

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**
**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**КЫРГЫЗССКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Б.Н. ЕЛЬЦИНА**

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**

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:

доктор географических наук, профессор

Подрезов О.А.

Бишкек – 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДУЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ	11
1.1 Краткая физико-географическая и климатическая характеристика Кыргызстана	11
1.2 Территориально-высотные и временные закономерности изменения годовых сумм осадков на территории Кыргызстана	17
ГЛАВА 2 ИСХОДНЫЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ГОДОВЫХ И СЕЗОННЫХ СУММ ОСАДКОВ ПО МУЛЬТИ СПУТНИКОВОЙ МОДЕЛИ ТМРА ДЛЯ ГОРНЫХ РАЙОНОВ КЫРГЫЗСТАНА	29
2.1 Объект исследования – определение сумм осадков по мульти спутниковой модели ТМРА по данным спутников TRMM, DMSP, ADEOS-II и NOAA ATOVS	29
2.2 Методика построения карт осадков для горных районов Кыргызстана на основе объективного анализа спутниковых и наземных данных	40
2.3 Предмет исследования - карты годовых и сезонных сумм осадков Кыргызстана по мульти спутниковой модели ТМРА	47
2.4 Специальная адаптация спутниковой модели ТМРА для расчета осадков на территории Кыргызстана	53
ГЛАВА 3. ВАЛИДАЦИЯ ПОЛУЧЕННЫХ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ОБ ОСАДКАХ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ КЫРГЫЗСТАНА ПО ЗНАЧЕНИЯМ ИХ СКО	63
3.1 Методика расчета и использование средних квадратических ошибок спутниковых данных	63

3.2	Согласованность годовых сумм осадков, полученных по спутниковым и наземным данным	67
3.3	Согласованность сезонных сумм осадков, полученных по спутниковым и наземным данным	73
3.4	Согласованность месячных сумм осадков, полученных по спутниковым и наземным данным	81
	ГЛАВА 4. ОЦЕНКА СТАТИСТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ СПУТНИКОВЫХ И НАЗЕМНЫХ СУММ ОСАДКОВ ДЛЯ КЫРГЫЗСТАНА С ЦЕЛЮ ПОЛУЧЕНИЯ ИХ ПРИВЕДЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ	90
4.1	Корреляционные связи и регрессионные зависимости для годовых сумм осадков для территории Кыргызстана	91
4.2	Корреляционные связи и регрессионные зависимости для сезонных сумм осадков для территории Кыргызстана	99
4.3	Корреляционные связи и регрессионные зависимости для годовых и сезонных сумм осадков для различных высотных зон Кыргызстана	107
4.4.	Карты приведенных спутниковых значений годовых и сезонных сумм осадков для территории Кыргызстана за период 1998 – 2014 гг.	119
	ВЫВОДЫ	134
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	136
	ПРИЛОЖЕНИЯ	150

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АП – аэропорт

ВТШ – Внутренний Тянь-Шань

В.Д. – восточной долготы

ИКК – Иссык-Кульская котловина

ИСЗ – искусственный спутник Земли

МС - метеостанция

ССЗК – Северный и Северо-Западный Кыргызстан

С.Ш. – северной широты

ТШФГ – Тянь-Шаньская Физико-Географическая станция

ЮЗК – Юго-Западный Кыргызстан

ADEOS – ADvanced Earth Observing Satellite

AMSR – Advanced Microwave Scanning Radiometer (Улучшенный Микроволновый Сканирующий Радиометр)

AMSU – Advanced Microwave Sounding Unit (Улучшенный Микроволновый Зондировщик)

DMSP – Defense Meteorological Satellite Program

NASA – National Aeronautics and Space Administration's (Национальное Авиационное и Космическое Агентство)

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration (Национальное управление по исследованиям океанов и атмосферы США)

PR – Precipitation Radar (Радар измеряющий осадки)

SSM/I – Special Sensor Microwave/Imager (Специальный сенсор микроволновый/радиометр)

TMI – TRMM MW Imager (Микроволновый сенсор спутника TRMM)

TRMM – Tropical Rainfall Measuring Mission (Миссия по Измерению Осадков в Тропиках)

VIRS – Visible and Infrared Scanner (Видимый и инфракрасный радиометр)

ВВЕДЕНИЕ

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 TMPA-3B43 (Tropical Rainfall Measuring Mission Multi-satellite Precipitation Analysis) 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 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 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 исследования входило решение следующих вопросов:

1. ***Дополнительно адаптировать*** модель ТМРА 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 ТМРА в горных районах Кыргызстана.
3. ***Оценить статистические связи и зависимости*** адаптированных годовых и сезонных сумм осадков, получаемых по модели ТМРА, 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 ТМРА, для горных районов Кыргызстана по найденным статистическим зависимостям

Научная новизна полученных результатов.

- Разработана специальная методика дополнительной адаптации модели ТМРА 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 ТМРА, с использованием в качестве меры расхождения 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 TMPA, 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 TMPA, 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 (ССЗК, ЮЗК, ИКК, ВТШ); 6) по Кыргызстану в целом. Все это позволяет широко применять современные спутниковые данные по осадкам, получаемые по модели TMPA и имеющиеся в свободном доступе на сайте NASA – <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/#>, для прикладного климатического использования в недостаточно освещенных метеорологических 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 TMPA 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” (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 Кыргызстана в Центральном Азиатском Институте Исследований Земли.

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”, г. Минск, 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 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.

ГЛАВА 1.

ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДУЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ

1.1. Краткая физико-географическая и климатическая характеристика Кыргызстана

Кыргызстан имеет площадь 198,5 тыс. км², простираясь с запада на восток на 925 км и с севера на юг на 454 км, крайние точки по широте и долготе составляют 43°16' и 39°15' с.ш., 69°15' и 80°18' в.д. [5]. Основная часть территории располагается в пределах Тянь-Шаня и меньшая часть в пределах Памиро-Алая, которые являются одними из наиболее высоких горных поднятий земного шара. Средняя высота республики 2,68 км, а абсолютные отметки высот находятся в диапазоне от 0,40 (подгорная равнина) до 7,44 км (Пик Победы). Около 94 % территории находятся на отметках более 1км, а 41 % превышают 3 км. При этом доля ее различных высотных зон (в %) равна [5]:

высотные зоны, км	до 1	1-2	2-3	3-4	4-5
площадь, %	5,9	22,4	30,9	33,9	6,9

На физико-географической карте (рис. 1.1.) хорошо видно, что территория Кыргызстана состоит из сложного сочетания высоких гор и межгорных долин. При этом относительное превышение хребтов над днищами впадин колеблется в очень широких пределах, от 0,2-0,6 до 2-3 км и более [5, 65, 75, 94]. Из высокогорного узла Хан-Тенгри, лежащего на крайнем востоке и имеющим мощное оледенение, на запад простираются системы субширотных хребтов, которые группируются в северную, среднюю и южные цепи, разделенные межгорными впадинами. На крайнем западе они замыкаются системой субмеридиональных хребтов - Угамским, Чандалашским, Пскемским, Чаткальским и Ферганским. Передовые высокие северные и западные хребты-барьеры (средние высоты гребневых линий около 3,5-4 км) являются весьма значимыми климаторазделами,

ФИЗИЧЕСКАЯ КАРТА

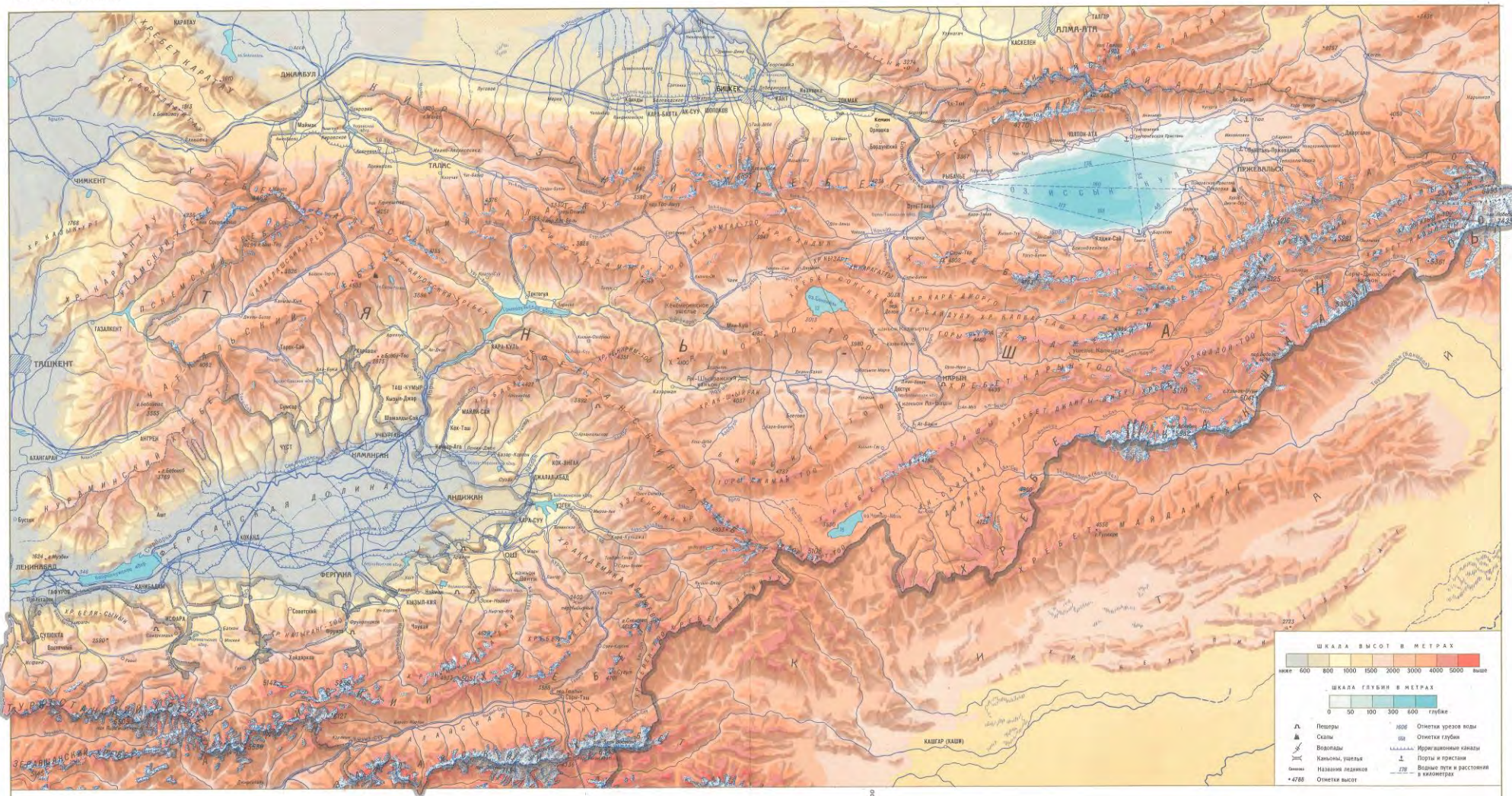


Рис.1.1. Физико-географическая карта территории Кыргызстана [5]

блокируя высокое внутреннее нагорье - Внутренний Тянь-Шань – с его резко континентальным и более холодным климатом по сравнению с периферийными горными областями.

Такая сложная орография и большой диапазон высотных отметок территории создают не менее сложную систему местных климатов и микроклиматов. При этом небольшая протяженность территории по широте и долготе мало влияют на изменение климатических условий – решающая роль принадлежит *орографии и большому диапазону высотных отметок*.

Композиция основных системообразующих хребтов-барьеров, выступающих в роли местных климаторазделов, позволяет совершенно четко выделить четыре климатические провинции или природно-климатические области Кыргызстана [5, 31, 64, 65, 74, 94]:

- Северный, Северо-Западный Кыргызстан (ССЗК), южная граница которого с запада на восток проходит по гребням хребтов Таласский, Кыргызский, Кунгей Ала-Тоо;
- Иссык-Кульская котловина (ИКК) или Северо-Восточный Кыргызстан (СВК), ограниченный на севере хребтом Кунгей, а на юге Терской Ала-Тоо;
- Юго-Западный Кыргызстан (ЮЗК), представляющий собой горное обрамление Ферганской впадины, граничащий на севере с ССЗК, а на востоке с ВТШ (восточная граница ЮЗК проходит по гребню Ферганского хребта);
- Внутренний Тянь-Шань (ВТШ) — высокое внутреннее нагорье, ограниченное с севера ССЗК и ИКК, с запада – ЮЗК, а с юга высоким пограничным хребтом Кок-Шаал.

Деление Кыргызстана на 4 климатические провинции – ССЗК, ИКК, ЮЗК и ВТШ, – которые имеют различное расположение и разную степень защищенности передовыми хребтами-барьерами по отношению к влагонесущим потокам, является первым и необходимым шагом для учета влияния орографии на режим осадков. Подтверждением этому являются существенное различие их увлажненности как в целом, так и по различным высотным поясам [5, 31, 37, 49, 64, 74].

Как и для любой горной страны, можно выделить следующие основные факторы, определяющие климат территории Кыргызстана: циркуляционные условия, радиационный баланс, а также высота и орография местности.

Циркуляционные условия формирования климатов Центральной Азии и Кыргызстана обстоятельно рассмотрены в работах [10, 42, 77, 90]. По [10, 77] для всей средней Азии определены 15 типов синоптических процессов, описание которых достаточно подробно представлено в табл. П. 1.1

Южное положение Кыргызстана (39-43°с.ш.), относительно малая протяженность как с севера на юг, так и по долготе (69-80°в.д.), т.е. компактность территории позволяет говорить в целом о высоком приходе солнечной радиации (радиационный баланс года меняется от 2099 МДж/м² (МС Фрунзе, 0,76 км) до 1627 МДж/м² (МС Тянь-Шань, 3,61 км)), большой продолжительности солнечного сияния, составляющей около 60 % от максимально возможной и по данным этих же станций равной соответственно 2584 и 2586 ч в год [5, 31, 45, 65, 97].

Средние характеристики климата для Кыргызстана, полученные по данным многочисленных проведенных ранее исследований [5, 7, 31, 34, 37, 45, 65, 74, 84, 85, 97], представлены нами в обзорной табл. 1.1.

Таблица 1.1 - Средние годовые характеристики климата Кыргызстана по данным публикаций

Параметр	Величина
Продолжительность солнечного сияния	2500-2750 часов
Продолжительность солнечного сияния, от максимально возможной (с учетом облачности и орографии)	~ 60 %
Количество верхней /нижней облачности клим. справ.	4-5/5-6 баллов
Количество наблюдаемых ясных дней	~ 50 %
Средняя годовая температура воздуха (z, км)	$t = -5,2568z + 15,169$
Максимальная температура (13,3 – 41,3, z=0,6-4 км)	$\bar{t}_+ = -7,07z + 43,6 \pm 2,0,$
Минимальная температура (-15,5 – - 37,4, z=0,6-4 км)	$\bar{t}_- = -3,86z - 18,0 \pm 4,0,$
Продолжительность периода с положительной средней суточной температурой воздуха	130-250 дней
Средние скорости ветра	1-3 м/с
Относительная влажность	40-80 %
Давление	943-537, гПа

Осадки, диапазон для года в различных районах	120-1500, мм
Среднее количество на 1 м ² площади в год	614 мм
Объем осадков для всей территории в год	118,3 км ³
Среднее по территории годовое испарение	367,7 мм на 1 м ²
Средняя по территории годовая испаряемость	882,3 мм на 1 м ²
Годовой модуль стока	8,26 л/с км ²
Период залегания устойчивого снежного покрова	50-200 дней
Максимальный в году водозапас снежного покрова	50-1100 мм (кг/м ²)
Общая площадь оледенения	8000 км ² или 4 % от всей территории

В итоге, важнейшей особенностью климатических условий Кыргызстана является хорошо выраженная высотно-поясная зональность. В зависимости от высоты места общепринято [1, 3, 5, 10, 31, 74, 94] выделение следующих 4 ландшафтно - климатических высотных поясов.

