает 351 точка со спутниковыми данными. Это на порядок больше, чем число действующих в настоящее время 32 станций, большая часть которых расположена в низкогорной и среднегорной зонах.

В первую очередь к исходным данным был применен метод их совместной объективной интерполяции (технология Крессмана) [12]. Суть его заключается в следующем: совмещаются спутниковые и наземные данные, при этом используется метод интерполяции, при котором ближайшие точки получают наибольший весовой коэффициент. Объективный анализ является наилучшим методом коррекции спутниковых данных наземными [13]. Технология Крессмана была реализована благодаря специальной программе, любезно предоставленной автору во время стажировки в Центре образования по космическим наукам и технологиям в Азиатском и Тихоокеанском регионах (CSSTEAP).

Далее для оценки осадков были получены и проанализированы карты распределения осадков как до, так и после объективного совмещения спутниковых и наземных данных. Эти карты были построены с использованием программы построения карт QGIS (Quantum GIS – свободная кроссплатформенная геоинформационная система). В основе построения слоя осадков лежит метод линейной интерполяции данных (модифицированный метод Шепарда – интерполяция на неравномерной сетке).

В качестве примера на рисунке 1 представлена схематическая карта среднегодовых сумм осадков над территорией Кыргызстана по спутниковым

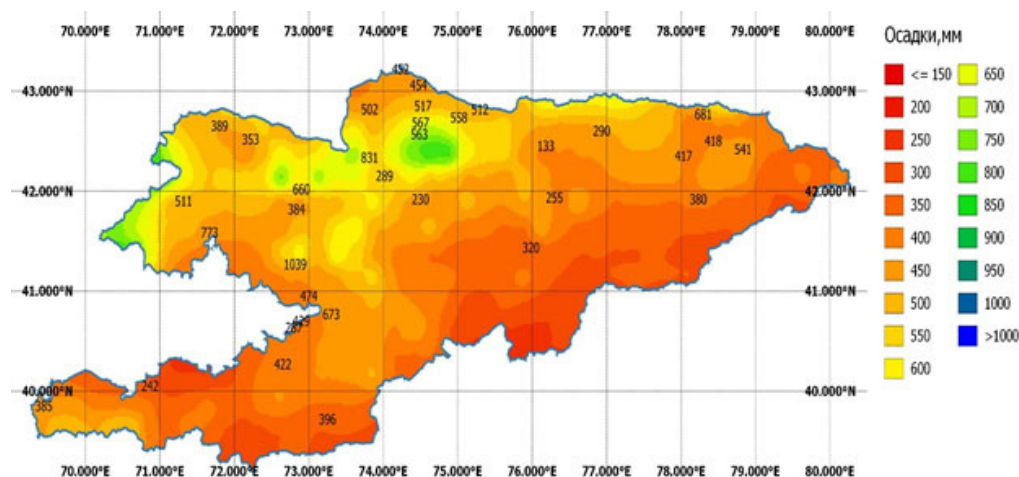


Рисунок 1 – Карта среднегодовых сумм осадков над территорией Кыргызстана по спутниковым и наземным наблюдениям за период с 1998 по 2007 г.

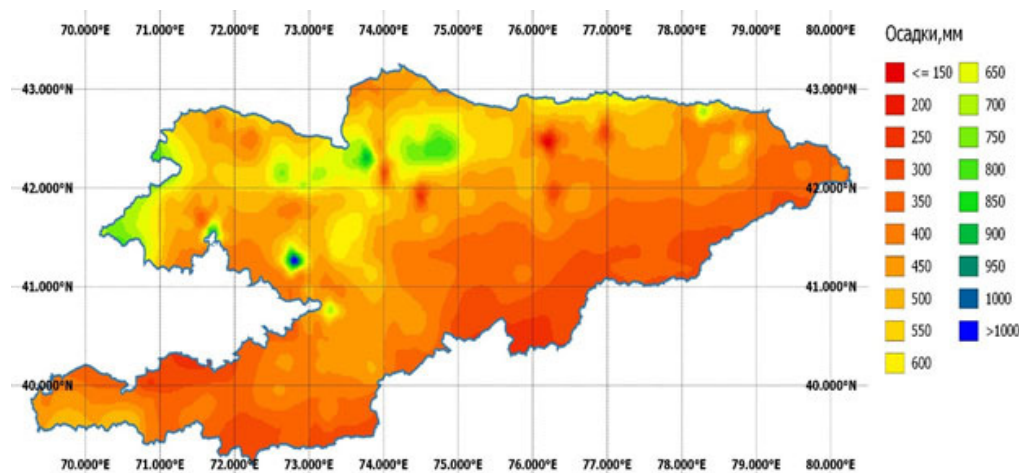


Рисунок 2 – Карта среднегодовых сумм осадков над территорией Кыргызстана за период с 1998 по 2007 г. после применения объективного анализа

и наземным наблюдениям за период с 1998 по 2007 г. На ней цветом выделены спутниковые данные, а наземные представлены в виде цифровых подписей сумм осадков. При нанесении на основную карту со спутниковой информацией наземных данных в виде точек, можно легко найти разницу между суммами осадков за интересующий нас период.

