

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

**ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ им. М.М. АДЫШЕВА
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ**

ИНСТИТУТ СЕЙСМОЛОГИИ

Диссертационный совет Д. 25.20.612

На правах рукописи
УДК 551.501.777.(575.2)(043.3)

РЫСКАЛЬ МАРИНА ОЛЕГОВНА

**ОЦЕНКА СУММ ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ КЫРГЫЗСТАНА
ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ**

25.00.30 – метеорология, климатология,
агрометеорология

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Бишкек – 2020

Работа выполнена на кафедре метеорологии, экологии и охраны окружающей среды
Кыргызско-Российского Славянского Университета
им. Б.Н. Ельцина

Научный руководитель:

Подрезов Олег Андреевич, доктор географических наук, профессор кафедры метеорологии, экологии и охраны окружающей среды Кыргызско-Российского Славянского Университета им. Б.Н. Ельцина.

Официальные оппоненты:

Чичасов Григорий Николаевич, доктор географических наук, профессор, научный руководитель Института повышения квалификации руководящих работников и специалистов Росгидромет, Москва, Россия;

Есеркепова Ирина Байтурсуновна кандидат географических наук, директор департамента инвентаризации парниковых газов акционерного общества «Жасыл Даму» Министерства экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан, г. Алматы.

Ведущая (оппонирующая) организация:

Кафедра метеорологии и климатологии Саратовского Государственного университета, адрес: 410012, Россия г. Саратов, ул. Астраханская, 83.

Защита состоится « 24 » декабря 2020 года в 14⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 25.20.612 при Институте Геологии им. А.А. Адышева Национальной Академии Наук Кыргызской Республики и Институте сейсмологии Национальной Академии Наук Кыргызской Республики по адресу: 720040, г. Бишкек, бульвар Эркиндик 30, актовый зал, 2 этаж. Доступ в Zoomwebinar: 580 649 0995, код доступа: 0000

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках Института Геологии им. А.А. Адышева НАН КР, по адресу: 720040, г. Бишкек, бул. Эркиндик 30 и Института сейсмологии НАН КР, по адресу: 720060, г. Бишкек, микрорайон Асанбай 52/1, а также на сайте ВАК КР: www.vak.kg.

Автореферат разослан « 23 » ноября 2020 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат географических наук, доцент

Э.Т. Токторалиев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Атмосферные осадки являются основной характеристикой климата, а знание выпадающих годовых и сезонных сумм осадков представляет собой важную климатическую характеристику, необходимую для использования при эффективном развитии экономики любой страны. Определение пространственных закономерностей распределения осадков по орографически сложной горной территории Кыргызстана, несмотря на полученные к настоящему времени значительные результаты в ее решении, все еще остается важной проблемной задачей прикладной климатологии этого региона. Основной причиной является редкая сеть наземных пунктов наблюдений за осадками, которая к тому же сильно сократилась после 1990 г. Так, например, число метеостанций уменьшилось с 80-85 в 1970-80 гг. до 33 в настоящее время, и существенного расширения сети в ближайшем будущем не предвидится. Наиболее перспективным и технически современным выходом из положения является широкое привлечение спутниковых данных по осадкам для решения этой проблемы. Использование спутниковых наблюдений позволит получить не только гораздо более подробную информацию об осадках, но одновременно даст новые независимые данные, позволяющие подтвердить (или опровергнуть), уточнить и расширить все найденные ранее решения по наземной сети осадкомеров. Современные спутниковые наблюдения за осадками широко используются во многих регионах мира, где дали положительные результаты. Однако их использование в горных районах требует ряда дополнительных задач по адаптации данных к орографическим условиям конкретных регионов. Для горной территории Кыргызстана предлагаемое автором диссертации использование мульти спутниковой модели Tropical Rainfall Measuring Mission Multi - satellite Precipitation Analysis 3B43 (TMPA-3B43) для расчета годовых и сезонных сумм осадков в его различных орографических и высотных зонах делается впервые. Выходными данными этой модели являются месячные суммы осадков в узлах регулярной сетки $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$, так что территорию Кыргызстана покрывают 351 узел регулярной сетки, что на порядок больше действующих сейчас 33 метеостанций. Данные модели TMPA находятся в свободном доступе на сайте National Aeronautics and Space Administration (NASA). Получение месячных спутниковых сумм осадков в 351 узле сетки за любой требуемый период времени для недостаточно освещенной метеостанциями сложной горной территории Кыргызстана открывает широкий путь к их эффективному использованию, как для научных исследований, так и решения текущих прикладных задач. Прежде всего, это возможность получения независимых новых данных за весь период работы спутниковой системы. Поэтому диссертационная работа, впервые предлагающая такое решение задачи для недостаточно освещенной метеостанциями горной территории Кыргызстана, носит также важный пионерный (пилотный) характер.

Связь темы диссертации с научными программами. Диссертационная работа выполнялась в течение 2011-2019 гг. в рамках научно-исследовательских работ кафедры метеорологии, экологии и охраны окружающей среды Кыргызско-Российского Славянского университета им. Б.Н. Ельцина (МЭО, КРСУ) по научному направлению «Прикладные климатические исследования Кыргызстана». Автор диссертации предварительно прошел специальную 9 - месячную стажировку по спутниковой метеорологии в Центре образования по космическим наукам и технологиям в Азиатском и Тихоокеанском регионе (CSSTEAP), Центр прикладных исследований космоса (SAC), где им был выполнен пилотный проект по тематике диссертации.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы являлась - оценка годовых и сезонных сумм осадков для различных климатических провинций и высотных зон Кыргызстана, получаемых по мульти спутниковой модели TMPA, с учетом адаптации, валидации и приведения ее данных к результатам наблюдений метеостанций по установленным статистическим зависимостям.

В задачи исследований входило решение следующих вопросов:

1. *Дополнительно адаптировать* модель TMPA для расчета годовых и сезонных сумм осадков с учетом специфики горных районов Кыргызстана.
2. *Провести валидацию* адаптированных годовых и сезонных сумм осадков для оценки погрешностей данных, получаемых по модели TMPA в горных районах Кыргызстана.
3. *Оценить статистические связи и зависимости* адаптированных годовых и сезонных сумм осадков, получаемых по модели TMPA, с наблюдениями метеостанций и возможность их последующего приведения к данным станций.
4. *Разработать технологию практического приведения спутниковых данных и получить приведенные к наблюдениям метеостанций оценки и карты годовых и сезонных сумм осадков*, получаемых по модели TMPA, для горных районов Кыргызстана по найденным статистическим зависимостям

Научная новизна полученных результатов.

- Разработана специальная методика дополнительной адаптации модели TMPA для горных районов Кыргызстана, повысившая точность расчета годовых и сезонных сумм осадков с учетом строения его территории.
- Проведена валидация адаптированных годовых и сезонных сумм осадков, получаемых по модели TMPA, с использованием в качестве меры расхождения средних квадратических отклонений (СКО), показавшая возможность ее применения в горных районах Кыргызстана.