1. Долинно - предгорный пояс (от 0,50-0,60 до 0,90-1,20 км), характеризуется жарким летом (средние температуры июля около 25°C), умеренно прохладной зимой (средние температуры января около -3...,-5°C), часто без устойчивого снежного покрова и с большим дефицитом осадков в году.

2. Среднегорный пояс (от 0,90-1,20 до 2,00-2,20 км) имеет типичный умеренный климат с теплым летом (средние температуры июля 15...20°C) и умеренно-холодной зимой (средние температуры января около -5...-15 (-20) °C) с устойчивым снежным покровом и дефицитом осадков в году.

3. Высокогорный пояс (от 2,00-2,20 до 3,00-3,50 км) отличается прохладным летом и холодной зимой, которая, однако, в целом ряде районов является малоснежной. Средняя июльская температура здесь колеблется от 10 до 15°C, а января от -10 до -20°C.

4. Нивальный пояс (от 3,50 км и выше) характеризуется суровым очень холодным климатом с развитием оледенения на высотах более 3,70-4,00 км. Это пояс скал, снежников, горных ледников, возникающих за счет аккумуляции влаги. Даже в нижней части пояса средние июльские температуры не

превышают 4...7°C (Тянь-Шань, 3,61 км, +4,3°C), а январские опускаются ниже -20°C (Тянь-Шань, -21,8°C).

Численная характеристика высотных зависимостей для изучаемой территории таких метеорологических величин как – давление, температура и плотность воздуха, промерзания грунтов, различных характеристик гроз и отопительного сезона, максимальных водозапасах снежного покрова, максимальных скоростей ветра и гололедных отложений – приведены в работах сотрудников кафедры метеорологии, экологии и охраны окружающей среды Кыргызско-Российского Славянского Университета [8, 34, 57, 58, 62, 64, 67, 70, 73], посвященных проблеме высотной климатической зональности Кыргызстана.

Вопросы территориально-высотных зависимостей годовых осадков и современного их изменения, в связи с изменяющимся климатом Кыргызстана будут изложены подробно в следующем пункте 1.2, имеющим специальный обзорный характер по этим задачам.

Исходя из выше сказанного, можно сделать следующий вывод: климат Кыргызстана является резко континентальным, засушливым, с умеренным количеством осадков и с ярко выраженной высотной зональностью. Для территории республики в целом характерны умеренно холодная зима, жаркое и сухое лето, особенно в предгорной зоне, и короткие, ярко выраженные переходные сезоны.

В соответствие с приведенной краткой характеристикой климата Кыргызстана, ясно, что проблема его детального изучения, в том числе, территориального и временного распределения осадков для такой орографически сложной территории, все еще остается весьма актуальной и одним из наиболее перспективных направлений ее решения является, прежде всего, использование современных спутниковых данных.

1.2. Территориально-высотные и временные закономерности изменения годовых сумм осадков на территории Кыргызстана

Главными особенностями режима осадков для любого региона являются их территориальные (а для горных областей территориально-высотные) и временные закономерности изменения годовых сумм. Под временными закономерностями здесь понимаются их изменения, связанные с постоянно происходящими изменениями климата региона. Для Кыргызстана эти две задачи исторически решались последовательно в этапы, 1950-2010 гг. (первая задача) и начиная с рубежа 20-21 веков (вторая задача). В настоящем разделе делается поэтапный обзор основных результатов, полученных различными исследованиями по данным их публикаций.

Из многочисленных исследований по различным вопросам территориально-высотных закономерностей режима осадков на территории Кыргызстана надо, прежде всего, выделить следующие основные работы фундаментального характера: монография «Климат Киргизской ССР» (1965 г.) [31], монография Пономаренко П. Н. «Осадки Киргизии» (1976 г.) [74], атлас по природным условиям и ресурсам Киргизской ССР (1987 г.) [5], монография «Оледенение Тянь-Шаня» (1995 г.) [49], и монография Кузьмиченка В.А. «Цифровые модели характеристик увлажнения Кыргызстана» (2008 г.) [37], а также климатические справочники издания 1969 [84] и 1989 г. [45]. При этом, в климатическом справочнике 1969 г. [84] приведены данные о количестве осадков за период с 1891 по 1965 г. по 270 метеостанциям и постам. В более позднем справочнике 1989 г. [45] сведения об осадках приведены только по 75 метеостанциям и постам. Данные этих двух справочников являлись основой для вышеназванных исследований. Приведем краткий анализ основных результатов, полученных в этих работах.

В работе [31], вышедшей в 1965 г., которая была подготовлена коллективом авторов Отдела географии Института Геологии АН Кирг. ССР и содержала первое систематическое и обстоятельное описание климата Кыргызстана, раздел осадков написан П.Н. Пономаренко. Несколько позднее им же была подготовлена отдельная монография по этому вопросу, изданная Гидрометиздатом [74]. В этой работе автор впервые приводит серию полученных им высотных зависимостей годовых сумм осадков по каждой из 4 климатических провинций, по которым построены климатические карты осадков. В 1987 г. эти же результаты без существенных изменений по режиму осадков были продублированы в Атласе Киргизской ССР [5], изданным большим коллективом авторов, под редакцией С.У. Умурзакова (Отдел географии АН Кирг. ССР).

Согласно этим работам [5, 31, 74], основные территориально-высотные закономерности режима осадков в Кыргызстане сводятся к следующему.

Влияние орографии и высоты, как главных действующих факторов, обуславливающих всю сложность территориально-высотного распределения осадков в Кыргызстане, всегда прослеживается в их тесной взаимосвязи, так что при практическом анализе требуется со всей тщательностью учитывать конкретный вклад каждого из них. Это, как уже подчеркивалось, выражается прежде всего, в том, что при отыскании высотных зависимостей осадков их надо строить отдельно для каждой из 4 климатических провинций Кыргызстана, имеющих различное расположение и ориентацию к влагонесущим потокам. Однако это только первый шаг и требуется дальнейший по-шагово дифференцированный учет орографии в каждой из этих провинций. Например, возможные принципы такого учета предлагаются в работе [64].

Карты осадков П.Н. Пономаренко, приводимые в работах [5, 31, 74], основываются на семействе высотных зависимостей, построенных для каждой из 4 климатических провинций. Им по фактическим данным были построены 20 графических высотных зависимостей годовых норм осадков (объединенных в 6 различных территориальных семейств), для 4 климатических провинций

Кыргызстана. Для этого автор использовал данные 86 гидрометеорологических станций, 212 осадкомерных постов и 62 суммарных осадкомеров. Дополнительно для высокогорной зоны использовались уравнения связи летней температуры воздуха с таянием ледников на их границе, и в целом использовались многолетние геоботанические и почвенные карты республики. В качестве примера на рис. 1.2 показаны три семейства таких зависимостей для части Ферганской впадины, Северо-Западного Кыргызстана и ВТШ. По этим графикам им построена карта годовых осадков для Кыргызстана. Эта карта до сих пор остается одним из основных результатов по территориальному распределению осадков в такой сложной горной стране. Однако обращает на себя внимание значительная неопределенность в рекомендациях к конкретному использованию этих зависимостей, приведенному в подписях к каждому семейству кривых на рис 1.2, что, несомненно, требует уточнения. Кроме того, использованная нелинейность многих кривых, к тому же имеющих кривизну различного знака, не всегда может быть оправдана, учитывая, что они проведены “от руки”. Все эти графики высотных зависимостей осадков для различных климатических провинций в зависимости от условий защищенности приведены в П.1.2.

Согласно полученной карте [74], осадки в различных климатических провинциях и их отдельных районах (даны в скобках) изменяются с высотой в следующих пределах.

Провинция	ЮЗК (СВ р-ны)	ЮЗК (Ю р-ны)	СЗК (Чуйс. дол.)	СЗК (Тал. дол.)	ИКК	ВТШ
Осадки, мм	300-1200	250-900	350-1000	250-550	100-800	200-900

Видно, что наибольшее количество осадков выпадает в высокогорных районах ЮЗК и СЗК (до 1000-1200 мм). Во ВТШ и ИКК их несколько меньше (до 800-900 мм).

На графиках (рис.1.2) показаны фактические данные осадкомерной сети и пояснения к их использованию для различных орографических условий.

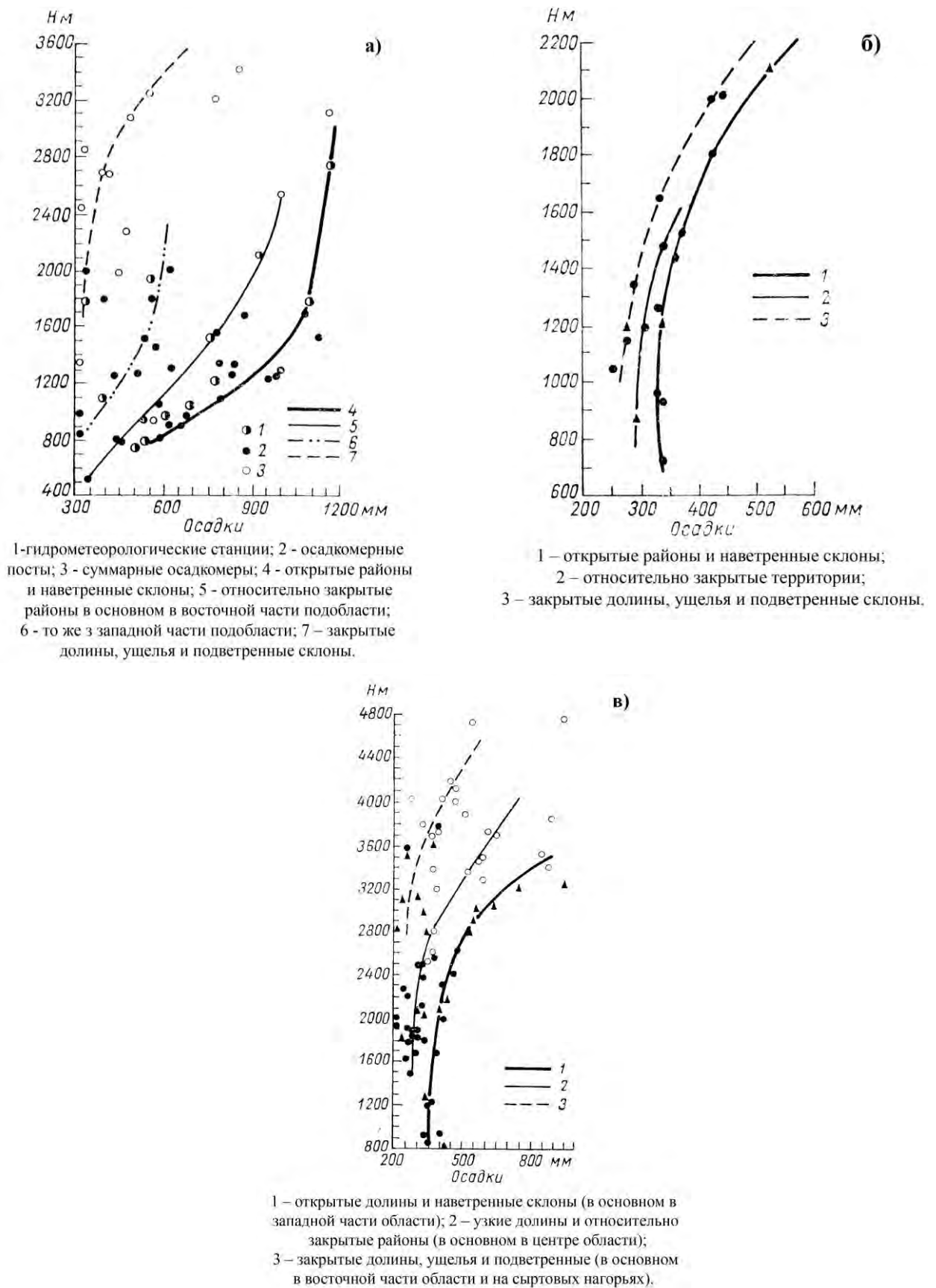


Рис. 1.2. Примеры графиков высотных зависимостей годовых норм осадков П.Н. Пономаренко для ЮЗК, СЗК и ВТШ [74], а) ЮЗК (сев-сев-восточные районы), б) СЗК (Таласская долина), в) ВТШ

Через 30 лет после начала исследований П.Н. Пономаренко, в фундаментальной работе, посвященной оледенению Тянь-Шаня [49], подготовленной в 1995 г. силами 5 ведущих научно-исследовательских институтов различных стран (Институт географии АН России, ТШФГ станция НАН КР, Институт геокриологии и гляциологии АН Китая, Институт географии АН Казахской республики и Агентство по геодезии и картографии Киргизии), раздел об осадках подготовлен по имеющимся на тот период данным метеостанций Кыргызстана и сопредельных территорий. *Авторы тщательно сопоставили имеющиеся данные об осадках на сети метеостанций с фактическим оледенением Тянь-Шаня.* Территориально-высотное распределение осадков в этой работе представлено семейством из 9 линейных высотных зависимостей. Прежде всего, принципиальным отличием этих высотных зависимостей от кривых П.Н. Пономаренко является их линейный характер, что на наш взгляд является более оправданным, учитывая ограниченный характер исходных данных. Авторами карта годового распределения осадков не строилась. Но приведенный набор высотных зависимостей позволяет наглядно воспроизвести их территориальное распределение. Численно оно дано в подписи к рис. 1.3, заимствованном из [49], и в табл.1.2. В целом принципиальных противоречий между данными Пономаренко и этой работой нет, однако в деталях такие различия имеются.

Так, например, по [14] для северного склона Кыргызского хребта максимальное количество осадков составляет 750 мм, для Ферганского хребта 1070, для ИКК 600-850 мм. Для ВТШ осадков приводится значительно ниже, меняясь в диапазоне 185-585 мм. Все эти данные об осадках ограничиваются высотами 3,5 км, по которым имеются надежные наблюдения метеостанций.

К сожалению, на графиках зависимостей рис 1.3 не приведено фактическое поле точек с данными метеостанций, что не позволяет судить об их качестве и практической надежности. Также, в отличие от исследования высотных зависимостей Пономаренко П.Н. (20 зависимостей), не учитывается

степень местной орографической защищенности районов, к которым относятся кривые.

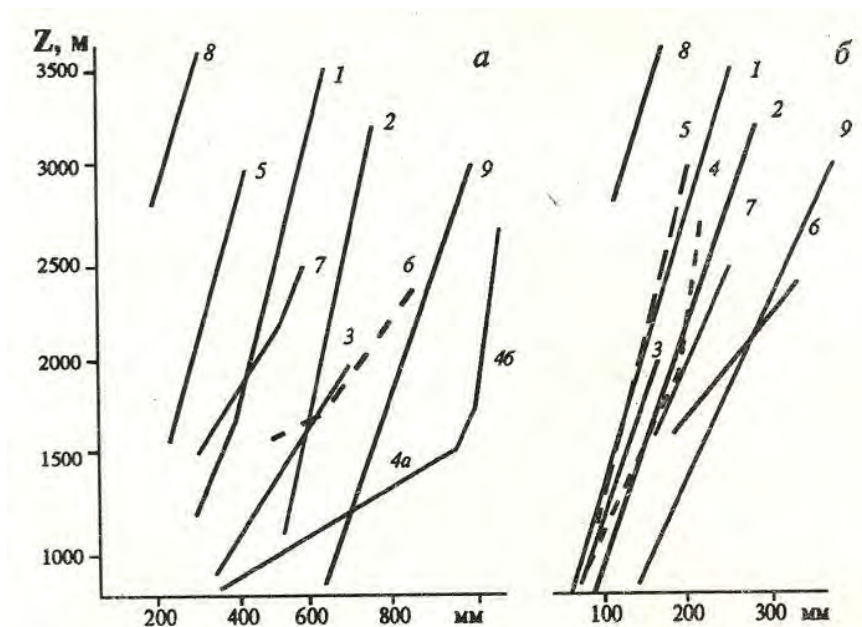


Рис. 1.3. Изменение с высотой годовых (а) и летних (б) сумм осадков в различных районах Тянь-Шаня, в том числе на ЮВ склоне Чаткальского хребта (3) и ЮЗ склоне Ферганского хребта (4а-4б) [49]

Таблица 1.2 – Величины осадков и их вертикальные градиенты в различных районах Тянь-Шаня по [49]

Район (по рисунку 1.3)	Интервал высот, км	Интервал осадков, мм	Градиент, мм/на 1 км
1. Долина реки Талас	1,4-3,5	350-650	131
2. Северный склон Киргизского хребта	1,1-3,2	515-750	112
3. ЮВ склон Чаткальского хребта	0,9-2,0	335-685	318
4а. ЮЗ склон Ферганского хребта	0,84-1,5	350-940	894
4б. ЮЗ склон Ферганского хребта	1,8-2,7	1000-1070	78
5. Долина реки Сусамыр и примыкающие с востока районы	1,6-3,0	230-435	146
6. Восточная часть котловины Иссуку-Куля	1,7-2,4	600-850	357
7. Восточная часть хребта Терскей-Алатау	1,64-2,5	300-575	320
8. Внутренний Тянь-Шань, верховье р. Нарын	2,84-3,615	185-305	155
9. Северный склон Заилийского Алатау	0,85-3,02	620-1000	175

После этой работы в 2008 г. в свет вышла монографии В.А. Кузьмиченка «Цифровые модели характеристик увлажнения Кыргызстана (математико–картографическое моделирование)» [37], посвященная цифровым моделям

различных климатических параметров увлажнения Кыргызстана. В ней использованы все имеющиеся на тот период данные по осадкам: 327 метеостанций, гидрологических постов и суммарных осадкомеров, а также косвенные расчеты осадков в нивальной зоне по данным наблюдений за температурой воздуха на 6 реперных ледниках (431 точка цифрового моделирования). Но самое главное – новый методический подход, основанный на использовании цифровой модели рельефа Кыргызстана и современных методах построения климатических карт.