На рисунке 2 представлена карта после объективного совмещения данных. На ней видно, что поле осадков существенно улучшилось, особенно вблизи наземных станций. Таким образом, спутниковые данные будут в первую очередь совмещены с наземными, а затем, при помощи программы QGIS, отображены в виде картографической визуализации. Такая методика для поля

осадков над территорией Кыргызстана применена впервые. Можно предположить, что новый продукт будет полезной альтернативой предыдущим исследованиям.

Использование этой технологии позволило получить карты средних сумм осадков за год и сезоны.

Обсуждение результатов исследований.

Анализ распределения среднегодовых сумм осадков по всей территории Кыргызстана (рисунок 2) показал, что основные зоны максимумов и минимумов довольно хорошо пространственно согласуются с ранее полученными картами П.Н. Пономаренко и В.А. Кузьмиченка [6, 8]. Однако по количеству осадков имеются некоторые различия. Так, видно, что по большей части Ферганского

Таблица 1 – Среднегодовые суммы осадков (мм) по данным объективного совмещения спутниковых и наземных данных для четырех климатических провинций Кыргызстана по различным высотным поясам за период с 1998 по 2007 г.

Климатическая провинция	Высотный пояс			
	Долинно-предгорный 0,5–1,2 км	Среднегорный 1,2–2,2 км	Высокогорный 2,2–3,5 км	Нивальный >3,5 км
ССЗК	350–500	350–550	500–800	750–850
ИКК зап. часть		130–450	450–600	500–700
ИКК вост. часть		350–700	400–700	400–750
ЮЗК	200–450	300–1050	300–850	300–850
ВТШ	200–300	250–350	250–600	300–650

Таблица 2 – Средние за сезон суммы осадков (мм) по данным объективного совмещения спутниковых и наземных данных для четырех климатических провинций Кыргызстана по различным высотным поясам за период с 1998 по 2007 г.

Сезон	Климатическая провинция	Высотный пояс			
		Долинно-предгорный 0,5–1,2 км	Среднегорный 1,2–2,2 км	Высокогорный 2,2–3,5 км	Нивальный > 3,5 км
Зима	ССЗК	50–180	70–220	80–240	120–240
	ИКК зап. часть		10–120	60–140	80–140
	ИКК вост. часть		40–120	40–120	60–120
	ЮЗК	50–180	80–260	70–260	70–200
	ВТШ	80–120	30–140	20–140	20–160
Весна	ССЗК	120–200	140–280	160–360	200–360
	ИКК зап. часть		40–140	120–240	140–260
	ИКК вост. часть		100–200	140–240	140–260
	ЮЗК	70–280	80–420	140–300	140–320
	ВТШ	130–160	90–230	80–240	60–260
Лето	ССЗК	60–100	70–170	140–290	140–280
	ИКК зап. часть		60–120	120–180	140–180
	ИКК вост. часть		140–230	120–240	140–240
	ЮЗК	40–80	60–170	60–180	80–180
	ВТШ	100–120	90–200	80–220	100–260
Осень	ССЗК	70–110	100–130	140–200	160–200
	ИКК зап. часть		10–100	80–140	120–160
	ИКК вост. часть		110–180	140–180	140–180
	ЮЗК	40–140	70–210	60–180	60–180
	ВТШ	50–80	20–120	40–160	40–180
Диапазон		40–280	10–420	20–360	20–360

хребта суммы осадков лежат в пределах 450–550 мм, и лишь вблизи наземных станций имеет порядок 800–1000 мм. При этом по многолетним климатическим наблюдениям известно, что здесь повсеместно выпадает порядка 700–1100 мм [9]. Одновременно после объективного анализа, различия, которые ранее наблюдались в западной части ИКК, на карте отсутствуют.

Для удобства анализа можно условно разделить полученные карты на климатические провинции и высотные пояса и представить эти данные в табличной форме (таблица 1).