- Найдены статистические зависимости адаптированных годовых и сезонных сумм осадков, получаемых по модели ТМРА, с наблюдениями метеостанций Кыргызстана, что дает возможность их последующего приведения к этим данным.
- Разработана технология практического приведения спутниковых данных и получены приведенные к наблюдениям метеостанций оценки годовых и сезонных сумм осадков, а также построены карты осадков, получаемых по модели ТМРА, для горных районов Кыргызстана по найденным статистическим зависимостям

Практическая значимость полученных результатов. Для практического и научного использования предлагается система статистических зависимостей, найденных для различных зон горных районов Кыргызстана, позволяющая для 351 узла регулярной сетки модели ТМРА, накрывающих Кыргызстан, получать приведенные к показаниям метеостанций годовые и сезонные суммы спутниковых осадков. Такое приведение можно применять к данным: 1) за любые отдельные сезоны и годы; 2) осредненные по любому периоду лет; 3) по задаваемым отдельным узлам регулярной сетки или их группам; 4) по различным орографическим и высотным зонам территории (зоны: до 1 км, 1-1,5 км, 1,5-2,5 км, > 2,5 км); 5) по 4 климатическим провинциям Кыргызстана - Северный, Северо-Западный Кыргызстан, Юго-Западный Кыргызстан, Внутренний Тянь-Шань, Иссык-Кульская котловина; 6) по Кыргызстану в целом. Все это позволяет широко применять современные спутниковые данные по осадкам, получаемые по модели ТМРА и имеющиеся в свободном доступе на официальном сайте NASA, для прикладного климатического использования в недостаточно освещенных метеорологическими наблюдениями горных районах Кыргызстана. Свободность доступа к спутниковым материалам обуславливает большие практические выгоды от использования этого массива данных, так как расширение сети метеостанций и проведение на них наземных наблюдений требует значительных затрат и реально не осуществимо в ближайшем будущем.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Методика дополнительной адаптации модели ТМРА для расчета годовых и сезонных сумм осадков с учетом строения горных районов Кыргызстана.
2. Положительные результаты проведенной валидации адаптированных годовых и сезонных сумм осадков для оценки качества этих данных, получаемых по модели ТМРА в горных районах Кыргызстана.
3. Найденные статистические зависимости адаптированных годовых и сезонных сумм осадков, получаемых по модели ТМРА, с наблюдениями метеостанций и возможность их использования для приведения данных модели к данным станций.

4. Разработанная технология практического приведения спутниковых данных и полученные приведенные к наблюдениям метеостанций оценки годовых и сезонных сумм осадков, построенные карты годовых и сезонных сумм осадков за период 1998-2014 гг.

Личный вклад соискателя. Диссертантом были лично выполнены все необходимые работы по проведению диссертационных исследований: 1) сбор и систематизация исходной информации, 2) ее статистическая обработка, 3) разработка необходимых методик и научно-технический анализ получаемых климатических материалов, 4) их интерпретация, 5) формулировка полученных результатов и выводов.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты диссертации докладывались в течение 2011-2019 гг. на конференциях и совещаниях различного уровня: в Центре прикладных исследований космоса (CSSTEAP, Индия, 2011 г., пилотный проект); на ежегодных научных конференциях КРСУ, посвященных Всемирному метеорологическому дню – 23 марта; на международной конференции “Дистанционные и наземные исследования Земли в Центральной Азии” в Центрально Азиатском Институте прикладных Исследований Земли (ЦАИИЗ, Бишкек 8-9 сентября, 2014 г.); на Международной конференции “Сахаровские чтения 2019 года: экологические проблемы XXI-го века”, (Минск, 23-24 мая); на международной конференции “Дистанционные и наземные исследования земли в Центральной Азии” (ЦАИИЗ, Бишкек 17-18 сентября, 2019 г.). Результаты исследования внедрены в тематический проект по изучению опорных ледников КР в ЦАИИЗ.

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях. По теме диссертации опубликовано 14 работ, в том числе за рубежом (*за пределами КР*) опубликованы 4 статьи: одна работа в журнале Theoretical and Applied Climatology, входящим в список Scopus; одна работа опубликована в журнале Пермский Географический Вестник и две работы опубликованы в сборнике конференции “Сахаровские чтения 2019 года”, входящие в список ВАК РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из Введения, 4 глав, Выводов, Списка использованной литературы (129 наименований) и 15 приложений. Полный объем диссертации – 173 стр., в том числе иллюстраций – 29, таблиц – 30, приложений – 24 стр.

Работа выполнена на кафедре Метеорологии, экологии и охраны окружающей среды (МЭО) Кыргызско-Российского Славянского университета им. Б.Н. Ельцина под руководством доктора географических наук, профессора – Подрезова Олега Андреевича, которому автор приносит искреннюю благодарность за оказанную профессиональную помощь и содействие в подготовке диссертации. В процессе работы над диссертацией автор получал ценные советы от И.А. Павловой, S. Prakash, и R.M. Gairola и выражает им признательность.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во ВВЕДЕНИИ рассматриваются актуальность темы, ее связь с тематикой научных исследований кафедры МЭО, даются цель и задачи исследований, показана их научная новизна, сформулированы основные защищаемые положения и дана практическая значимость полученных результатов, приводится личный вклад соискателя, апробация результатов исследований, полнота их отражения в публикациях, структура и объем диссертации.

В первой главе «Характеристика исследуемой территории», имеющий вводный характер, на основании обзора имеющихся публикаций дается краткая физико-географическая и климатическая характеристика Кыргызстана, при этом основное внимание обращается на территориально-высотные закономерности распределения осадков в этом регионе. Указывается, что, прежде всего, следует отметить следующие основные работы фундаментального характера по этим вопросам: монография «Климат Киргизской ССР» (Отдел географии АН Кирг. ССР, коллектив авторов, 1965 г.), монография Пономаренко П.Н. «Осадки Киргизии» (1976 г.), Атлас природных условий и ресурсов Киргизской ССР (Отдел географии, 1987 г.), монография «Оледенение Тянь-Шаня» (Институты географии России, КНР, Казахстана и Тянь-Шаньской физико-географической станции Института геологии НАН КР, 1995 г.), монография Кузьмиченка В.А. «Цифровые модели характеристик увлажнения Кыргызстана» (2008 г.), а также климатические справочники издания 1969 и 1989 г. Согласно этим и другим работам, в Кыргызстане можно выделить 4 климатические провинции, имеющие значительную общность в режиме осадков - Северный, Северо-Западный Кыргызстан (ССЗК), Юго-Западный Кыргызстан (ЮЗК), Иссык-Кульская котловина (ИКК) и Внутренний Тянь-Шань (ВТШ), – в каждой из которых прослеживаются не одна, а целая система своих высотных закономерностей увеличения осадков в зависимости от конкретных орографических условий. Приводятся и кратко анализируются установленные в публикациях высотные зависимости годовых сумм осадков в различных климатических провинциях. Выявленные в названных работах территориально-высотные закономерности и другие характеристики режима осадков используются в дальнейшем для критического сопоставления их со спутниковыми суммами осадков, получаемыми по модели ТМРА (валидация модели и др.). В сжатой форме приводятся имеющиеся данные о наблюдаемых изменениях климатических условий Кыргызстана и отмечается дискуссионность имеющихся результатов по этим вопросам.

Во второй главе “Исходный материал и методика оценки годовых и сезонных сумм осадков по мульти спутниковой модели ТМРА для горных районов Кыргызстана” рассматриваются исходные материалы и методы исследования. Первые три раздела посвящены вопросам определения (расчета)

сумм осадков по мульти спутниковой модели ТМРА по данным 4 спутников (объект исследования), методика построения карт осадков на основе объективного анализа спутниковых и наземных данных по специальной программе, а также анализируются полученные таким путем карты спутниковых осадков для Кыргызстана (предмет исследования), которые сравниваются с картами П.Н. Пономаренко и В.А. Кузьмиченка, полученными по данным метеостанций. В 4 разделе главы приводится разработанная диссертантом (в соавторстве с И.А. Павловой) специальная методика дополнительной адаптации модели ТМРА для расчета годовых и сезонных сумм осадков в Кыргызстане с учетом специфики строения его горной территории (**первое защищаемое положение**).