В настоящее время эта работа является, наиболее обстоятельным исследованием о территориальном распределении осадков в Кыргызстане. В ней были учтены все имеющиеся исходные фактические данные, за большой период наблюдений, а также косвенные данные о температуре фирновой линии реперных ледников. Математическая обработка помогла выполнить более высокую детализацию, ранее не осуществленную никем, так, например, при цифровом моделировании учет высоты местности был произведен в масштабе “макросклона” - 500 м [37]. Также было получено распределение атмосферных осадков по отдельным месяцам для не высокогорной территории. Непосредственно высотные зависимости сумм осадков В.А. Кузьмиченком не строились.

В качестве примера приведем высотную зависимость осадков, полученную в [64] и следующую из результатов работы Кузьмиченка [37], найденную для высотного профиля “Казарман-Кумтор-Хан-Тенгри”. Высотный разрез “Казарман – восток” проходит с запада на восток по Тогуз-Тороусской, Средне и Верхнее-Нарынской котловинам, Кумторским сыртами и Сары-Джазу и только потом выходит на высокий горный массив Хан-Тенгри. Поэтому определенные по нему осадки на высотах до 3 км достаточно близко соответствуют днищам долин и котловин. На рис. 1.4 хорошо виден разброс опытных данных, обусловленный влиянием орографии, который на высоте 4 км составляет диапазон 500-800 мм. На крайнем востоке, в районе горного узла

Хан-Тенгри, на очень больших высотах, достигающих здесь 6-7 км, осадки составляют 960-1100 мм.

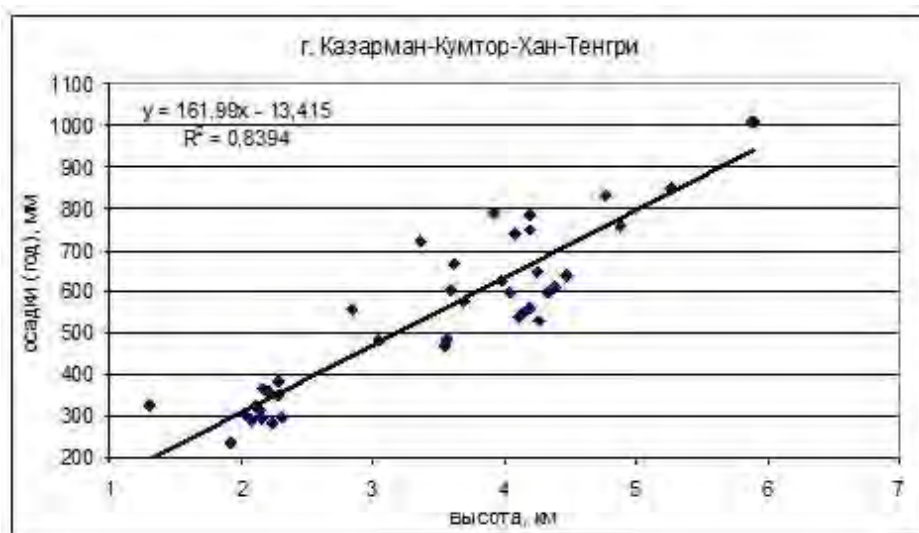


Рис. 1.4. График высотной регрессии годовых сумм осадков ВТШ - восточный разрез Казарман-Кумтор- Хан-Тенгри по [64]. Зависимость получена по базе данных В.А. Кузьмиченка [37]

В.А. Кузьмиченком была любезно предоставлены кафедре метеорологии КРСУ программа, позволяющая по составленной им базе данных по осадкам строить разрезы для любого заданного профиля. Имеющийся опыт их построения говорит о том, что получаемые зависимости имеют линейный или близкий к нему характер. Например, для профиля рис. 1.4 высотная регрессия имеет вид:

$$R(\text{мм}) = 161,99 * z(\text{км}) - 13,415 \quad (r = 0,92), \quad (1.1)$$

где $R(\text{мм})$ – осадки в мм,

z - высота в км,

r - коэффициент корреляции.

В линейности высотных зависимостей состоит коренное отличие полученных этих автором результатов от работы Пономаренко. Однако сам автор указывает на значительные сложности, с которыми он столкнулся при составлении карт увлаженности территории, обусловленные исключительно сложной орографией, большим диапазоном отметок и недостаточностью исходных данных. Поэтому, полученные результаты, не смотря на их обстоятельность и важность, далеко не исчерпывают проблему

территориально-высотного распределения осадков в Кыргызстане. Например, желательно было бы сопоставить полученные результаты цифрового моделирования с картами распределения растительности, и прежде всего лесов Кыргызстана. Так, для разрезов южного склона Кунгей Ала-Тоо для меридианов Рыбачье-Чолпон-Ата на высоте 3-3,5 км осадки практически одинаковые. Тогда как ниже этих высот для меридиана Чолпон-Аты имеется хорошо выраженная лесная зона, чего для меридиана Рыбачьего нет.

Наконец, в 2013 г. вышла в свет обстоятельная работа «Физическая география Кыргызстана», изданная под редакцией С. К. Аламанова и Чен Хи, при финансовой поддержке Министерства науки и техники Китайской Народной Республики [94]. В ней вопрос об осадках рассматривается как обобщение результатов, выполненных ранее работ и, прежде всего, результатов, приведенных в Атласе Киргизской ССР, т.е. исследований П.Н. Пономаренко.

Следует также, указать на вышедшую в 2014 г. работу О.А. Подрезова [64], в которой рассматриваются вопросы высотной климатической зональности Кыргызстана с приведением высотных регрессий по многим метеорологическим величинам. В ней дается аналитический обзор различных методических подходов по исследованию осадков в рассмотренных выше работах и делается вполне определенный вывод, что наиболее полным, обстоятельным и современным исследованием по осадкам в Кыргызстане на сегодняшний день является работа В.А. Кузьмиченка. Чтобы лучше показать суть полученных в ней результатов автор приводит серию построенных им профилей линейных высотных зависимостей годовых осадков для каждой из 4 климатической провинций, рассчитанных методом наименьших квадратов, т.е. как высотные регрессии, используя упомянутую программу В.А. Кузьмиченка. [37]. Пример такого профиля приводились нами выше на рисунке 1.4, как иллюстрация результатов исследований В.А. Кузьмиченка, которые им самим не строились и поэтому не приводятся в работе [37].

В заключение обзора отметим, что, несмотря на различный подход, использованный всеми авторам, полученные ими результаты распределения осадков в диапазоне высот до 3,5 км по которым имелись данные метеостанций, не противоречат друг другу по порядку годовых сумм осадков. Однако со всей определенностью надо сказать, что, несмотря на достигнутые успехи проблема территориально высотного распределения осадков в Кыргызстане все еще далека от своего решения. Основными причиной являются исключительная сложность территории и недостаточность прямых результатов наблюдений за осадками на наземной сети станций. Поэтому выходом из положения, прежде всего, может служить привлечение спутниковых данных по осадкам, чему посвящена настоящая диссертация. Современные спутниковые данные по осадкам уже частично использовались в Кыргызстане для изучения снежного покрова и прогноза стока рек в работе диссертанта и Подрезова О.А. 2011, 2017 г. [27, 28, 67], а также в работе Калашниковой О.Ю., 2015 г. [26], однако данные об осадках модели TMPA-3B43 используются нами впервые.

Заметим, что результаты статьи [123], где диссертант являлся соавтором использованы в работе Сэмюэлем Диксоном и Робертом Вилби (Университет Loughborough, Великобритания) [113], которыми в 2014 году было проведено пилотное исследование притока воды для реки Нарын.

Остановимся теперь предельно кратко на проблеме оценки временных закономерностей изменения осадков в Кыргызстане, связанных с постоянно происходящими изменениями его климата, следуя результатам работ [14, 60, 66].

В Первом и Втором национальных сообщениях по изменению климата Кыргызстана (2003 и 2008 г.) [14, 60] в целом, как для годовых, так и для сезонных изменений выпадения осадков прогнозируется их незначительное изменение. Причем наиболее существенным ожидается снижение осадков в летний период, а наибольший рост – в зимний. При этом ожидается значительное сокращение площади ледников от 64 до 95 % с 2000 по 2100 гг., в

зависимости от принятого варианта климатических сценариев. Это приведет к значительному уменьшению поверхностного стока и сокращение площади озер.

Напротив, в работе Подрезова О.А., 2017 г. [66], основанной на статистическом исследовании имеющихся рядов метеостанций получены совершенно иные результаты. Так, оказалось, что на интервале 1930-2010 гг. на всех длиннорядных станциях ССЗК наблюдается существенно положительные тренды осадков и пока ничто не предвещает смену их знака. Так, для предгорных, среднегорных и высокогорных районов за этот период осадки выросли соответственно на 25, 17 и 13 %. При этом значение угловых коэффициентов для осадков колеблется в диапазоне от 18, 17 до 28,67 мм/10 лет. Эти выводы также противоречат данным МГЭИК [41], полученным по глобальным климатическим моделям, согласно которых для Центральной Азии к середине - концу текущего столетия получены сценарии изменения климата с существенным уменьшением осадков. Исходя из работы [66], можно с уверенностью сказать, что, по крайней мере, этого пока не наблюдается. При исследовании изменения осадков по сезонам, оказалось, что: в зимний период наблюдалось высокое повышение осадков с относительной скоростью 3,77 - 5,09 мм/10 лет; весной скорости менялись от слабых до высоких 1,6-6,34 мм/10 лет; летом изменения наблюдались от незначительного понижения до заметного повышения -1,09 до +3,23 мм/10 лет; осенью наблюдается умеренное повышение с близкими значениями скоростей 2,58-3,31 мм/10 лет.

Кроме рассмотренных фундаментальных работ по режиму осадков в Кыргызстане опубликовано много частных работ по проблеме осадков для этой сложной территории [1, 6, 9, 15-18, 32, 35, 50, 70, 73, 95, 98, 125] и изменению климата в данном регионе [11, 19, 23, 30, 35, 38, 39, 61, 66, 99-102]. Все они в той или иной степени отражают имеющиеся на сегодняшний день исходные данные по режиму осадков и выполненные проработки по этому вопросу. Произошедшее после 1991 года сокращение осадкомерной сети, по крайней мере, в три раза (32 МС на сегодняшний день) также не снимает остроту проблемы исследования осадков в Кыргызстане в ближайшем будущем. Основным выходом из

положения видится использование методов дистанционного спутникового зондирования атмосферы, которые обладают очень хорошим пространственно-временным разрешением. Однако, для того чтобы понять, насколько спутниковые данные отражают реальную картину режима осадков, в первую очередь необходимо провести их валидацию с наземными наблюдениями, что рассматривается в главе 3.

В заключение главы 1 можно отметить следующее:

1. Кыргызстан, расположенный в пределах высочайших горных поднятий Тянь-Шаня и Памиро-Алая, характеризуются сложными климатическими условиями, с хорошо выраженной высотной поясной зональностью. Несмотря на это многие вопросы климата Кыргызстана к настоящему времени изучены достаточно обстоятельно и полученные результаты успешно используются для решения многих прикладных задач.

2. Однако, несмотря на большую историю изучения пространственно-временных закономерностей распределения осадков на территории Кыргызстана и достигнутые значительные успехи по этому вопросу, проблема осадков далека от своего полного решения. Основной причиной является недостаточно густая сеть наземных осадкомеров (метеостанций и гидропостов) для освещения поля осадков такого орографически сложного региона. При этом в ближайшей перспективе ожидать существенного расширения сети метеостанций и гидропостов не приходится, ввиду экономических трудностей такого развития сети.

3. Наиболее перспективным выходом из положения является использование спутниковых данных по определению осадков. Дистанционные спутниковые измерения осадков уже успешно используются во всем мире, а соответствующие модели расчета осадков постоянно совершенствуются и им в значительной мере принадлежит будущее.

ГЛАВА 2.

ИСХОДНЫЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ГОДОВЫХ И СЕЗОННЫХ СУММ ОСАДКОВ ПО МУЛЬТИ СПУТНИКОВОЙ МОДЕЛИ ТМРА ДЛЯ ГОРНЫХ РАЙОНОВ КЫРГЫЗСТАНА

2.1. Объект исследования - определение сумм осадков по мульти спутниковой модели ТМРА по данным спутников TRMM, DMSР, ADEOS-II и NOAA ATOVS

Для измерения осадков на сегодняшний день в распоряжении ученых находится целый ряд измерительных приборов – от простейших наземных осадкомеров, до высокотехнологичных радаров и спутников. Основные их преимущества и недостатки сведены в табл. П. 2.1.

На сегодняшний день существует два основных типа искусственных спутников Земли (ИСЗ) – геостационарные и полярные [91, 92]. *Геостационарные спутники* позволяют получать информацию о состоянии системы атмосфера-поверхность на огромных площадях, охватывающих зону от 75°с.ш до 75°ю.ш, с высокой периодичностью каждые 15–30 минут. Высота их орбиты составляет около 36 тыс. км. Приборы на геостационарных спутниках измеряют уходящее излучение в широкой области спектра с хорошим пространственным (горизонтальным) разрешением (1–10 км и даже меньше). *Полярные спутники* обеспечивают полный охват наблюдениями всей Земли. Их орбиты имеют наклон к экваториальной плоскости, близкий к 90°. Высота таких спутников от поверхности Земли составляет обычно 800–1000 км [91, 92]. На большинстве современных геостационарных ИСЗ отсутствует многоспектральная аппаратура, а разрешающая способность измерений

уступает разрешающей способности измерений с полярно орбитальных спутников. Однако для наиболее точных измерений осадков посредством ИСЗ, необходимо использование данные, как с геостационарных, так и с полярно орбитальных спутников.

Существует множество сенсоров, установленных на метеорологических ИСЗ, предназначенных для измерения осадков. Они делятся на три основных класса [4, 12, 21, 24, 47, 120]:

- радиометры, работающие в видимом спектре,
- радиометры, работающие в инфракрасном спектре,
- микроволновые сенсоры (пассивные и активные).

Основные принципы их измерения приведены в табл. П.2.1

Измерения, производимые сенсорами спутников, дают большое количество информации об осадках и успешно используются в оперативной практике. Нами были изучены и выбраны технические характеристики основных современных спутников и их сенсоров, предназначенных для мониторинга осадков. Данные о них сведены в табл. П 2.2 и табл. П 2.3.