Оказалось, что наибольшее среднегодовое количество осадков, более 1000 мм/год, характерно для среднегорного пояса Юго-Западного Кыргызстана (ЮЗК). Однако в высокогорном и нивальном поясе этой же климатической провинции выпадает меньшее количество осадков – до 850 мм/год. Это показатель того, что на этих высотах в ЮЗК нет метеостанций, которые могли бы откорректировать спутниковые данные. В среднем количество осадков здесь меняется от 200 до 1050 мм/год.

Также довольно большое количество осадков выпадает в высокогорном и нивальном поясе Северного, Северо-Западного Кыргызстана (СЗК), и составляет 500–850 мм/год, что хорошо согласуется с данными многолетних климатических наблюдений [8, 9]. В зависимости от высоты количество осадков здесь меняется от 350 до 850 мм/год.

Во Внутреннем Тянь-Шане (ВТШ) также наблюдается рост осадков с высотой, однако не столь значительный как в других климатических провинциях. В среднем количество осадков здесь меняется от 200 до 650 мм/год.

Наименьшее количество осадков выпадает в западной части Иссык-Кульской котловины (ИКК) в среднегорном поясе – от 130 до 450 мм/год. Что объясняется, прежде всего, аномально малым годовым количеством осадков на МС Балыкчы. В восточной части ИКК, в среднегорном поясе выпадает несколько большее количество осадков – от 350 до 700 мм/год. В высокогорном и нивальном поясах ИКК осадки меняются в пределах 400–750 мм/год.

Аналогичным образом представлены данные для сумм осадков по сезонам (таблица 2).

Оказалось, что на большей части территории Кыргызстана максимальное количество осадков приходится на весенне-летний период. Меньшее количество осадков выпадает осенью и зимой. Разница в распределении сезонных сумм осадков значительна и зависит как от климатической провинции, так и от высотного пояса. Зимой суммы осадков меняются от 10 до 260 мм, весной – от 40 до

360 мм. Летние суммы меняются от 40 до 280 мм, осенние – от 10 до 210 мм.

В результате совмещения спутниковых и наземных данных с использованием объективного анализа, для Кыргызстана был получен абсолютно новый продукт распределения сумм осадков за год и сезоны. Таким образом, анализ результатов, карт осадков полученных для Кыргызстана, 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 особенно важно для высокогорной зоны с очень редкой осадкомерной сетью. Она позволяет увеличить и расширить имеющиеся представления о поле осадков Кыргызстана на основе альтернативного использования спутниковых данных.

Литература

1. Каган Р.Л. Осреднение метеорологических полей / Р.Л. Каган. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 211 с.
2. 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, G. Gu, E.J. Nelkin, K.P. Bowman, Y. Hong, E.F. Stocker, D.B. Wolff // J. Hydrometeorol. 2007. Rev.8. P. 38–55.
3. Алибегова Ж.Д. Статистическая структура атмосферных осадков в горных районах / Ж.Д. Алибегова., Э.Ш. Элизбарашвили. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 136 с.
4. Подрезов О.А. Горная климатология и высотная климатическая зональность Кыргызстана / О.А. Подрезов. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2014. 170 с.
5. Кереселидзе Д.Н. К осреднению полей атмосферных осадков в горных условиях / Д.Н. Кереселидзе, Э.Ш. Элизбарашвили, Ш.Э. Элизбарашвили. М.: Метеорология и гидрология, 2006. № 8. С. 54–58.
6. Кузмиченок В.А. Цифровые модели характеристик увлажнения на территории Кыргызстана (Математико-картографическое моделирование) / В.А. Кузмиченок. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2008. 229 с.
7. Оледенение Тянь-Шаня / отв. ред.: М.Б. Дюргеров (Россия), Лю Шаохай, Се Зичу (Китай). М., 1995. 233 с.
8. Пономаренко П.Н. Атмосферные осадки Киргизии / П.Н. Пономаренко; под ред. О.А. Дроздова. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 134 с.
9. Атлас Киргизской ССР. Т. 1. Природные условия и ресурсы. М.: ГУГК СССР, 1987. 157 с.
10. 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 // Theoretical and Applied Climatology. 2011. Vol. 108. № 1–2. P. 147–157.
11. URL: <http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/> (дата обращения: 18.09.2018).
12. *Cressman G.P.* An operative objective analysis scheme / G.P. Cressman // Mon. Wea. 1959. Rev.87. P. 367–374.
13. *Рыскаль М.О., Павлова И.А.* Методика подбора точек сетки ГРИД для анализа осадков модели ТМРА по данным спутника TRMM на территории Кыргызстана // Вестник КРСУ. 2018. Т. 18. № 8. С. 181–186.