Объект исследования. Модель ТМРА-3В43 включает в себя информацию с основного спутника TRMM (миссия по измерению осадков в тропиках, наклонение орбиты 35° , период обращения 92 мин, апогей 381 км) и трех дополнительных спутников – DMSP, ADEOS II и NOAA ATOVS. Выходные данные (продукт) модели представляют собой месячные суммы осадков в узлах регулярной сетки с разрешением $25^\circ \times 25^\circ$, так что территорию Кыргызстана покрывает 351 узел сетки. Алгоритм измерения осадков основан на технологии Хоффманна, использующей одновременно высокую точность микроволновых сенсоров и хорошее пространственно - временное покрытие инфракрасных сенсоров. Данные модели широко применяются во многих регионах мира, где дали положительные результаты. Тем не менее, к недостаткам модели, прежде всего, надо отнести отрицательное влияние на отраженный сигнал, что снижает качество определения осадков, при наличии различных по структуре сопредельных поверхностей, например, океан-суша. В горах такие ситуации более разнообразны и недостаточно изучены. Например, это может быть водная поверхность большого озера (Иссык-Куль) и прибрежной равнины, склоны гор свободные от снега и под снежным покровом и др.

Методика исследования. В основу методики построения карт осадков по модели ТМРА положен целый ряд последовательных шагов от совмещения (ассимиляции) спутниковых и наземных данных (метод объективной интерполяции) до визуализации полученных значений осадков. Причем в модели реализованы оба варианта – построения карт только по спутниковым данным (без ассимиляции их с наземными) и с учетом ассимиляции. При достаточном числе наземных метеостанций метод объективной интерполяции существенно повышает качество получаемых карт осадков. Но при их малом числе, как это имеет место в Кыргызстане, получаемые по наземным данным «уточнения карт» соответствуют только территории окрестностей наземных станций.

Предмет исследования. Используя, эти технологии, нами получены оба варианта карт осадков для территории Кыргызстана. На рис. 1 приведены фрагменты вариантов карт годовых осадков для части ССЗК, из которых

наглядно видна степень возможных уточнений получаемого поля осадков при использовании метода объективной интерполяции.

Был проведен сравнительный анализ полученных спутниковых карт осадков Кыргызстана и наземных карт П.Н. Пономаренко и В.А. Кузьмиченка. Он показал, что спутниковые карты осадков качественно достаточно хорошо согласуются с наземными – области высоких умеренных и малых осадков на спутниковых и наземных картах практически совпадают. Но спутниковые карты дают заметно более сглаженную картину поля осадков, чем наземные: в области малых осадков спутник их заметно завышает, а в области больших осадков он их заметно занижает, так что наилучшая согласованность получается для зон умеренных осадков. Поэтому оказалось необходимым разработать специальную методику дополнительной адаптации модели ТМРА, учитывающую специфику горных районов Кыргызстана, применение которой повысило бы степень согласованности сумм осадков, получаемых по модели ТМРА и метеостанциям.

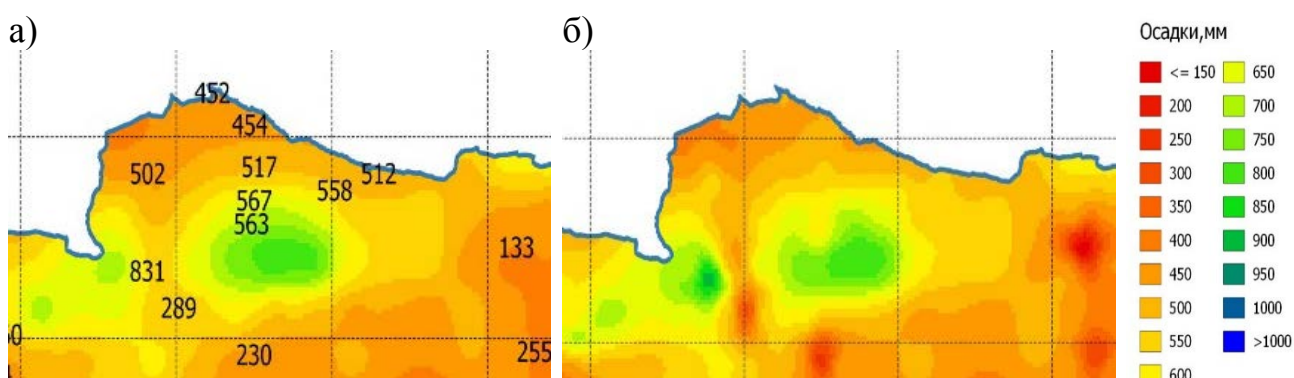


Рис. 1. Фрагмент карты годовых сумм осадков по модели ТМРА для части территории ССЗК без применения метода объективной интерполяции (а) и с его применением (б). Числа на а) соответствуют значения осадков (мм) по данным расположенных здесь метеостанций

Суть разработанной нами (совместно с И.А. Павловой) методики дополнительной адаптации модели ТМРА для горных районов Кыргызстана (**первое защищаемое положение**) состоит в следующем (см. рис. 2). Узел сетки спутника может находиться от станции на расстоянии до 28 км, что в горах может приводить к существенному расхождению значений осадков из-за возникающих различий, как в высоте, так и орографии. Поэтому для каждой станции изначально рассматривались осадки в окружающих ее 4 узлах - точках по спутнику. С учетом комплекса характеристик осадков в этих 4 точках (значения различных сумм осадков, коэффициентов корреляции осадков, близости высот и характера орографии, табл. 1) и на станции выбиралась наиболее показательная из них, которая принималась для дальнейших расчетов в качестве репрезентативной спутниковой точки. В случае, если ни одна из точек не может таким путем определена как явно «лучшая», применялся метод Крессмана, по которому рассчитывалась усредненная сумма осадков по всем точкам, но с учетом весовых коэффициентов, определяемых их близостью к станции.



Рис. 2. Пример выбора для метеостанции Нарын показательной точки № 4 из окружающих станцию 4 близлежащих узлов сетки (см. табл. 1), которые использовались при комплексном анализе спутниковых данных ТМРА-3В43

Таблица 1 - Значения характеристик для станции Нарын (МС) и 4 окружающих спутниковых точек, которые использовались при комплексном анализе выбора показательной точки №4

| Характеристика точки | № 1 | № 2 | № 3 | № 4 | МС |
|--|------|------|------|------|------|
| Сумма осадков за весь период наблюдений, 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 количество осадков за месяц, мм | 29,8 | 36,3 | 27,1 | 27,2 | 26,4 |
| Удаление точки от метеостанции, км | 23 | 25 | 13 | 11 | |
| Высота точки над уровнем моря, км | 2,32 | 3,57 | 3,40 | 2,30 | 2,04 |
| Коэффициент корреляции осадков | 0,86 | 0,69 | 0,86 | 0,88 | |

В данном случае по результатам комплексного анализа наиболее показательной является точка № 4: по высоте, близости к станции, значению коэффициента корреляции и характеристикам осадков. Эта точка затем использовалась во всех последующих расчетах. Применение этой методики позволило существенно повысить степень адаптации спутниковых данных, получаемых по модели ТМРА, к конкретным горным условиям Кыргызстана.