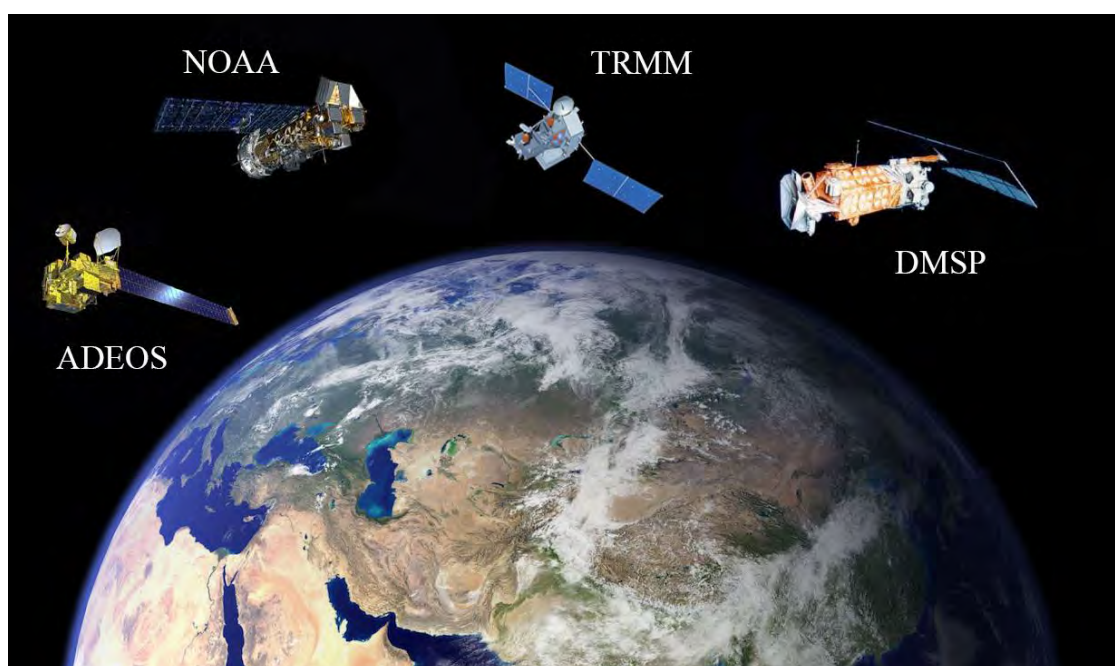


Рис. 2.1 Система спутников модели TMPA-3B43: TRMM (сенсоры PR, TMI, VIRS), DMSP (сенсор SSM/I), ADEOS-II (сенсор AMSR), NOAA ATOVS (сенсор AMSU-B)

В предыдущей работе автора [122], реализованной во время стажировки в Центре образования по космическим наукам и технологиям в Азиатском и Тихоокеанском регионе (CSSTEAP), было проведено исследование возможностей Индийского геостационарного спутника Kalpana-1 [44, 112] для оценки осадков в Кыргызстане – районе умеренных широт. Результаты по ряду причин (угол наклона спутника, применение лишь инфракрасного спектра для оценки осадков и т.д.) оказались неудовлетворительными. Таким образом, было принято решение об использовании более подходящей для наших широт группы полярных спутников, объединенных в модель TMPA-3B43 (TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis).

В настоящей работе в качестве объекта исследования используются данные мульти спутниковой модели по анализу осадков TMPA-3B43, которая включает в себя информацию основного спутника TRMM и дополнительных спутников - DMSP (сенсор SSM/I), ADEOS-II (сенсор AMSR), NOAA ATOVS (сенсор AMSU-B) [126]. Эти спутники имеют разнообразные сенсоры (микроволновые, инфракрасные и видимые) предназначенные для измерения осадков. Рассмотрим кратко технические характеристики этих спутников, а также их сенсоров:

Полярный спутник **TRMM** (The Tropical Rainfall Measuring Mission) - миссия по измерению осадков в тропиках, является объединенным проектом США (NASA) и Японии (JAXA) [127]. Спутник был выведен на орбиту 27 ноября 1997 года с параметрами: наклонение орбиты – 35°; период обращения – 92 минуты; перигей – 366 километров; апогей – 381 километр. Контроль высоты – стабилизация по трем осям. Геометрия сканирующих сенсоров спутника отображена на рис. 2.2.

При помощи трех сенсоров, размещенных на спутнике, осуществляется измерение осадков: первый – активный микроволновый радар (Precipitation Radar – PR), второй – пассивный микроволновый сенсор (TRMM Microwave Imager – TMI), и третий – видимый и инфракрасный радиометр (Visible and Infrared Sensor – VIRS) (рис. 2.2 и рис. 2.3). Улучшение качества измерений

было достигнуто путем совместного использования активного микроволнового сенсора PR и пассивного сенсора TMI [127].

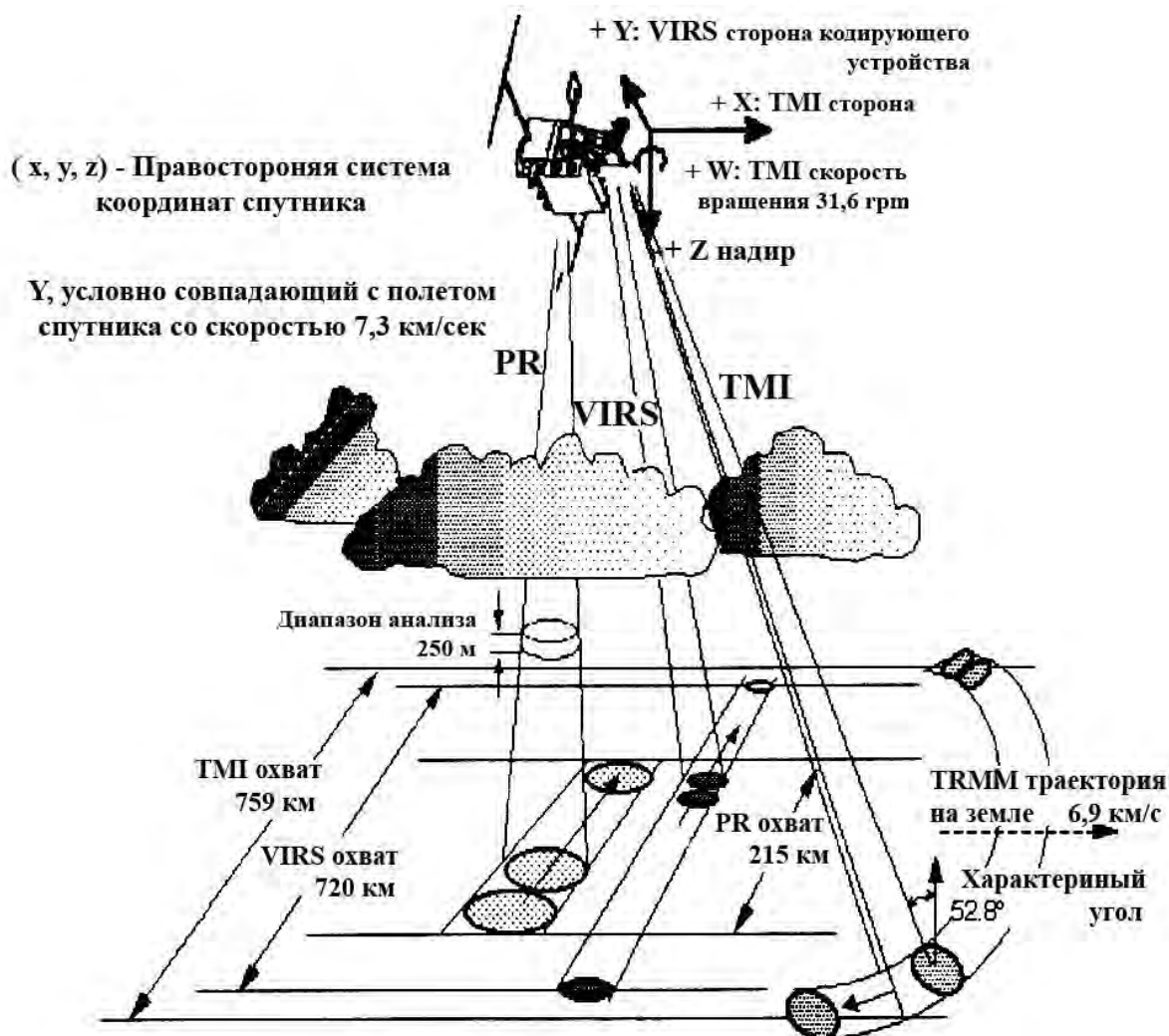


Рис. 2.2. Геометрия сканирующих сенсоров TRMM [52]

Радар для измерений осадков (*Precipitation Radar - PR*) позволяет получать трехмерную информацию об интенсивности и распределении осадков, их типов, наличия твердой фазы в облаках и т.д. Радар даёт возможность изучить явление в вертикальном разрезе, имеет горизонтальное разрешение измерений $\sim 5 \text{ км}$ и полосу обзора $\sim 215 \text{ км}$. Важной его особенностью является способность изучать вертикальную структуру дождевых облаков от поверхности до высоты $\sim 20 \text{ км}$ [127].

Микроволновый имаджер TRMM (*Microwave Imager - TMI*) позволяет получать пассивным методом количественную информацию об интенсивности осадков, водяном паре, жидкой воде в облаках в широкой полосе

пространственного обзора. ТМІ является пятиканальным (от 10 до 86 ГГц) сканирующим СВЧ-радиометром с пространственным разрешением от 5 до 45 км в полосе обзора 759 км.

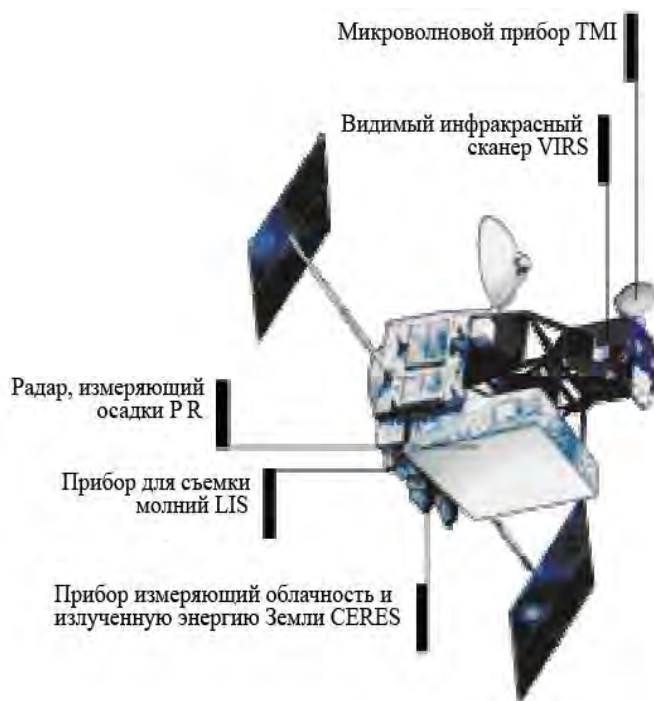


Рис. 2.3. Инструменты спутника TRMM [52]

Сканнер ИК и видимой области (*Visible and Infrared Scanner - VIRS*) позволяет получать информацию о температуре поверхности или верхней границе облаков, оценивать высоту их верхней границы и интенсивность осадков с помощью специальных ИК методик. VIRS включает широкоугольный пятиканальный сканирующий радиометр и обеспечивает съемку облачного покрова с высоким разрешением а также позволяет определить тип облаков [127].

В модели TMPA включены такие данные вспомогательных спутников – DMSP (сенсор SSM/I), ADEOS-II (сенсор AMSR), NOAA ATOVS (сенсор AMSU-B), остановимся кратко на их описании [53, 54, 87, 88].

Полярный спутник **DMSP** – обеспечивает глобальное покрытие два раза в день и предоставляет следующую информацию: осадки, тип и высота облачности, количество ее паросодержания, температура суши и поверхностных вод, океанические течения, границы льда и снега. На спутнике установлен микроволновый тепловизор *SSM/SSMIS* это спутниковый

пассивный микроволновый радиометр, предназначенный в первую очередь для зондирования температуры и водяного пара в атмосфере по измерению яркостной температуре.

Спутники *NOAA ATOVS* – серия спутников, несущих на борту сенсоры, предназначенные для сбора данных для анализа и прогноза погоды и климата: глобальные снимки облачности и земной поверхности, вертикальные профили влажности и температуры атмосферы. Данные микроволнового зондировщика *AMSU B*, установленного на NOAA ATOVS в первую очередь используются в численных методах прогноза погоды и в различных климатических моделях в глобальном масштабе и для оперативного использования.

ADEOS-II – японский спутник, позволяющий получать информацию о процессах, связанных с водой в мировом океане, циркуляции углерода, озона и энергии в земной атмосфере. *AMSU* – его микроволновый сканирующий радиометр, получающий данные, связанные с образованием и конденсацией водяного пара, температурой поверхности моря, скоростью ветра у поверхности, ледовым и снежным покровом и др.

Таким образом, в настоящей работе были использованы данные, с нескольких спутников, во всех спектрах электромагнитной радиации, в которых осуществляются наблюдения за осадками.

Остановимся теперь на описании используемой мульти спутниковой модели по анализу осадков в тропиках – ТМРА-3В43 Version-6 [43, 126]. Целью модели является получение наиболее точных данных об осадках над огромным регионом от экватора до умеренных широт (45°), а полученные результаты широко используются на практике [103, 106-108, 113-116, 121-124]. Выходные данные модели ТМРА-3В43 Version-6 (V6) предоставляют собой стандартный продукт суммы осадков за месяц, который выводится после осреднения продукта модели ТМРА-3В42 V6 (суточная сумма). Эта модель имеет довольно высокое временное разрешение (от 3 часов) и пространственное разрешение $0,25^\circ \times 0,25^\circ$. Так, например, территория Кыргызстана покрывается такой сеткой, включающей 351 узел, рис. 2.4.

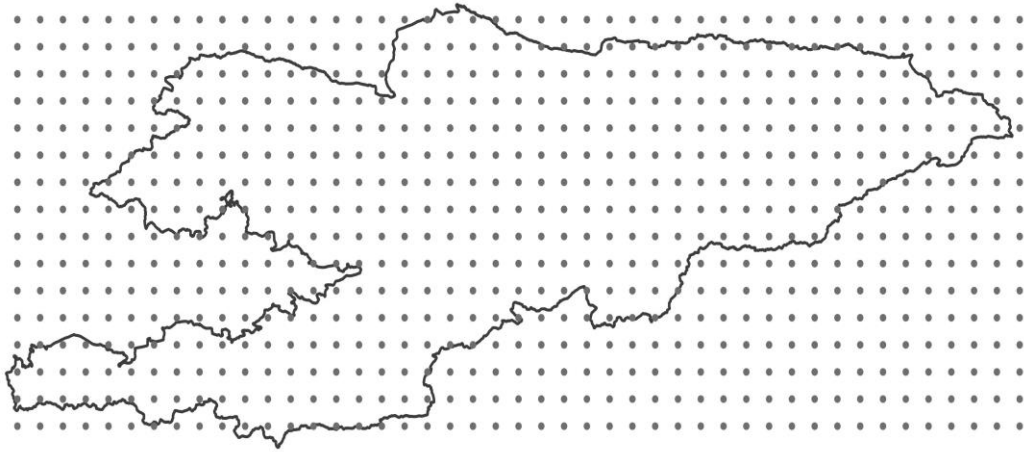


Рис. 2.4. Сетка спутниковых точек модели TMPA-3B43, покрывающая территорию Кыргызстана (размер ячейки $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$)

В каждой точке, спутник предоставляет данные о количестве осадков, над определенным районом земной поверхности. Они архивируются и распространяются центром Космических полетов Годдарда – NASA и доступны на официальном сайте NASA [43]. К достоинствам этого архива, который был использован нами, следует отнести его большой объем, позволяющий выявлять статистические связи, а также достаточно высокое временное и пространственное разрешение.

Алгоритм измерения осадков модели TMPA основан на технологии Ховманна (Huffman) 1997 г. [120]. Эта технология основана на высокой точности микроволновых и хорошем пространственно-временном покрытии инфракрасных сенсоров. Для такого оптимального комбинирования используются различные статистические техники [107]. При этом последовательно осуществляются следующие основные четыре шага алгоритма:

- 1) измеренные микроволновым сенсором данные об осадках калибруются и объединяются,
- 2) инфракрасные измерения генерируются благодаря уже откалиброванным микроволновым измерениям,
- 3) микроволновые и инфракрасные измерения объединяются,
- 4) когда это возможно, то наземные данные также интегрируются.

При этом главной целью этой процедуры на каждом шаге является наиболее точная и эффективная интерпретация измерений, которая позволит получить достоверные данные об интенсивности осадков в конкретно заданное время. Рассмотрим эти шаги более подробно, используя рис. 2.5, где приведена блок-схема алгоритма модели TMPA [126].

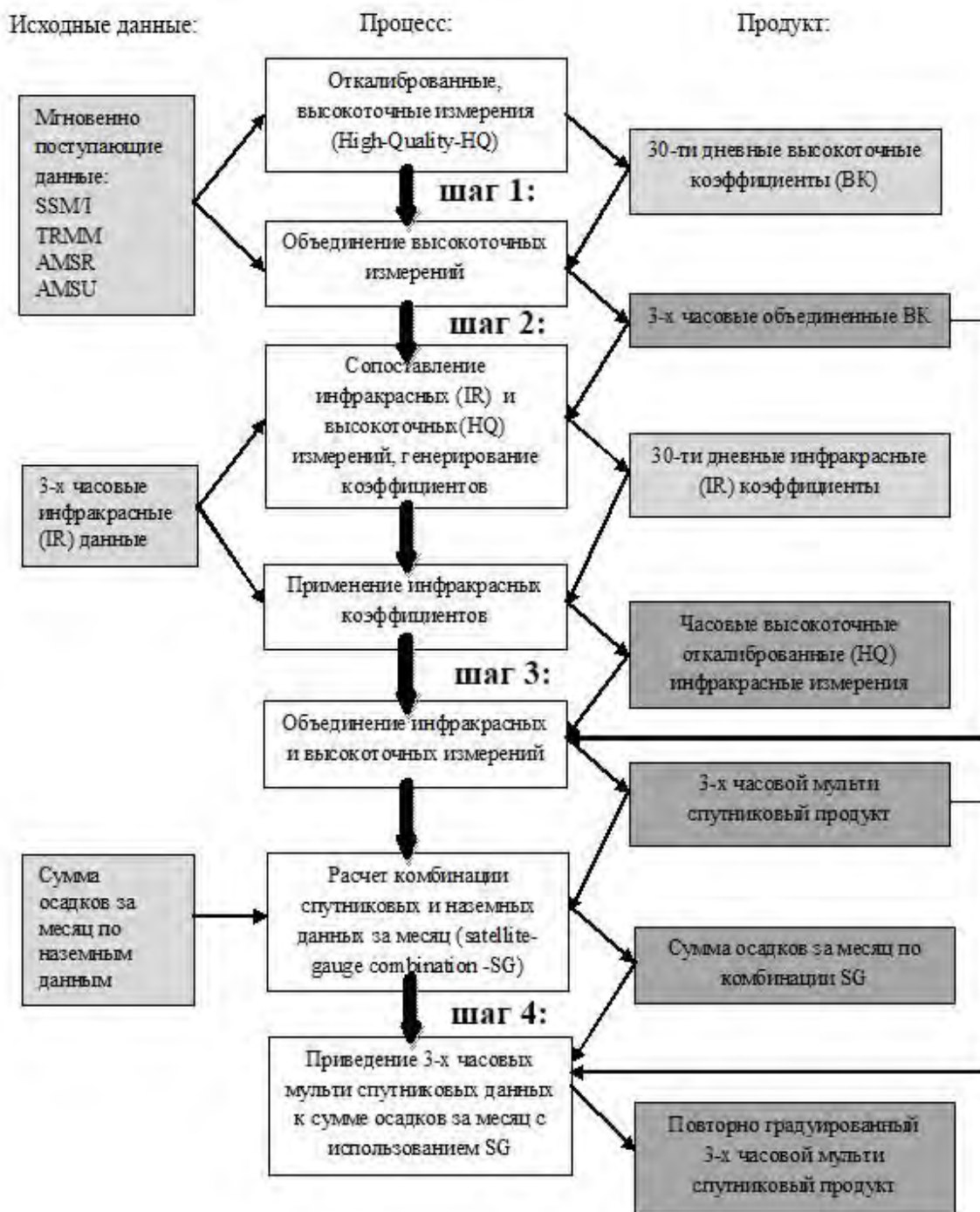


Рис. 2.5. Блок-схема алгоритма модели TMPA -3B42 (Huffman и др., 2007) [126]

На первом этапе (шаг 1) производится внутренняя калибровка, которая представляет собой процесс сопоставления гистограмм интенсивности осадков с микроволновыми измерениями. При этом все микроволновые измерения корректируются, используя их статистически значимую корреляцию с микроволновым сигналом. Гистограммы интенсивности осадков построены по валидации данных для обширных регионов. Таким образом, для всех сенсоров калибровка – это простое сопоставление гистограмм.

В течение следующего шага 2 осуществляется калибровка инфракрасной яркостной температуры (IR Tb) с комбинированными микроволновыми измерениями, для ячейки размером $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, каждые 3 часа. Такие пространственные и временные разрешения были приняты Международным Проектом по изучению Климатологии Осадков (Global Precipitation Climatology Project – GPCP) [114]. Затем производится коррекция с учетом зенитного угла, и инфракрасные измерения усредняются и интерполируются до единственного значения яркостной температуры (Tb value) на ячейку с размерами $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$. При этом сопоставление гистограмм производится для территорий с площадью перекрытия (наложения) $3^{\circ} \times 3^{\circ}$ для 30 дней – для большей достоверности. После однократного расчета высокоточные калибровочные коэффициенты применяются для каждого трехчасового массива данных в течение месяца.

На третьей стадии алгоритма (шаг 3) микроволновые и инфракрасные измерения объединяются. При этом инфракрасные данные заполняют пробелы в микроволновых наблюдениях для каждого трехчасового спутникового изображения. Многие же другие комбинации данного шага алгоритма в совокупности искажают реальные статистики измеренных осадков, и, по общему мнению, лишь данная схема позволяет сохранить достаточную точность [120]. Результатом третьей стадии алгоритма является продукт 3B42RT, который выпускается в режиме реального времени.

Заключительный шаг 4 модели TMPA возможен лишь после определенного времени, поскольку на этой стадии в спутниковые данные интегрируются наземные данные за прошедший месяц. Для каждого узла сетки

рассчитывается сумма осадков за месяц по объединенным спутниковым данным. С учетом ошибки при дисперсии случайной величины спутниковые и наземные данные объединяются за месяц – образуя, таким образом, продукт ТМРА-3В43. Затем каждое трехчасовое значение объединенных спутниковых данных сводятся и сопоставляются с суммой осадков за месяц продукта ТМРА-3В43, в результате получается продукт ТМРА-3В42 (суточные суммы). Эти процедуры позволяют получить откорректированные данные по наземным станциям, причем зависимость данных от территорий, где метеостанции отсутствуют, минимальна, следовательно, ТМРА-3В42 включает в себя как оценку осадков несколькими спутниками, так и наземный анализ, когда это возможно [126].

Таким образом, существует множество расчётов для исключения дефектов и недостатков, присущих каждому виду измерений будь то микроволновые, либо инфракрасные, либо видимые измерения. Тем не менее, возможности модели лимитированы и, несмотря на высокие технические возможности, модель ТМРА обладает рядом недостатков:

- существенное “отрицательное” влияние на спутниковые измерения оказывает близость разных по радиационному сигналу поверхностей (океан - равнина однородность обратного излучения лучше, побережье – горы однородность обратного излучения хуже); так при изучении нами аналогичных работ, связанных со спутниковыми данными модели ТМРА (над территорией Индии, Бангладеша, Ирана, Греции, Западной Африки, США и.т.д. [103, 106, 107, 115, 116]), оказалось, что корреляция спутниковых и наземных данных несколько лучше над равнинной поверхностью и океанами и несколько хуже согласованность проявляется в узкой зоне побережья, а также в горных областях.

- поскольку конвективные процессы очень скоротечны, спутниковые сенсоры зачастую не успевают их зафиксировать, и эти суммы осадков оказываются недооцененными,

- всегда остается проблема входных данных, поскольку зачастую из-за сдвига орбит спутников и других технических проблем возникают погрешности и входные данные не всегда могут быть однородными,

Всесторонняя валидация и проверка качества данных помогает выявить подобные недостатки, она в первую очередь необходимая для улучшения качества готового продукта любой модели. Благодаря этому все модели непрерывно находятся в разработках, и каждая последующая версия становится улучшенной.

В настоящее время спутниковые данные модели ТМРА-3В43 широко используется в различных метеорологических и гидрологических целях. Многочисленные работы по валидации и сравнению продукта модели (ТМРА) и наземными наблюдениями были проведены как в региональном, так и в глобальном масштабе [103, 107, 116, 124, 126,]. Заметно меньшее количество работ было проведено по валидации спутниковых данных над орографически сложными регионами по сравнению с равнинной территорией и океаном [106, 108, 115, 121, 122]. Осадки над любым горным регионом очень сложны по своей природе, а также зависят от местных климатических условий – орографии и высоты, поэтому и их изучение требует более специфичного подхода [115]. Поставленная перед нами задача - изучение осадков над Кыргызстаном посредством спутниковых наблюдений – является не только весьма сложной, но в значительной мере носит пионерный характер, так как подобных исследований здесь не проводилось.

2.2. Методика построения карт осадков для горных районов Кыргызстана на основе объективного анализа спутниковых и наземных данных

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. Имеющиеся методики построения карт [20, 25, 126] предназначены для равнинных территорий и не учитывают специфику горного рельефа, а также характерную для гор редкую сеть метеорологических станций. Хотя много исследований посвящено распределению осадков в горах [3, 5, 29, 37, 49, 74], в настоящее время еще не существует общепринятой методики их объективного картографирования [46].

В Кыргызстане до настоящего времени наиболее часто использовались карты осадков, полученные в 1980 г. по данным осадкомерной сети [5], методика построения которых (высотные зависимости осадков) рассмотрена в разделе 1.2. В более поздней работе В.А. Кузьмиченка [37] также рассмотренной в п. 1.2, для построения карты осадков использована цифровая модель рельефа, но исходными данными послужили также измерения наземных осадкомеров, метеостанций и гидропостов. Обе эти карты приведены на рис. 2.6 и 2.7. Спутниковые наблюдения для этой цели не привлекались. Это делается нами впервые.

Распределение осадков в Кыргызстане крайне неравномерно, оно зависит как от орографии, так и от высоты и экспозиции склонов по отношению к влагонесущим воздушным массам. Очевидно, что использование лишь существующей в настоящее время редкой сети наземных метеостанций (32 МС), вряд ли возможно для успешного построения современной карты осадков.

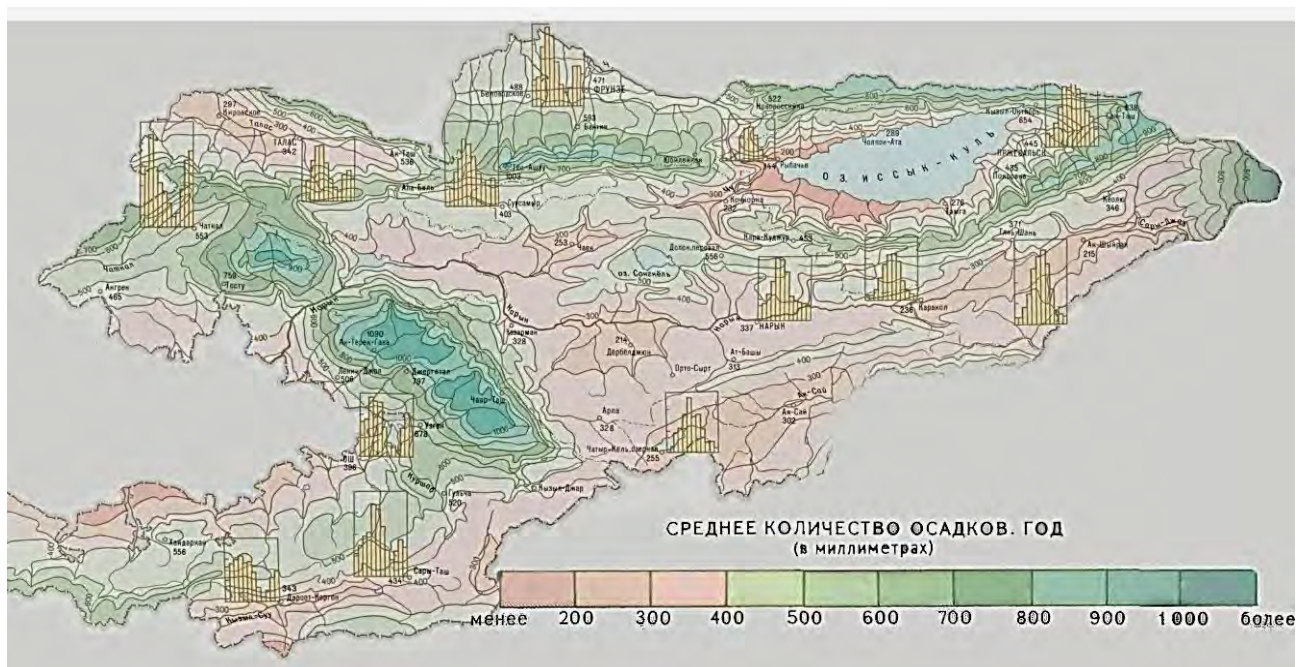


Рис.2.6. Карта годовых сумм осадков по территории Кыргызстана (Атлас Киргизской ССР) [5]

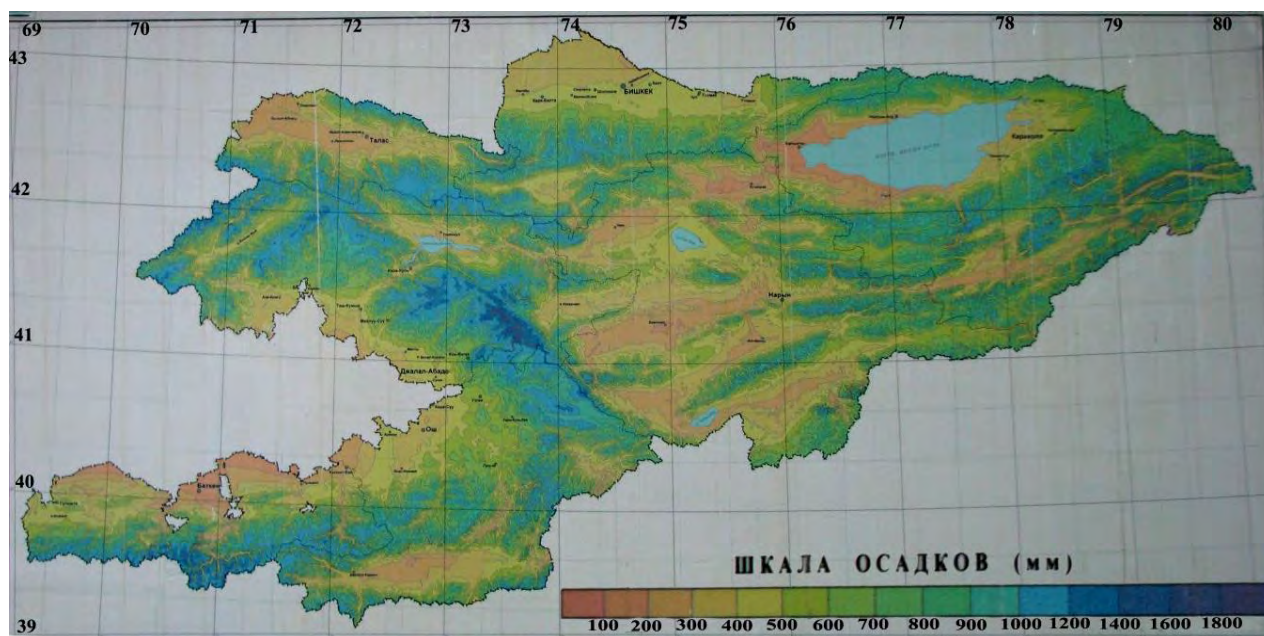


Рис.2.7. Карта годовых сумм осадков по территории Кыргызстана (В.А. Кузьмиченок) [37]

Таким образом, становится актуальной проблема привлечения спутниковой информации для решения этой проблемы. Одновременно с появлением и развитием компьютерных технологий для построения карт стало доступно использование Геоинформационных Систем (ГИС) с их методами математико-картографического моделирования [46]. Использование данных

дистанционного зондирования и ГИС технологий для этих целей, в значительной степени позволило бы решить проблему «белых пятен», т.е. отсутствия прямых наблюдений за осадками, где они отсутствуют, т.к. спутники, оборудованные новейшей современной аппаратурой, собирают информацию с площади в 50 раз большей, чем наземные станции [89].