В третьей главе “Валидация полученных спутниковых данных об осадках для территории Кыргызстана по значениям их СКО”, приводится валидация адаптированных спутниковых данных об осадках для территории Кыргызстана, посредством которой были получены положительные результаты (второе защищаемое положение). Для этого используются годовые и сезонные суммы осадков $R_{i(сп)}$ (мм), полученных по модели ТМРА, и данные $R_{i(наз)}$ (мм) по 35 использованным метеостанциям, которые принимаются за

эталон. В качестве меры расхождений рассматривается средние квадратические ошибки ($СКО = S_{\Delta R}$) спутниковых данных, определяемые по формуле:

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

где ΔR_i (мм) = $R_{i(сп)}$ (мм) - $R_{i(наз)}$ (мм), а суммирование выполняется по всем годам наблюдений i на станции, равным использованному периоду лет n .

Однако только абсолютных значений $СКО$ (мм) для полноценного анализа недостаточно. Требуется также вычислить дополнительно относительные значения ошибок ($СКО_{отн.}$ в %), равные отношению $СКО$ (мм) к годовым/(сезонным, месячным) нормам осадков в мм, которые представляют собой средние за годы наблюдений (1998-2007 гг.) значения осадков на соответствующей станции:

$$СКО_{отн.}(\%) = S_{\Delta R(\%)} = (СКО / норма) * 100 \% \quad (2)$$

Относительные значения средних квадратических ошибок $СКО_{отн.}$ обладают высокой наглядностью при статистическом анализе и широко используются на практике, так как сопоставляются со значением самой измеряемой величины, в данном случае годовыми, и сезонными суммам осадков на каждой станции. Для дальнейшего анализа условно примем следующие критерии *качества согласованности* спутниковых и наземных данных по значениям задаваемых градаций $СКО_{отн.}$: 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.

Согласованность годовых сумм садков. В табл. 2 приведены полученные значения $СКО$ для годовых сумм осадков, осредненные по 4 климатическим провинциям и Кыргызстану в целом. Видно, что для 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. 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 $S_{\Delta R(\%)} = 18 \%$ (так же хорошее качество согласования). Значения $S_{\Delta R(\%)}$ более высокие для ЮЗК и ИКК (равны 30 и 33 %), соответствуя удовлетворительному качеству согласования, правда, находясь почти на границе хорошего качества.

Таблица 2 - Рассчитанные абсолютные $S_{\Delta R}$ и относительные $S_{\Delta R(\%)}$ значения ошибок для годовых сумм осадков для Кыргызстана и его провинций

| Вид ошибки | Климатическая провинция | | | | Кыргызстан |
|------------------------|-------------------------|-----|-----|-----|------------|
| | ССЗК | ИКК | ЮЗК | ВТШ | |
| $S_{\Delta R}$, мм | 87 | 119 | 108 | 93 | 103 |
| $S_{\Delta R(\%)}$, % | 17 | 33 | 30 | 18 | 24 |

При этом повторяемость различных градаций значений $(S_{\Delta R} / R_{норма})_{отн.}$ для годовых норм осадков, найденных по всем 35 станциям, оказалась следующей:

| | | | | |
|--|------|-------|-------|--------|
| градации ($S_{\Delta R} / R_{\text{норма}}$) _{отн.} в % | 0-15 | 15-25 | 25-50 | 50-100 |
| повторяемость градаций в % | 26 | 37 | 34 | 3 |

Видно, что 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 %, или одна станция Балыкчы, дает неудовлетворительный результат (СКО = 79 %). Это объясняется, прежде всего, аномально малым годовым количеством осадков в крайней западной части ИКК, где расположена станция (127 мм).

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

Согласованность сезонных сумм осадков. В табл. 3 приведены полученные значения СКО для сезонных сумм осадков, осредненные по 4 климатическим провинциям и Кыргызстану в целом. Отметим, что зимние и осенние суммы осадков по абсолютной величине значительно меньше, по сравнению с весенними и летними. За счет этого абсолютные величины СКО – $S_{\Delta R}$ (мм) в зимние и осенние сезоны малы, но значительно увеличиваются их относительные значения $S_{\Delta R(\%)}$. Видно, что для Кыргызстана в целом ошибки $S_{\Delta R}$ по сезонам составляют: зима – 26 мм (наименьшее значение), весна – 50 мм (наибольшее значение), летом и осенью $S_{\Delta R}$ совпадают и равны 37 мм. В относительных величинах $S_{\Delta R(\%)}$ эти значения составляют: зима – 53 %, весна – 36 %, лето – 35 % и осень – 49 %. Это соответствует по нашим критериям удовлетворительному качеству согласования спутниковых и наземных данных (для зимы выход за границу 50 % составляет всего 3 %, чем можно пренебречь).

Таблица 3 - 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 | 35 | 17 | 26 |
| | $S_{\Delta R(\%)}$, % | 30 | 98 | 37 | 47 | 53 |
| весна | $S_{\Delta R}$, мм | 44 | 44 | 59 | 51 | 50 |
| | $S_{\Delta R(\%)}$, % | 23 | 46 | 31 | 46 | 36 |
| лето | $S_{\Delta R}$, мм | 33 | 44 | 35 | 37 | 37 |
| | $S_{\Delta R(\%)}$, % | 31 | 32 | 46 | 32 | 35 |
| осень | $S_{\Delta R}$, мм | 32 | 45 | 38 | 31 | 37 |
| | $S_{\Delta R(\%)}$, % | 27 | 70 | 47 | 56 | 49 |

Для отдельных провинций картина выглядит сложнее. Так, в ССЗК согласованность данных во все сезоны весьма ровная: весной она соответствует градации $S_{\Delta R(\%)}$ «хорошо» (23 %), а в остальные сезоны несколько хуже (27–31

%), т.е. вблизи границы хорошо и удовлетворительно. В ЮЗК во все сезоны качество согласования удовлетворительное, составляя 37-47 %. Во ВТШ летом, зимой и весной ошибки соответствуют удовлетворительному качеству согласования (32-47 %), но осенью $S_{\Delta R(\%)}$ увеличивается до 56 %, что также, с некоторой оговоркой, можно считать удовлетворительным результатом. В ИКК летом, когда грозовые осадки максимальны, значение $S_{\Delta R(\%)}$ = 32 %, весной, когда грозовые осадки уже значительны, $S_{\Delta R(\%)}$ = 46 %. Но зимой при минимуме осадков, ошибка увеличивается до 98 % (при этом абсолютное значение $S_{\Delta R}$ мало и равно только 26 мм). Почти такая же картина наблюдается осенью: относительное значение $S_{\Delta R(\%)}$ = 70 %, а абсолютное $S_{\Delta R}$ = 45 мм. Таким образом, можно принять, что сезонные суммы осадков по климатическим провинциям также дают удовлетворительную согласованность спутниковых и наземных данных, за исключением зимы и осени для ИКК, где значения относительных СКО повышены вследствие малых сумм осадков в эти сезоны.

В заключение приведем табл. 4, где для различных сезонов даны повторяемости (%) попадания относительных ошибок для всех 35 использованных метеостанций в принятые градации качества расхождений спутниковых и наземных данных. Видно, что, суммарно высокое, хорошее и удовлетворительное качество по сезонам года дают следующий процент метеостанций Кыргызстана: зима – 69 %, весна – 89 %, лето – 80 % и осень – 66 %. При этом, как уже отмечалось, зимой и осенью относительные ошибки возрастают за счет малости самих сумм осадков. Все это, на наш взгляд, позволяет применять на практике мульти спутниковую модель ТМРА для оценки годовых и сезонных сумм осадков в Кыргызстане с его сложной горной орографией.