Для построения схематических карт средних сумм осадков за год и за сезоны нами использовались данные по 35 наземным метеостанциям Кыргызгидромета и мульти спутниковой модели TMPA-3B43 V6, за период с 1998 по 2007 гг. Исходные спутниковые данные, представляющие собой сумму осадков за месяц, как уже отмечалось, были взяты с сайта NASA [43].

Карты спутниковых сумм осадков являются предметом исследования. Методика построения карт осадков включает в себя следующие шаги [78]:

В первую очередь к исходным данным должен применен метод их совместной объективной интерполяции. Одним из подобных методов является технология Крессмана [110, 111]. Суть ее 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 [56]. Впервые автором эта технология для территории Кыргызстана была применена в пилотном проекте [122] благодаря специальной программе, любезно предоставленной во время стажировки диссертанта в Центре образования по космическим наукам и технологиям в Азиатском и Тихоокеанском регионе (CSSTEAP), Индия.

Аналогичный метод интерполяции спутниковых и наземных данных реализован и в данной работе, но с помощью программы SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses) [118]. Методом интерполяции данных был выбран "Модифицированный метод Шепарда: интерполяция на неравномерной сетке" [78].

Следующий шаг – визуализация полученных значений в виде карт, которая производилась в программе QGIS (Quantum GIS - свободная

кроссплатформенная геоинформационная система) [119]. В основе построения слоя осадков лежит метод линейной интерполяции данных.

Каждая таблица в программе QGIS представляет собой слой карты. Каждый слой содержит отдельный тип данных для карты, например, один слой содержит границы государства и координатную сетку, второй – символы, обозначающие метеостанции, третий – данные об осадках (со спутника TRMM и с наземных осадкомеров), четвертый – условную карту. Каждый последующий слой помещается поверх другого, и получается композитная многослойная карта (рис. 2.8).

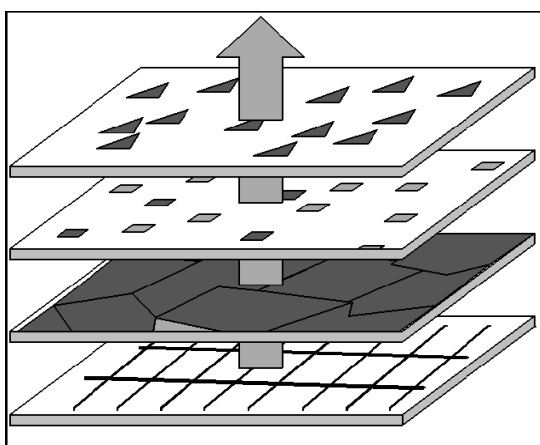


Рис. 2.8. Схема наложения слоев карты в QGIS

В результате получают карты, которые можно проанализировать как до, так и после объективного совмещения данных. В качестве примера на рисунках 2.9 и 2.10 представлены схематические карты сумм осадков над территорией Чуйской области по спутниковым и наземным наблюдениям для 2005 года - зима, лето и год в целом. На рис 2.9 карты представлены до объективного совмещения, а на рис. 2.10 после него.

На картах до совмещения цветом выделены спутниковые данные, а данные наземных осадкомеров 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 рис. 2.10 представлены карты после объективного совмещения данных, по ней видно, что существенно улучшилось поле осадков, особенно вблизи наземных станций.

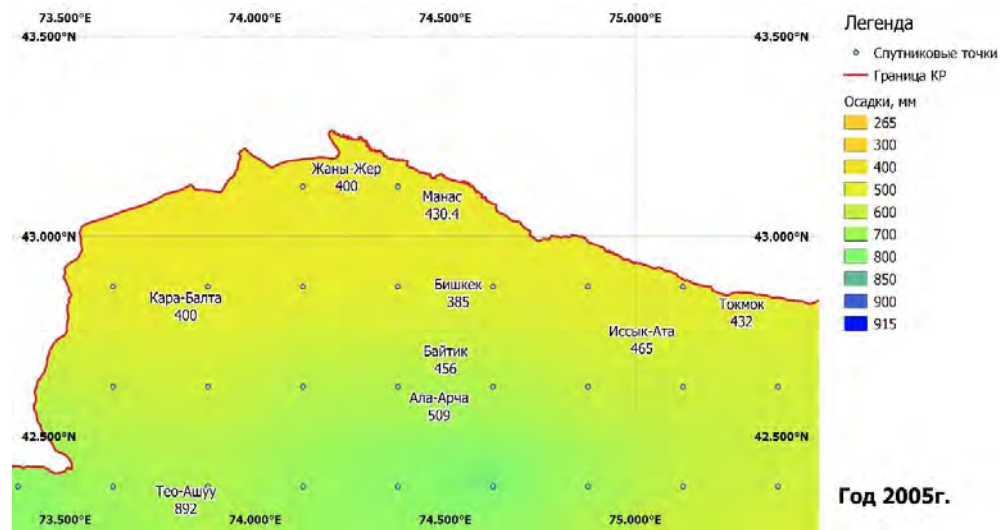
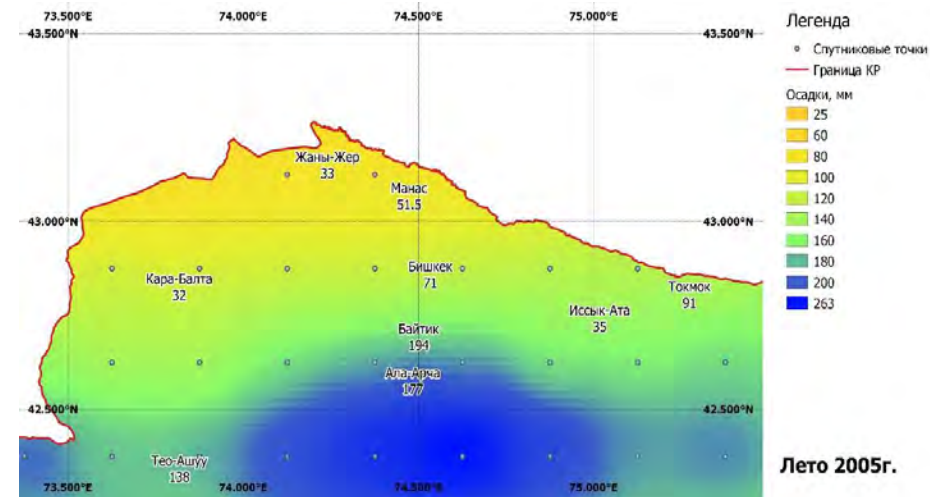
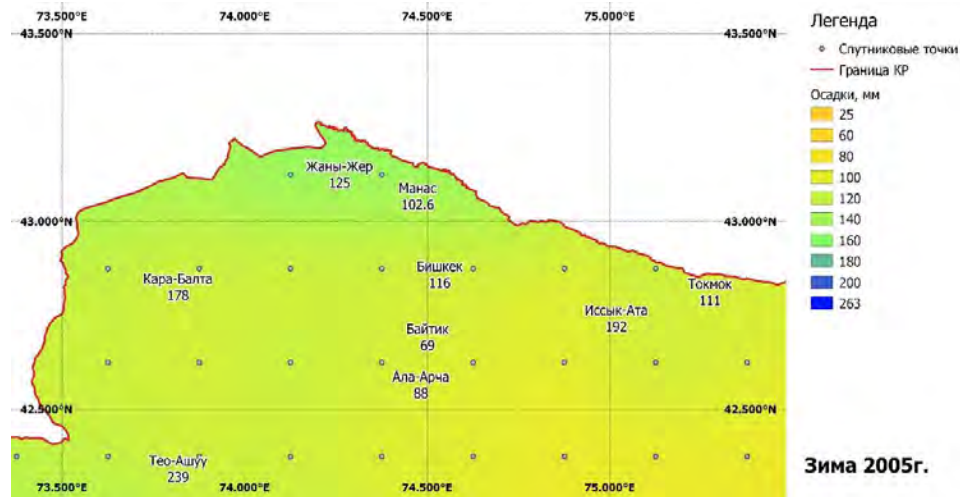


Рис. 2.9 Карты сумм осадков за зиму, лето и год над Чуйской областью по спутниковым и наземным наблюдениям за 2005 г., до применения объективного совмещения

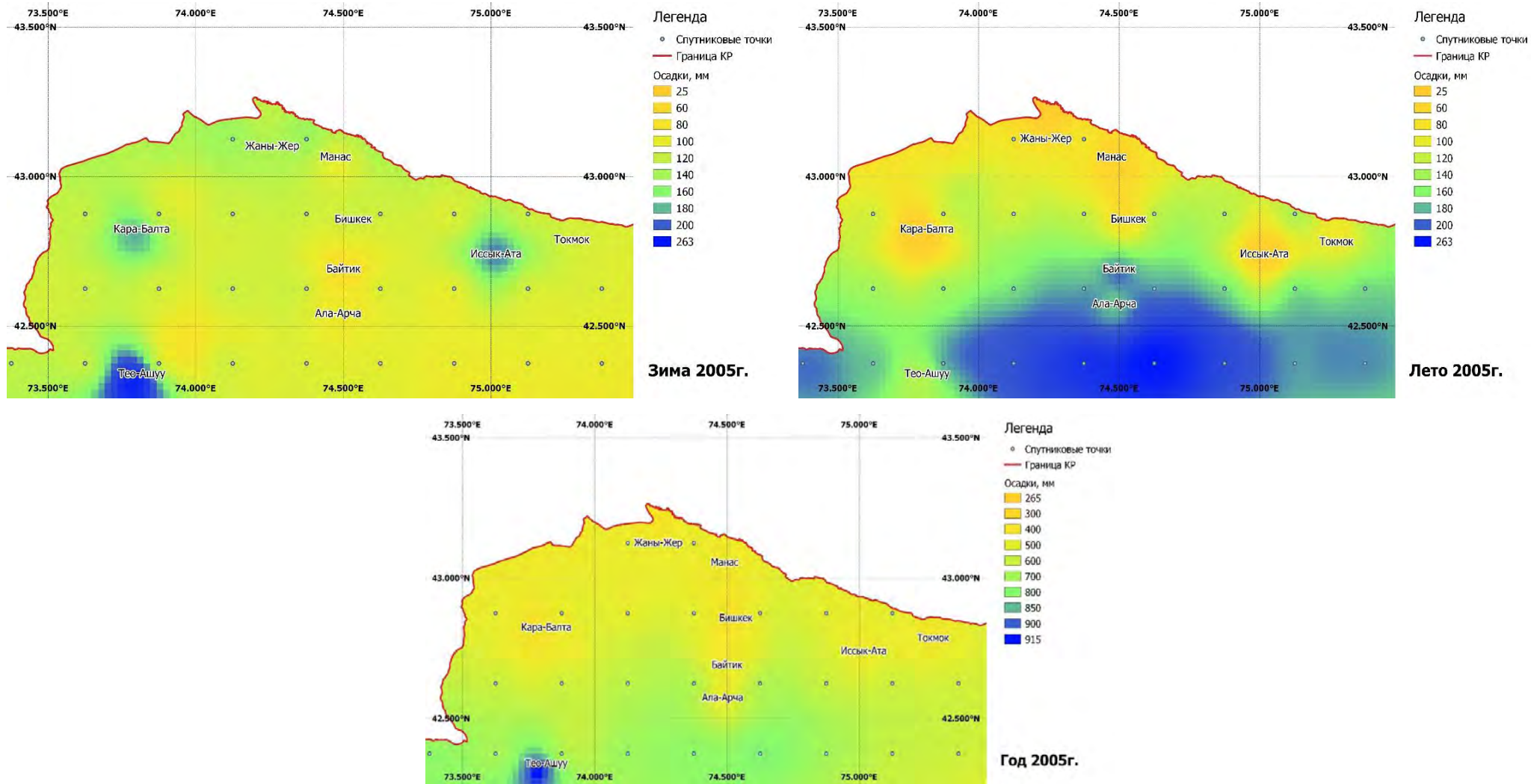


Рис. 2.10 Карты сумм осадков за зиму, лето и год над Чуйской областью по спутниковым и наземным наблюдениям за 2005 г., после применения объективного совмещения

Из рис. 2.10 видно, что для зимы существенно изменилось поле осадков вокруг метеостанций Иссык-Аты и Тео-Ашуу. До совмещения спутниковое поле в Иссык-Ате составляло примерно 120 мм, в районе Тео-Ашуу около 140 мм. А после совмещения оно стало более 200 мм вблизи этих станций. По остальным станциям различия не столь существенные. Летом, наоборот, данные наземных осадкомеров оказались меньше спутниковых и, соответственно, поле осадков изменилось в сторону уменьшения их количества. Поле суммы осадков за весь 2005 год также изменилась особенно вблизи метеостанции Тянь-Шань, где после объективного совмещения количество осадков увеличилось до 900 мм и наоборот по долинным станциям (Токмок, Бишкек, Кара-Балта) количество осадков уменьшилось примерно на 100-200 мм. На метеостанции Джаны-Джер и по аэропорту Манас поле осадков существенно не изменилось, а на среднегорных станциях Байтик и Иссык-Ата поле осадков уменьшилось на 150-250 мм. Из приведённого выше анализа отчетливо видна основная закономерность – поле осадков по спутниковым данным более сглаженное и однородное по сравнению с фактическим полем осадков, полученным по наземным осадкомерам.

Таким образом, спутниковые данные в первую очередь должны быть совмещены с наземными, а затем, при помощи программы QGIS, отображены в виде картографической визуализации. Такая методика получения поля осадков над территорией Кыргызстана применена впервые. Несомненно, что новый продукт будет полезной альтернативой предыдущим исследованиям, так как полученные таким путем карты атмосферных осадков покрывают достаточно обширные территории, где прямые наблюдения за осадками отсутствуют. Благодаря построению спутниковых карт осадков можно проанализировать распределение их сумм по всей территории республики, особенно в горных и высокогорных районах, очень слабо освещенных данными метеостанций.

2.3. Предмет исследования - карты годовых и сезонных сумм осадков Кыргызстана по мульти спутниковой модели ТМРА

В результате применения методики построения карт, описанной в предыдущем пункте, нами были получены карты средних сумм осадков за год (рис. 2.11 и рис. 2.12) и сезоны (рис. 2.13), демонстрирующие результаты применения предлагаемой техники объективного совмещения спутниковых и наземных данных (предмет исследования). [78].

Анализируя в целом распределение среднегодовых сумм осадков по всей территории Кыргызстана (см. рис. 2.11 и 2.12) можно заметить, что основные зоны максимумов и минимумов осадков довольно хорошо пространственно согласуются с ранее полученными картами П.Н. Пономаренко и В.А. Кузьмиченка [37, 74]. Однако, как по очертанию и площади этих зон, так и по количеству осадков в зонах имеются заметные различия. Так, видно, что по большей части Ферганского хребта годовые суммы осадков (рис. 2.12) 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 [5, 74, 84]. Одновременно различия, которые до объективного анализа наблюдались в западной части ИКК (рис. 2.11), после его применения больше не присутствуют на карте (рис. 2.12).

Для удобства сравнительного численного восприятия данных можно условно разделить полученную карту (рис. 2.12) на климатические провинции и высотные пояса и представить эти данные в табличной форме (табл. 2.1).

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. Причиной этому является то, 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.

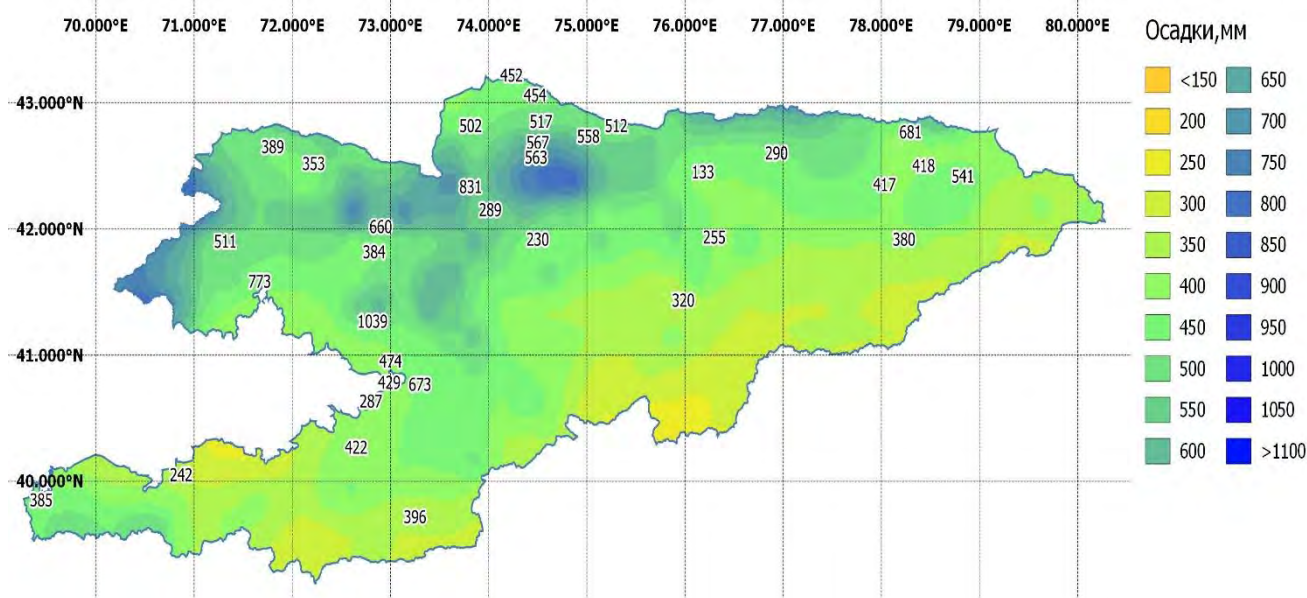


Рис. 2.11. Карта среднегодовых сумм осадков над территорией Кыргызстана по спутниковым и наземным наблюдениям за период с 1998 по 2007 гг.

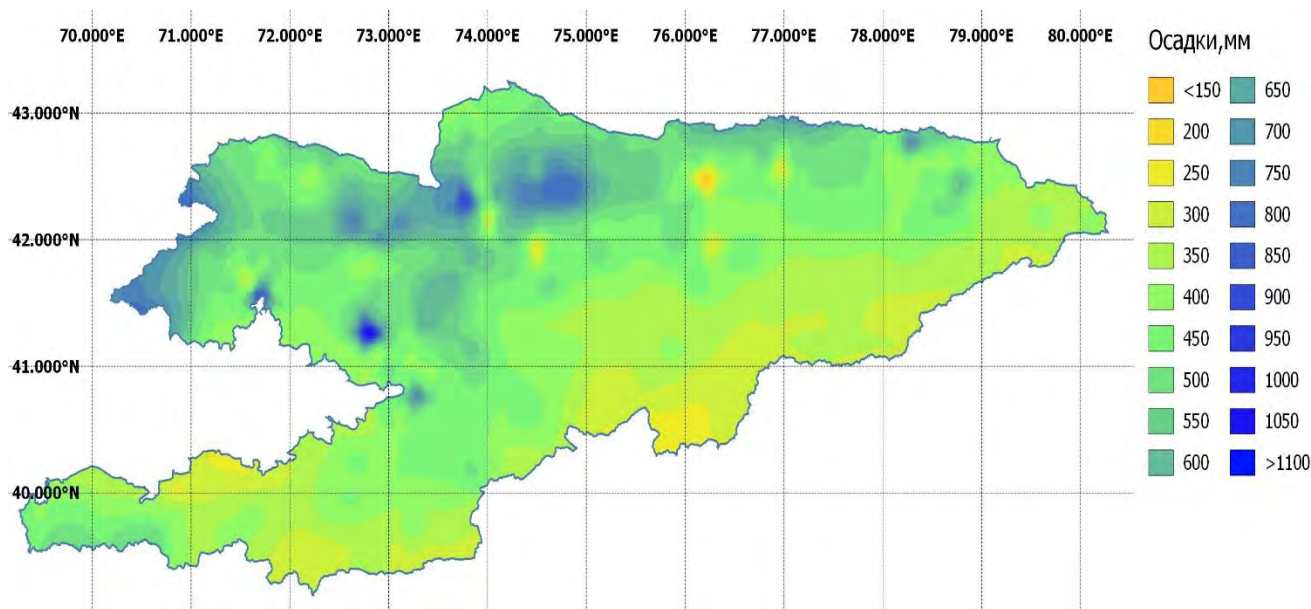


Рис. 2.12. Карта среднегодовых сумм осадков над территорией Кыргызстана за период с 1998 по 2007 гг. после применения объективного анализа [78]

Примечание – при объективном анализе в значительной степени поддается коррекции поле спутниковых осадков вблизи наземных метеостанций, одновременно в тех областях, где МС отсутствуют – их влияние на поле спутниковых данных является минимальным.

Таблица 2.1 – 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 гг. [78]

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

Также довольно большое количество осадков выпадает в высокогорном и нивальном поясе Северного, Северо-Западного Кыргызстана (ССЗК) и составляя 500-850 мм/год, что хорошо согласуется с данными многолетних климатических наблюдений [5, 9, 15-17, 74, 84]. В зависимости от высоты по наземным данным 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. Это объясняется, прежде всего, аномально малым годовым количеством осадков на МС Балыкчы [5, 6, 13, 74]. 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 получены карты (рис. 2.13) и в табличной форме представлены данные для сумм осадков по сезонам (табл. 2.2).

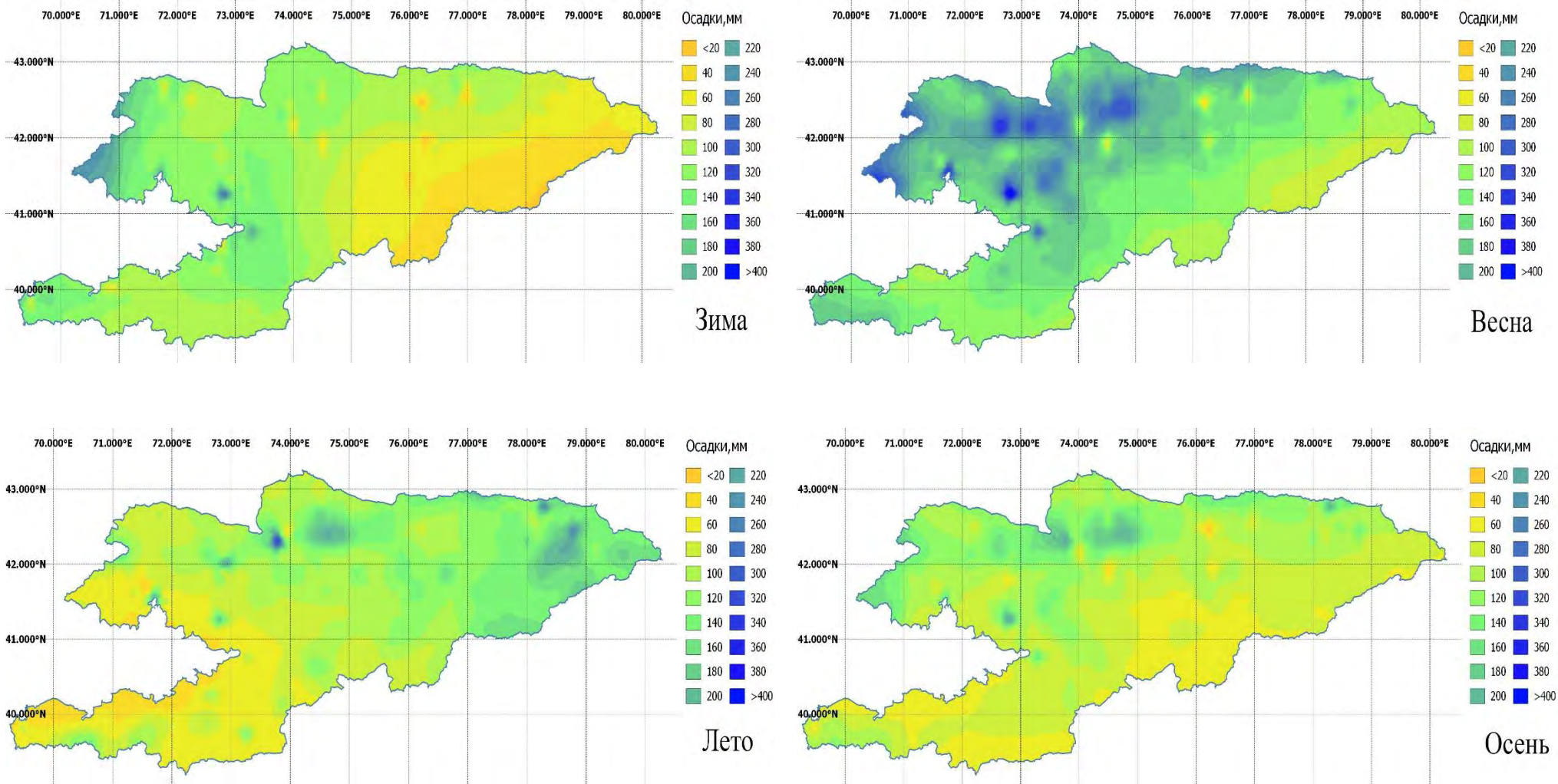


Рис. 2.13. Карты сезонных сумм осадков над территорией Кыргызстана после объективного совмещения спутниковых и наземных данных за период с 1998 по 2007 гг.

Таблица 2.2 – 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 гг. [78]

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

Оказалось, что, как и по наземным данным (рис. 2.6 и 2.7) на большей части территории Кыргызстана, максимальное количество осадков по совмещенным данным 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.

Таким образом, 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. Результаты выполненного анализа полученных для Кыргызстана карт осадков позволяют считать, что мульти спутниковая модель ТМРА-3В43 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. Однако для этого требуется ее специальная адаптация для конкретных горных условий Кыргызстана, что выполнено и рассматривается нами в следующем п.2.4. После такой адаптации модель позволяет существенно расширить имеющиеся представления о поле осадков Кыргызстана на основе альтернативного использования спутниковых данных [78].

Тем не менее, забегая вперед отметим, что, хотя приведенная методика, являясь совершенно необходимой, при редкой сети метеостанций она все же недостаточна, например, для такой сложной и слабо освещенной станциями территории как Кыргызстан. Здесь при использовании спутниковых данных для построения карт осадков необходимо дополнительно выполнить специальное их статистическое приведение к показаниям наземных осадкомеров, что рассматривается в главах 3 и 4.

2.4. Специальная адаптация спутниковой модели ТМРА для расчета осадков на территории Кыргызстана

По данным модели ТМРА-3В43 территорию Кыргызстана покрывает 351 узел сетки, при разрешении $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$, в которых имеются осадки по спутниковым данным (рис. 2.14). До выполнения валидации модели необходимо корректно подобрать точку сетки с данными осадков по модели (далее для краткости спутниковая точка), которая будет наиболее подходящей для сравнения с данными осадков определенной метеостанции [56]. Такой методический прием использован нами для адаптации данных модели, что подробно описано ниже.

При подборе спутниковой точки следует применять комплексный подход, учитывающий отдаленность точки от метеорологической станции, высоту над уровнем моря, локальные орографические особенности, корреляцию осадков спутниковых и наземных измерений. Узел сетки может находиться на значительном расстоянии от станции (до 28 км), что существенно для осадков в горной местности [120]. Если при подборе спутниковой точки, ориентироваться только на близость ее расположения - можно совершить значительную ошибку. Так, например, один узел сетки спутниковых данных может находиться на меньшем расстоянии, чем остальные узлы, но высота над уровнем моря в этом месте может быть значительно выше (ниже) чем на метеорологической станции, тогда соответственно количество осадков здесь будет существенно завышено (занижено). В связи с этим анализировались 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) [56].

Покажем пример комплексного анализа для МС Нарын, расположенной на высоте 2,04 км за период с января 1998 г. по сентябрь 2007 г. Вблизи

станции находятся четыре спутниковые точки (рис. 2.14). Точка №2 и точка №3 имеют высоту более 3,0 км (табл. 2.3), 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 еще более высокий – 0,86. Точка №1 находится на достаточно большом удалении от МС Нарын (23 км), на высоте 2,32 км над уровнем моря, т.е. выше на 0,28 км, чем метеостанция. Среднее месячное количество осадков за изучаемый период здесь оказалось равным 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 0,26 км. Среднее месячное количество осадков за изучаемый период составило здесь 27,2 мм, что 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 вышесказанного, можно сделать вывод, что данным МС Нарын по приведенным суммам осадков за исходный период больше всего подходят данные спутниковой точки №4 [56].

Дополнительно в табл. 2.4 приведен расчет разницы месячных сумм осадков между данными спутниковых и наземных наблюдений МС Нарын за исследуемый период. Как видно из этой таблицы максимальная разница наблюдается между данными станции и точкой №2, при этом наименьшая максимальная разница соответствует точке №4. Средняя разница соответствует трем точкам №1, 3, 4. Эти данные еще раз подтверждают, что среди спутниковых точек для МС Нарын, точка №4 является наиболее подходящей для использования, в целях адаптации модели.



Рис. 2.14. Пример положения метеостанции Нарын и близлежащих узлов сетки спутниковых данных ТМРА-3В43 [56]

Таблица 2.3 – Характеристики, используемые для комплексного анализа подбора спутниковых точек на примере МС Нарын

Характеристики	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, км	2,32	3,57	3,40	2,30	2,04
Коэффициент корреляции	0,86	0,69	0,86	0,88	

Таблица 2.4 – Разница месячных сумм осадков между данными спутниковых и наземных наблюдений для МС Нарын

Характеристики	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

Однако не всегда можно подобрать лишь одну определенную спутниковую точку, которая бы соответствовала лучше, чем остальные [56]. 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 $W_i(x)$ [110, 111]:

$$W_i(x) = \frac{(D_i^2 - R_i^2)}{(D_i^2 + R_i^2)} \quad (2.1)$$

Так, в пределах некоторого радиуса влияния (D_i) от точки измерения (i) значение метеовеличины берется с определенным весом (W_i). R_i – расстояние от исходной точки i (данные метеостанции) до узла сетки x (спутниковые данные). Радиус влияния D_i подбирается экспериментально так, чтобы выполнялось условие $R_i < D_i$ (рисунок 2.15). Такой подход также принято называть объективным анализом.