Таблица 4 - Процент попадания использованных 35 метеостанций в принятые градации качества относительных ошибок

| Сезон | Градации качества относительных ошибок | | | | |
|-------|--|------|-------|-----------|-------|
| | высокое | хор. | удов. | не удовл. | 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 |

Четвертая глава “Оценка статистических зависимостей спутниковых и наземных сумм осадков для Кыргызстана с целью получения их приведенных значений для практического использования” посвящена оценкам статистических зависимостей спутниковых и наземных сумм осадков для Кыргызстана с целью получения приведенных спутниковых сумм для практического использования (**третье и четвертое защищаемые положения**). В самом деле, если между спутниковыми данными по осадкам, получаемым по модели ТМРА для горных районов Кыргызстана, и наземными данными метеостанций существуют статистические связи и зависимости, то это позволит приводить спутниковые значения осадков к показаниям наземных осадкомеров. Приведенные спутниковые суммы осадков будут являться репрезентативными

(показательными) величинами, что открывает широкие возможности для практического применения спутниковых наблюдений для решения прикладных задач климатологии Кыргызстана.

Регрессионные зависимости для годовых сумм осадков. Статистические зависимости во всех случаях искались в форме линейных регрессий вида:

$$y = b_0 + b_1 * x \pm s. \quad (3)$$

где y , мм и x , мм – соответственно суммы осадков по данным метеостанций и спутника, b_0 (мм) и b_1 (мм назем / мм спут.) остаточный член и угловой коэффициент регрессии, s (мм) – ее стандартная ошибка.

Следовательно, значения y , найденные по регрессии (3) по исходным спутниковым суммам x , и будут представлять собой приведенные к данным метеостанций исходные спутниковые суммы осадков, которые рекомендуются нами к практическому использованию.

На рис. 3, в качестве примера приведен график корреляционной связи годовых сумм осадков за 1998-2006 гг. по всем 35 станциям (с уравнением регрессии вида (3)), т.е. для территории Кыргызстана в целом.

Как видно, в этом случае получен коэффициент корреляции $r = 0,54$, что говорит о наличии *средней* по силе корреляционной связи спутниковых и наземных данных, а уравнение регрессии статистически значимо на уровне доверительной вероятности $p = 95\%$.



Рис. 3. График корреляционной зависимости годовых сумм осадков по спутниковым и наземным наблюдениям для 35 МС Кыргызстана за период 1998-2006 гг.

При этом можно видеть, что параметры регрессии (угловой коэффициент 1,07 и остаточный член – 14,7) таковы, что в пределах использованных исходных спутниковых сумм в 200-900 мм с погрешностью не более 5 % ее можно заменить простым равенством: $R_{\text{привед.}} = R_{\text{спут.}}$, т.е. приведенные годовые осадки равны исходным спутниковым годовым осадкам. Заметим, что этот факт интересен сам по себе, но для качества приведения не имеет какого-либо значения, так как оно определяется только силой связи r , значимостью

регрессии и величиной ее ошибки s . В данном случае абсолютная ошибка регрессии $s = 185$ мм. При этом относительная ошибка $s_{отн}$, равная отношению s к среднему значению годовой суммы осадков по Кыргызстану, составляет 39 %. По принятым нами критериям это соответствует удовлетворительному качеству приведения.

Результаты аналогичных расчетов параметров корреляции и регрессии, для годовых осадков по 4 климатическим провинциям Кыргызстана приведены в таблице 5. Из нее видно, что для трех провинций – ССЗК, ЮЗК и ВТШ – коэффициенты корреляции r равны 0,44-0,71, что соответствует средней по силе связи, а уравнения регрессий статистически значимы на уровне доверительной вероятности $p = 0,95$ и имеют относительные погрешности в пределах от 16 до 37 %, т.е. использование приведенных данных является эффективным.

Таблица 5 - Статистики корреляции и уравнений регрессии для годовых сумм осадков по спутниковым и наземным данным для ССЗК, ЮЗК, ИКК и ВТШ

| Провинция | Статистика | | | | | | Значимость регрессии |
|-----------|------------|--------|-----|-----------|------|-----|----------------------|
| | b_1 | b_0 | s | $s_{отн}$ | r | n | |
| ССЗК | 0,9168 | 61,1 | 129 | 25 | 0,59 | 98 | значима |
| ЮЗК | 1,5995 | -159,6 | 191 | 37 | 0,71 | 94 | значима |
| ИКК | 0,1355 | 346,2 | 210 | 59 | 0,04 | 47 | не значима |
| ВТШ | 0,6516 | 77,8 | 58 | 16 | 0,44 | 60 | значима |

Только для ИКК корреляционная связь спутниковых и наземных годовых осадков отсутствует, что объясняется влиянием на отраженный сигнал спутника резкой границы в характере подстилающих поверхностях – «зеркало озера – окружающие склоны хребтов», а также аномально малым количеством осадков в западной части котловины, когда спутниковая модель ТМРА работает неудовлетворительно. Поэтому в ИКК для приведения осадков следует использовать либо корректирующий коэффициент $k_{корр.}$ = осадки по данным станций / осадки по спутнику либо уравнение регрессии для Кыргызстана в целом.

Регрессионные зависимости для сезонных сумм осадков. Найденные аналогичным образом параметры корреляции и регрессий для сезонных сумм осадков для Кыргызстана в целом и его 4 провинций приведены в табл. 6. Из нее следует, что во всех случаях (кроме ИКК - зима и весна) найденные регрессии могут быть успешно использованы на практике, а для двух этих исключений следует воспользоваться значениями коэффициентов ($k_{корр.}$) или зимними и весенними уравнениями регрессий для Кыргызстана в целом.

Таблица 6 - Статистики корреляции и уравнений регрессии для сезонных сумм осадков по спутниковым и наземным данным для Кыргызстана в целом и ССЗК, ЮЗК, ИКК и ВТШ

| Провинция | Сезон | Статистика | | | | | | Значимость регрессии |
|--------------------|-------|------------|-------|-----|--------------|------|-----|----------------------|
| | | b_1 | b_0 | s | $s_{отн},\%$ | r | n | |
| Кыргызстан в целом | зима | 0,8252 | -0,40 | 49 | 57 | 0,56 | 301 | значима |
| | весна | 0,8850 | 22,11 | 79 | 47 | 0,61 | 336 | значима |

| | | | | | | | | |
|------|-------|---------|-------|----|----|------|-----|------------|
| | лето | 1,0433 | 24,05 | 58 | 51 | 0,62 | 335 | значима |
| | осень | 0,9861 | 5,94 | 51 | 52 | 0,60 | 300 | значима |
| ССЗК | зима | 0,2303 | 66,5 | 31 | 33 | 0,20 | 99 | значима |
| | весна | 0,7801 | 49,6 | 48 | 25 | 0,74 | 109 | значима |
| | лето | 1,3004 | -11,2 | 64 | 56 | 0,61 | 109 | значима |
| | осень | 0,9958 | 9,9 | 40 | 35 | 0,70 | 98 | значима |
| ИКК | зима | -0,0032 | 42,2 | 28 | 66 | 0,00 | 48 | не значима |
| | весна | -0,2451 | 138,5 | 60 | 56 | 0,14 | 54 | не значима |
| | лето | 0,9316 | 39,2 | 67 | 43 | 0,47 | 54 | значима |
| | осень | 0,7536 | 138,5 | 66 | 65 | 0,29 | 48 | значима |
| ЮЗК | зима | 0,7611 | 29,5 | 68 | 53 | 0,43 | 94 | значима |
| | весна | 0,4302 | 73,0 | 50 | 58 | 0,74 | 105 | значима |
| | лето | 1,3323 | 21,0 | 51 | 59 | 0,62 | 105 | значима |
| | осень | 1,1048 | 5,9 | 52 | 53 | 0,67 | 105 | значима |
| ВТШ | зима | 0,5976 | 0,6 | 29 | 59 | 0,63 | 60 | значима |
| | весна | 0,4474 | 44,7 | 59 | 50 | 0,47 | 68 | значима |
| | лето | 1,0020 | 26,7 | 50 | 38 | 0,59 | 67 | значима |
| | осень | 0,7145 | 0,5 | 39 | 63 | 0,54 | 60 | значима |

Регрессионные зависимости годовых и сезонных сумм осадков для различных высотных зон: до 1, 1-1-5, 1,5-2,5 и >2,5 км. Для этих 4 высотных зон было рассчитано 85 регрессий: а) для Кыргызстана в целом 20, б) для 4 провинций – для года 13, для сезонов 52. Оказалось, что в целом для Кыргызстана все 20 годовых и сезонных регрессий статистически значимы и могут быть рекомендованы к практическому использованию. Однако для климатических провинций не значимыми оказались 6 регрессий из 13: 4 регрессии для высотных зон > 2,5 км в каждой из 4 провинций, а также 2 регрессии для зоны 1,5-2,5 км в ССЗК и ИКК. В самом многочисленном сезонном классе регрессий (52 регрессии) для 4 провинций значимых регрессий оказалось 39 (75 %), а не значимых 13 (25 %), причем 5 из них в ИКК. При этом какой-либо четкой закономерности незначимости регрессий от высотной зоны и сезона года не обнаруживается. Можно только отметить, что в ИКК из 8 регрессий значимыми оказались только 3: лето - зоны 1,5-2,5 км и > 2 км, осень – зона 1,5-2,5 км, т.е. в сезоны активной грозовой деятельности, когда осадки максимальны.

Таким образом, для годовых и сезонных сумм осадков всего было рассчитано 110 регрессий, из которых 88 (80 %) оказались статистически значимы на уровне доверительной вероятности, равной 0,95, и поэтому пригодными для эффективного приведения различных сумм спутниковых осадков к наземным данным метеостанций. Для тех ситуаций, когда регрессии не значимы следует использовать два варианта приведения: 1) по значимой регрессии общей для всей территории Кыргызстана, б) по значению корректирующего коэффициента $k_{корр}$.

В четвертом разделе главы была разработана технология практического применения процедуры расчета приведенных сумм осадков, а также процедуры построения годовых и сезонных карт осадков за любой период лет, для которых имеются спутниковые данные (**четвертое защищаемое положение**). Такие

процедуры были разработаны с использованием современных ГИС технологий, а их практическое применение показано на примере карты осадков для периода 1998 - 2014 гг. (рис.4) при помощи программы QGIS.

Подчеркнем, что за этот период работы модели ТМРА-3В43 V6 каких-либо обобщающих публикаций по осадкам Кыргызстана не имеется и поэтому приводимые ниже данные являются новыми сразу в двух отношениях: они соответствуют современному временному периоду и одновременно современным новым методам дистанционных спутниковых измерений.

По результатам построенных карт и расчетов интегральных сумм осадков по Кыргызстану за год и сезоны до и после их приведения было получено следующее: в среднем для территории Кыргызстана среднегодовые приведенные суммы составляют 495 мм, а по исходным данным и 467 мм, то есть различие всего на 6 % меньше. Максимальная сумма осадков за год по исходным спутниковым данным составила 920 мм, а по приведенным 1312 мм, т.е. после приведения увеличилась на 43 %. Минимальная сумма осадков, напротив, после приведения уменьшилась с 281 до 136 мм/год (запад ИКК), т.е. снизилась на 52 %. Изменения максимальных и минимальных сумм наглядно показывают фактическую «масштабность» получаемой коррекции сумм осадков по предлагаемой нами технологии, которая округленно составляет ± 50 %. По отдельным сезонам для всей территории Кыргызстана весной летом и осенью приведённые суммы оказались больше исходных соответственно на 4, 33 и 5 %. Лишь зимой, когда осадков выпадает мало, приведённые суммы оказались ниже исходных на 17 %.

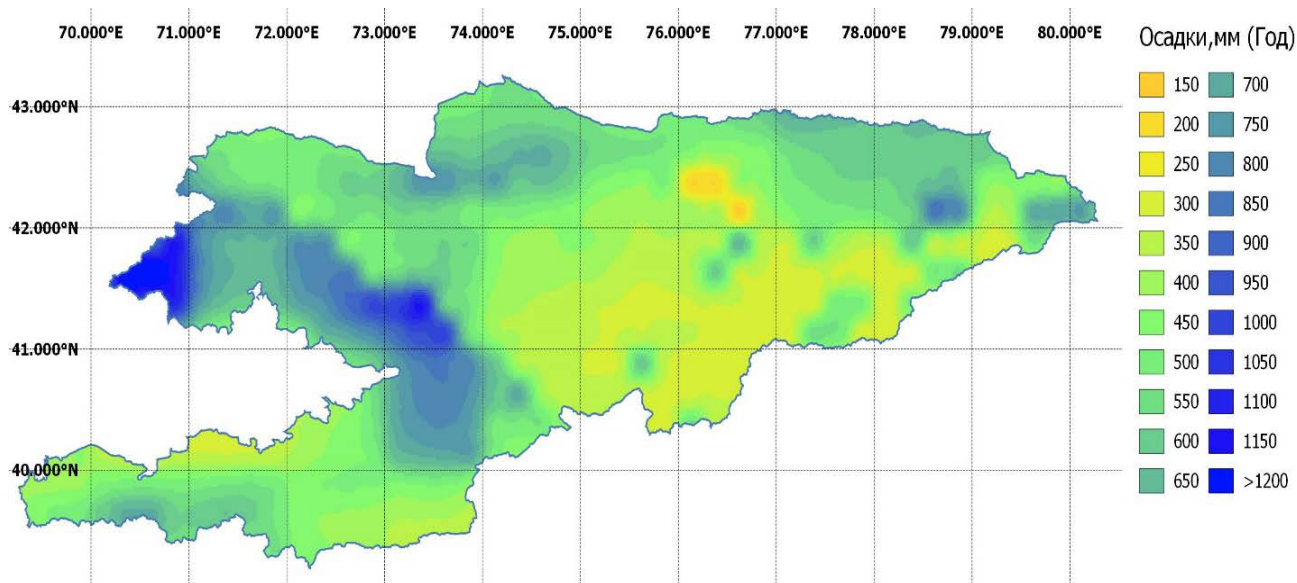


Рис. 4. Карта годовых сумм осадков за период январь 1998 – февраль 2014 гг. после приведения исходных спутниковых данных к показаниям метеостанций, полученная по спутниковым данным по разработанной технологии

Как видно из рис. 4, карта приведенных годовых сумм осадков за период 01.1998-02.2014 гг. в целом и качественно, и количественно хорошо отражает полученное в работах П.Н. Пономаренко и В.А. Кузьмиченка многолетнее распределение осадков по Кыргызстану. На ней четко отражены области

наиболее высоких значений осадков, соответствующие склонам Ферганского и Угамского хребтов, а также область наиболее их низких значений в западной части ИКК. Для приведенных годовых сумм осадков по ССЗК и ЮЗК – климатическим провинциям, находящимся вблизи наветренных периферийных хребтов распределение приведенных и фактических наземных данных, имеет высокую степень согласования и несколько более худшую для ИКК и ВТШ. В целом, построенные нами в качестве демонстрации возможных практических применений результатов диссертационной работы карты, приведенных спутниковых значений годовых и сезонных осадков за современный 16- летний период по территории Кыргызстана, дают хорошее согласие с общей многолетней картиной осадков. Это означает, что предлагаемые в работе научные и методические подходы могут эффективно использоваться на практике для решения различных задач прикладной климатологии Кыргызстана.

ВЫВОДЫ

1. Используемые в настоящее время карты годовых и сезонных сумм осадков Кыргызстана, отражающих основные закономерности их территориально-высотного распределения, получены по данным метеостанций, относящихся к 1930-1990 гг. После 1990 г. произошло сокращение наземной осадкомерной сети почти в три раза, а с 1975 гг. отмечается существенные изменения климатических условий. Поэтому весьма актуальным явилось решение задачи по оценке сумм осадков на основе современных спутниковых наблюдений, для чего были решены следующие научные вопросы по возможности их практического использования в горных районах Кыргызстана.

2. Разработана методика дополнительной адаптации спутниковой модели ТМРА для расчета годовых и сезонных сумм осадков с учетом орографического строения горных районов Кыргызстана.

3. Проведена валидации адаптированных годовых и сезонных сумм осадков, получаемых по спутниковой модели ТМРА в горных районах Кыргызстана (для оценки качества этих данных), которая дала положительные результаты.

4. Получены 88 статистически значимые регрессии (на уровне доверительной вероятности, равном 0,95) между адаптированными спутниковыми годовыми и сезонными суммами осадков и данными метеостанций, которые могут быть использованы на практике для приведения спутниковых данных к наблюдениям метеостанций.

5. Разработана современная технология практического применения этой системы регрессий для расчета приведенных интегральных сумм осадков и построения годовых и сезонных карт осадков для территории Кыргызстана, которая показана для периода 1998-2014 гг., и может быть использована на практике для любого периода, по которому имеются спутниковые данные.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

- 1. Карасева, М. О.** Необходимость использования ГИС в космических методах экологического мониторинга [Текст] / М. О. Карасева, И. А. Павлова, Д. В. Рыскаль [и др.] // Метеорология и гидрология в Кыргызстане / под ред. О. М. Стрижанцевой. – Бишкек, 2009. – Вып. 8. – С. 113–121.
- 2. Карасева, М. О.** Сравнительный анализ месячных и сезонных сумм осадков по данным спутника TRMM и наземным наблюдениям над Кыргызстаном в весенний и летний периоды года [Текст] / М. О. Карасева, И. А. Павлова, Д. В. Рыскаль [и др.] // Метеорология и гидрология в Кыргызстане / под ред. О. М. Стрижанцевой. – Бишкек, 2009. – Вып. 8. – С. 104–113.
- 3. Karaseva, M. O.** Validation of high-resolution TRMM-3B43 precipitation product using rain gauge measurements over Kyrgyzstan [Text] / M. O. Karaseva, S. Prakash, R. M. Gairola // J. Theoretical and Applied Climatology. – 2011. – № 108. – P. 147–157. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26948775>.
- 4. Карасева, М. О.** Максимальный водозапас и высота снежного покрова на северном склоне Алайского хребта [Текст] / М. О. Карасева, О. А. Подрезов // Метеорология и гидрология в Кыргызстане / под ред. О. М. Стрижанцевой. – Бишкек, 2017. – Вып. 10. – С. 108–119.
- 5. Карасева, М. О.** Оценка заснеженности Ферганского хребта и бассейна р. Карадарья в теплый период года по спутниковым данным [Текст] / М. О. Карасева, О. А. Подрезов // Метеорология и гидрология в Кыргызстане / под ред. О. М. Стрижанцевой. – Бишкек, 2017. – Вып. 10. – С. 119–126.
- 6. Рыскаль, М. О.** Методика подбора точек сетки ГРИД для анализа осадков модели TMPA по данным спутника TRMM на территории Кыргызстана [Текст] / М. О. Рыскаль, И. А. Павлова // Вестн. Кырг.-Рос. Славян. ун-та. – 2018. – Т. 18, № 18. – С. 181–186. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36486846>.
- 7. Рыскаль, М. О.** Статистические связи и зависимости годовых и сезонных сумм осадков, получаемых по мульти спутниковой модели TMPA и наземным данным метеостанций для различных климатических провинций Кыргызстана [Электронный ресурс] / М. О. Рыскаль, О. А. Подрезов // Научные исследования в Кыргызской Республике. – 2018. – 3 квартал. – С. 10–20. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42806061>. – Загл. с экрана.
- 8. Рыскаль, М. О.** Статистические связи и зависимости сумм осадков, получаемых по мульти спутниковой модели и наземным данным метеостанций для различных высотных зон Кыргызстана [Текст] / М. О. Рыскаль // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – 2018. – № 10. – С. 29–38. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38569711>.
- 9. Рыскаль, М. О.** Оценка годовых и сезонных сумм осадков, полученных по мультиспутниковой модели TRMM для горных районов Кыргызстана

[Текст] / М. О. Рыскаль // Вестн. Кырг.-Рос. Славян. ун-та. – 2018. – Т. 18, № 12. – С. 141–145. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36979492>.

10. Рыскаль, М. О. Валидация данных по осадкам, получаемых по данным мульти спутниковой модели ТМРА для горной территории Кыргызстана [Текст] / М. О. Рыскаль, О. А. Подрезов // Геогр. вестн. = Geographical bulletin, 2019. – № 1 (48). – С. 63–74. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37217714>.

11. Рыскаль, М. О. Сравнительная оценка сумм осадков для аэродрома "Манас" по спутниковым и наземным данным за период 1998-2017 гг. [Текст] / М. О. Рыскаль, И. А. Павлова // Вестн. Кырг.-Рос. Славян. ун-та. – 2019. – Т. 19, № 4. – С. 131–138. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38171902>.

12. Рыскаль, М. О. Сравнительный анализ спутниковых (ТМРА ЗВ43) и наземных данных для годовых сумм осадков над горной территорией Кыргызстана [Текст] / М. О. Рыскаль, О. А. Подрезов // Сборник материалов 19-й междунар. науч. конф. "Сахаровские чтения 2019 года: экологические проблемы XXI века" / МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ. – Мн., 2019. – С. 96–98. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41136704>. – Загл. с экрана.

13. Рыскаль, М. О. Сравнительный анализ спутниковых (ТМРА ЗВ43) и наземных данных для сезонных сумм осадков над горной территорией Кыргызстана [Электронный ресурс] / М. О. Рыскаль // Электрон. сб. материалов 19-й междунар. науч. конф. "Сахаровские чтения 2019 года: экологические проблемы XXI века" / МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ. – Минск, 2019. – Ч. 3. – С. 76–79. – Режим доступа: <http://www.iseu.bsu.by/19-ja-mezhdunarodnaja-nauchnaja-konferencija-saharovskie-chtenija-2019-goda-jekologicheskie-problemy-xxi-veka/>.

14. Рыскаль, М. О. Спутниковые карты годовых и сезонных сумм осадков для территории Кыргызстана [Текст] / М. О. Рыскаль // Материалы междунар. науч. конф., посвящ. 15-летию ЦАИИЗ "Дистанционные и наземные исследования Земли в Центральной Азии". – Бишкек, 2019. – С. 206–213.

РЕЗЮМЕ

Диссертации Рыскаль Марины Олеговны на тему: «Оценка сумм осадков на территории Кыргызстана по данным спутниковых наблюдений» на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.30 — метеорология, климатология, агрометеорология

Ключевые слова: осадки, Кыргызстан, модель ТМРА, спутниковые и наземные данные, годовые и сезонные суммы, валидация, статистические связи и зависимости, приведенные оценки.

Объектом исследования являются спутниковые данные об осадках и возможность их прикладного использования.

Цель исследования. Целью диссертационной работы являлась - оценка годовых и сезонных сумм осадков для различных климатических провинций и высотных зон Кыргызстана, получаемых по мульти спутниковой модели ТМРА, с учетом адаптации, валидации и приведения ее данных к результатам наблюдений метеостанций по установленным статистическим зависимостям.

Методы исследования и аппаратура. В работе использовались современные данные мульти спутниковой модели ТМРА, статистические методы обработки и анализа получаемых климатических материалов, а также современные расчетные программы и ГИС системы.

Полученные результаты и новизна. Впервые разработана специальная методика дополнительной адаптации спутниковых данных для горных районов Кыргызстана. Результаты валидации адаптированных сумм осадков, получаемых по модели ТМРА, показали возможность ее применения в горных районах Кыргызстана. Найденные впервые статистические зависимости спутниковых и наземных измерений позволили осуществить приведение получаемых данных по модели ТМРА к данным Кыргызстана.

Рекомендации по использованию. Полученная система из 88 статистически значимых регрессии (на уровне доверительной вероятности, равном 0,95) рекомендуется к прикладному использованию для различных зон Кыргызстана. Предложенная методика дополнительной адаптации спутниковых данных может быть использовать для различных метеорологических элементов данные которых представлены в виде координатной сетки. Схема построения карт осадков с использованием ГИС технологий рекомендуется к использованию.

Область применения. Предлагаемая технология приведения адаптированных спутниковых измерений позволит получать современные данные о годовых и сезонных суммах осадков. Такая информация будет полезна для прикладного климатического использования, особенно в недостаточно освещенных метеорологическими наблюдениями горных районах Кыргызстана.

Рыскаль Марина Олеговнанын 25.00.30 - метеорология, климатология, агреметеорология адистиги боюнча география илимдеринин кандидаты окумуштуу даражасын алуу үчүн, “Спутник байкоолордун маалыматты боюнча Кыргызстандын аймагындагы жаан чачындардын суммасын баалоо” темасына жазылган диссертациянын

РЕЗЮМЕСИ

Негизги сөздөр Жаан чачындар, Кыргызстан, ТМРА модели, спутниктик жана жердеги маалыматтар, жылдык жана сезондук суммалар, валидация, статистикалык байланыштар жана көз карандылыктар, келтирилген баалоолор

Изилдөөнүн объектиси болуп жаан чачындар туурасында спутниктик маалыматтар жана аларды прикладдык изилдөө мүмкүнчүлүгү саналат.

Изилдөөнүн максаты: Диссертациялык иштин максаты болуп - ТМРА мульти спутниктик модель боюнча алынган Кыргызстандын ар кандай климаттык провинциялары жана бийик аймактары үчүн жаан чачындардын жылдык жана сезондук суммасын баалоо болуп саналат, анда аныкталган статистикалык көз карандылык боюнча метеостанциялардын байкоолорунун жыйынтыктарына анын маалыматтарын ыңгайлаштыруу, валидациялоо жана келтирүүнү эске алуу керек.

Изилдөө ыкмалары жана аппаратура. Иште ТМРАнын мульти спутниктик моделдери, алынган климаттык материалдарды статистикалык иштеп чыгуу жана анализдөө, ошондой эле азыркы эсептик программалар жана ГМС системалар колдонулду.

Алынган жыйынтыктар жана алардын жаңылыгы. Биринчи жолу Кыргызстандын тоолуу аймактары үчүн спутниктин маалыматтардын кошумча ыңгайлаштыруу методикасы иштелип чыкты. ТМРА модели боюнча алынган жаан чачындардын ыңгайлаштырылган суммасын валидациялоонун жыйынтыктары, анын Кыргызстандын тоолуу аймактарында колдонуу мүмкүнчүлүгүн көргөздү. Биринчи жолу табылган спутниктик жана жердеги ченөөлөрүн статистикалык көз карандылыктары Кыргызстандын маалыматтарына ТМРА модели боюнча алынган маалыматтарды келтирүүгө мүмкүндүк берди.

Колдонуу боюнча сунуштар. 88 статистикалык маанилүү регрессиядан алынган система (0,95 ке барабар болгон ишенимдүү жоромолдун деңгээлинде) Кыргызстандын ар кайсы аймактары үчүн колдонууга сунушталат. Спутниктик маалыматтарды кошумча ыңгайлаштыруунун сунушталган методикасы координаттык сетка түрүндө келтириле турган маалыматтардын ар кандай метеорологиялык элементтери үчүн колдонула алат. ГМС технологияларды колдонуу менен жаан чачындардын картасын куруу схемасы колдонууга сунушталат.

Колдонуу тармагы. Ыңгайлаштырылган спутниктик ченөөлөрдүн сунушталган технологиясы жылдык жана сезондук жаан чачындар туурасында маалыматтарды алууга мүмкүнчүлүк берет. Мындай маалымат прикладдык климаттык колдонуу үчүн пайдалуу болот, өзгөчө Кыргызстандын тоолуу аймактарында жетишсиз чагылдырылган метеорологиялык байкоолордо.

SUMMARY

Theses of Ryskal Marina on the topic: “Estimation of the amount of precipitation on the territory of Kyrgyzstan based on satellite observations” for the degree of candidate of geographical sciences in the specialty 25.00.30 - meteorology, climatology, agrometeorology

Keywords: precipitation, Kyrgyzstan, TMPA algorithm, satellite and terrestrial data, annual and seasonal amounts, validation, statistical relationships and dependencies, adapted estimates.

The object of the study is adaptation of satellite data of precipitation and the possibility of their application.

Purpose of the study. The aim of the thesis is to estimate annual and seasonal precipitation amounts for various climatic provinces and altitudes of Kyrgyzstan, obtained using the TMPA multi-satellite product, taking into account versatile validation and adaptation of data to the results of weather stations based on established statistical dependencies.

Methods of research and equipment. We used modern data from the multi-satellite TMPA, statistical methods for processing and analyzing the obtained climate materials, as well as modern design programs and GIS software.

The results and novelty. For the first time, a special technique has been developed for the additional adaptation of satellite data for mountain regions of Kyrgyzstan. The results of validation of the adapted amounts of precipitation obtained by the TMPA model showed the possibility of its use in the mountainous regions of Kyrgyzstan. By statistical dependences of satellite and ground-based measurements it is possible to adapt the original satellite data of the TMPA product to territory of Kyrgyzstan.

Recommendations for use. The obtained system of 88 statistically significant regressions (at the level of confidence probability equal to 0.95) is recommended for application for different zones of Kyrgyzstan. The proposed method of additional adaptation of satellite data can be used for various meteorological elements whose data are presented in the form of a coordinate grid. The scheme of construction of precipitation maps using GIS technologies is recommended for use.

Application area. The proposed method of adjusting the adapted satellite measurements will provide modern data on annual and seasonal precipitation amounts. Such information will be useful for applied climatic usage, especially in mountainous regions of Kyrgyzstan which is insufficiently illuminated by ground meteorological observations.