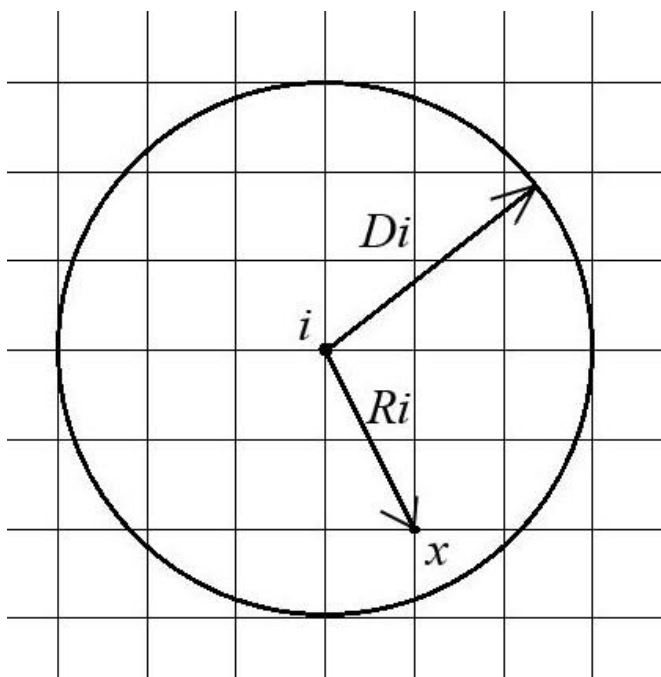


Рис. 2.15. Схема совместной интерполяции по методу Крессмана

Таким образом, вес величины зависит от расстояния до точки измерения, и уменьшается при удалении от нее. При этом такую спутниковую точку желательно подобрать так, чтобы корреляция между ней и данными метеостанции была как можно выше [56].

При использовании весовых коэффициентов Крессмана их рекомендуется нормализовать так, чтобы выполнялось условие:

$$\sum_{i=1}^{N(x)} W_i(x)=1 \quad (2.2)$$

На рис. 2.16 приведен пример применения совместной интерполяции спутниковых данных в нескольких узлах для сравнения их с наземными измерениями МС Узген, за период с января 1998 г. по сентябрь 2007 г. Как видно из рис. 2.16 метеостанция находится в зоне подножья, высоты точек, в основном, имеют небольшие различия (1,01-1,86 км) и расположены примерно на равном расстоянии от станции.



Рис. 2.16. Применение совместной интерполяции спутниковых данных в нескольких узлах для сравнения их с наземными измерениями МС Узген

Для того чтобы подобрать подходящую для сравнения спутниковую точку, необходимо проанализировать данные всех 4 точек (табл. 2.5). Как видно (см. табл. 2.5) 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). Оказалось, что данные в точках имеют примерно одинаковые характеристики при комплексном их сравнении. В этом случае можно прибегнуть к совместной интерполяции методом Крессмана. В табл. 2.6 приведен расчет весовых коэффициентов по методу Крессмана для исследуемой метеостанции [56].

Таблица 2.5 – Характеристики, используемые для комплексного анализа подбора спутниковых точек, на примере МС Узген

Характеристики	Точка №1	Точка №2	Точка №3	Точка №4	МС Узген
Сумма осадков за весь период, мм	4070	4223	4070	3994	6411
Максимальное количество осадков за месяц, мм	114	116	114	116	237
Минимальное количество осадков за месяц, мм	0,22	0,12	0,22	0,06	0
Среднее месячное количество осадков, мм	34,7	36,1	34,7	34,1	54,7
Удаление точки от МС, км	18	12	17	21	
Высота точки над уровнем моря, км	1,03	1,15	1,86	1,01	1,01
Коэффициент корреляции	0,85	0,84	0,85	0,82	

Таблица 2.6 – Расчет весовых коэффициентов по методу Крессмана для спутниковых точек и количества осадков с учетом этих коэффициентов, на примере МС Узген

Характеристики	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

Радиус влияния $D_i = 22$ км, был подобран так, чтобы все R_i были менее D_i . При этом $\sum W_i \approx 1$. 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, получается среднее значение совместной интерполяции с учетом веса для этих 4 точек = **36,8** 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 [56].

Эта простая и надежная технология часто применяется во многих аналогичных расчетах. Особенно результаты такого совмещения необходимы в местах с редкой сетью метеорологических станций [111]. Объективный анализ также является наилучшим методом коррекции спутниковых данных наземными. Однако, на наш взгляд, этот метод хорошо применять на равнинной территории или в широких долинах и котловинах. Для станций, расположенных на горных склонах, в узких склоновых долинах или на гребнях хребтов лучше применять, сначала метод комплексного анализа, предложенного нами выше, выбирать используемые точки, а затем присваивать наибольшей вес той точке, которая больше подходит по результатам комплексного анализа (МС Ит-Агар, Тео-Ашу, Сары-Таш, Пача-Ата).

В некоторых случаях при подборе точки по проведенному комплексному анализу четко прослеживалось, что ни одна спутниковая точка с данными осадков не подходит к данным метеостанции. Такие случаи были отмечены, когда метеостанция расположена в зоне предгорья, а окружающие ее ближайшие спутниковые точки приходятся на долину и среднегорную или высокогорную зону. Метод Крессмана здесь также не подходит. При этом, хорошо прослеживалась высотная зависимость осадков, по данным точек, расположенных в долине и горной зоне. В таких случаях методом комплексного анализа выделялись две точки, расположенные в различных высотных зонах и находилось среднее значение количества осадков между ними (МС Байтик, Кара-Балта).

Таким образом, из 35 метеорологических станций, используемых в работе, для 27 станциях применялся метод комплексного анализа, для 2 станций был выбран комплексный анализ с подсчетом среднего значения, и для 6 станций - метод Крессмана, с учетом наших предложений (табл. 2.7).

Таблица 2.7 – 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	
АП Манас	1	43,125	74,375	Комплексный анализ
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	
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-Гаш	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

Таким образом, до процедуры валидации спутниковых данных в первую очередь, необходимо корректно подобрать исходные точки (адаптировать модель), как это предложено нами выше, по которым в дальнейшем будет проводиться сравнительный анализ спутниковых и наземных данных. Если однажды такая точка будет адаптирована, 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 и других характеристик климата [56].

В заключение главы 2 следует отметить следующее:

1. Мульти спутниковая модель ТМРА, данные которой положены в основу настоящей работы, являются технически совершенной современной моделью, осуществляющей расчёт месячных сумм осадков с помощью 4 спутников, оснащенных различными сенсорами для их измерения и расчёта. Её пространственное разрешение составляет $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$, что соответствует 351 узлу регулярной сетки, накрывающей территорию Кыргызстана. Это на порядок больше числа 32 действующих в настоящее время метеостанций.

2. Выходные данные модели ТМРА имеются в свободном доступе на сайте [43]. Они позволяют строить карты территориального распределения осадков месячного, сезонного и годового осреднения. При этом можно получать такие карты как непосредственно чисто спутниковым данным, так и путём дополнительной ассимиляции спутниковых и наземных данных метеостанций с использованием объективного анализа, что повышает качество выходных результатов по осадкам и таких карт.

3. Сравнительный анализ имеющихся наземных карт осадков для территории Кыргызстана (карты П.Н. Пономаренко – 1989 г. и карты В.А. Кузьмиченка – 2007 г.) и полученных по модели ТМРА после применения объективного анализа показывает: 1) качественно оба типа карт хорошо согласуются между собой – границы зон малых, умеренных и больших сумм осадков близко совпадают на картах. 2) однако численные значения сумм осадков могут заметно различаться на каждом из типов карт – спутник занижает осадки в районах, где они высоки и завышает в районах, где они низки (объективный анализ позволил бы избежать этого, но при более густой сети метеостанций, чего нет и в ближайшем будущем не предвидится). Поэтому для успешного применения модели ТМРА для Кыргызстана требуется её специальная адаптация к конкретным орографическим условиям его территории.

4. Нами разработана специальная методика адаптации модели ТМРА для территории Кыргызстана, позволяющая существенно улучшить согласованность наземных данных метеостанций и спутниковых измерений, что делает применение модели пригодным для практического использования в условиях его сложной горной орографии. Её суть состоит в специальном подборе из 4 точек регулярной сетки со значениями осадков по спутнику, которые расположены в окрестности заданной метеостанции точки, наиболее показательно отражающей данные этой станции, наблюдения которой затем используются во всех последующих расчётах.

ГЛАВА 3.

ВАЛИДАЦИЯ ПОЛУЧЕННЫХ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ОБ ОСАДКАХ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ КЫРГЫЗСТАНА ПО ЗНАЧЕНИЯМ ИХ СКО

В настоящей главе проведён сравнительный анализ годовых, сезонных и месячных сумм осадков для 35 метеостанций (рис. П 1.4, табл. П. 1.3) по спутниковым и наземным данным по значениям средних квадратических ошибок спутниковых данных – СКО [63]. По 30 МС был проанализирован непрерывный ряд наблюдений за 9 лет с 1998 по 2006 год, 5 станций имеют более короткий период исходных данных: Ош (2003-2006 гг.), Балбай (1998-2003 гг., 2006 г.), Каракол (2002-2006 гг.), Кара-Кужур (1998 г., 2002-2006 гг.), аэропорт Манас (1999-2006 гг.). При этом метеостанции были дифференцированы на 4 группы, согласно общепринятым климатическим провинциям [5, 31, 64, 65, 74, 94]: 1) Северный и Северо-Западный Кыргызстан (ССЗК), 2) Иссык-Кульская котловина (ИКК), 3) Юго-Западный Кыргызстан (ЮЗК), а также 4) Внутренний Тянь-Шань (ВТШ) [63]. В каждой климатической провинции станции для удобства анализа приведены в последовательности возрастания их высот.

Наиболее важными показателями (статистиками) режима осадков любой территории являются их средние годовые значения (мм), характеризующие средний уровень осадков на станции или в заданном районе. Затем следуют сезонные и месячные суммы осадков, характеризующие их сезонный и месячный ход. Спутниковые данные являются косвенными, полученными по измерениям температуры и влажности в тропосфере и представляют собой *рассчитанные* величины. В отличие от них наземные данные являются фактическими и наиболее достоверными, поэтому далее будем говорить о них как о *истинной* величине наземных осадков.

3.1. Методика расчета и использование средних квадратических ошибок спутниковых данных

Валидация или оценка достоверности расчетных спутниковых данных о величинах осадков, выпадающих в различных районах Кыргызстана, выполнена нами путем их сравнения с фактическими наземными наблюдениями метеостанций, принимаемыми за эталон. Это совершенно необходимо для дальнейшего практического использования спутниковых наблюдений. Для оценки степени согласованности этих двух типов данных в настоящей главе применялись статистические методы анализа, основанные на расчете средних квадратических ошибок (СКО) спутниковых измерений, как наиболее объективный инструмент такой оценки.

На рис.3.1 представлена схема расположения используемых станций с их высотами, в табл. 3.1 приведено их типизированное положение по высотным поясам. Как видно, наиболее полно освещены долинно-предгорный и среднегорный пояса (37 и 49 % соответственно), тогда как высокогорный и нивальный пояса освещены хуже (11 и 3 % соответственно). Это определялось фактической, действующей на сегодняшний день сетью Кыргызгидромета. После 1991 г. по экономическим причинам число станций было сокращено в двух последних высотных поясах. Это еще раз подчеркивает крайнюю необходимость использования спутниковых данных по осадкам для высокогорной и нивальной зоны Кыргызстана, которая занимает около 42 % его территории.

Таблица 3.1 – Распределение метеостанций по высотным поясам

Пояс	Диапазон высот, км	Количество станций	Количество станций в %
Долинно - предгорный	0,5-1,2	13	37,1
Среднегорный	1,2-2,2	17	48,6
Высокогорный	2,2-3,5	4	11,4
Нивальный	>3,5	1	2,9

Если мы обозначим текущие годовые, а также сезонные или месячные суммы осадков, полученные на каждой станции по исходным спутниковым данным, через $R_{i(\text{сп})}$, а по наземным данным через $R_{i(\text{наз})}$. Тогда их разность ΔR_i будет представлять собой величину расхождения или ошибку спутниковых данных за i -год, сезон или месяц [63]:

$$\Delta R_{i(\text{мм})} = R_{i(\text{сп})}(\text{мм}) - R_{i(\text{наз})}(\text{мм}) \quad (3.1)$$

По массивам $\Delta R_{i(\text{мм})}$ найдем по (3.2) значения СКО (средних квадратических ошибок) спутниковых данных на каждой станции, обозначив их через $S_{\Delta R}$, по общеизвестной статистической формуле [68, с.26, табл. 2]:

$$\text{СКО} = S_{\Delta R} = ((\sum \Delta R_i^2)/(n-1))^{0.5}, \quad (3.2)$$

где $S_{\Delta R}$ в мм, а суммирование выполняется по всем годам наблюдений i на станции, равным использованному периоду лет n [63].

Как известно, при нормальном распределении ΔR_i , вероятный максимально 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 [63] (статистическое правило «трех сигм») [68, с.56]:

$$\Delta R_{\text{макс.}}(p = 0,68) = \pm 1 S_{\Delta R} \quad (3.3)$$

$$\Delta R_{\text{макс.}}(p = 0,95) = \pm 2 S_{\Delta R} \quad (3.4)$$

$$\Delta R_{\text{макс.}}(p = 0,997) = \pm 3 S_{\Delta R} , \quad (3.5)$$

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

Соотношения (3.3-3.5) 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 $\pm 2S_{\Delta R}$, т.е. в интервал $\pm 2\text{СКО}$ (аналогично для других вероятностей p). Этот интервал можно принять как максимально возможное расхождение спутниковых и наземных данных с риском совершить ошибку в 5% [63].

Полученный по всем станциям массив $S_{\Delta R}$ (мм) или абсолютных значений СКО 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 ($СКО_{отн.}$ 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 [63].

$$СКО_{отн.}(\%) = S_{\Delta R(\%)} = (СКО/норма)*100 \% \quad (3.6)$$

Относительные значения средних квадратических ошибок $СКО_{отн.}$ обладают высокой наглядностью при статистическом анализе и широко используются на практике [22, 82], так как сопоставляются со значением самой измеряемой величины, в данном случае годовыми, сезонными или месячными нормами осадков на каждой метеостанции.

Абсолютные и относительные значения средних квадратических ошибок $СКО$ (мм) и $СКО_{отн.}$ (%), полученные по каждой станции, затем могли усредняться по каждой из 4 климатических провинций и Кыргызстану в целом, а также рассматриваться индивидуально по отдельным станциям [63].

Для дальнейшего анализа, так же 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 соответствие с обычно достигаемой точностью прикладных климатических расчетов. Например, общепринято считать, что прикладные климатические расчеты (возможно, за очень редким исключением) не могут иметь точность выше 5-10 % [63].

Получаемая таким образом различные градации согласованности исходных спутниковых и наземных данных, принимаемых за эталон, по этим критериям, насколько это было возможно, объяснялась спецификой получения спутниковых данных по осадкам моделью ТМРА [63], которая использовалась в данном исследовании.

3.2. Согласованность годовых сумм осадков, полученных по спутниковым и наземным данным

Согласованность спутниковых и наземных данных можно рассматривать применительно к их годовым, сезонным и месячным суммам [63], делая это для территории в целом, для климатических провинций и для отдельных станций. В настоящем пункте 3.2 рассматривается задача верификации спутниковых данных по величинам их СКО для годовых сумм атмосферных осадков.

В табл. П. 3.1. приведены полученные значения различных характеристик годовых сумм осадков по всей территории Кыргызстана по наземным и спутниковым данным для каждой из 35 станций и их средние показатели по провинциям и Кыргызстану в целом. По территории в целом годовая сумма осадков по наземным данным (471 мм) всего на 17 мм больше, чем по спутниковым (454 мм). Это соответствует их относительному расхождению на - 4 %, что представляется очень хорошим результатом [63]. Наиболее увлажненной провинцией оказался ССЗК, имеющий среднюю годовую сумму 515 мм по наземным и 499 мм по спутниковым данным (расхождение 16 мм или 3 %). Немного меньше осадков выпадает в ЮЗК – 511 мм и 424 мм соответственно, но расхождение между данными в этой провинции более значительное - 87 мм или 17 % (см. табл. П.3.1). Велико также расхождение во ВТШ, где средние годовые значения составляют 360 мм по наземным и 439 мм по спутниковым данным -79 мм или 22 %. В ИКК: наземные данные - 357 мм и спутниковые - 411 мм, разница составляет 54 мм или 15 % [63].

В результате, кратность (как результат деления двух величин) в разнице между средними максимальными и средними минимальными значениями годовых сумм для спутниковых данных составляют 2,1, а для наземных 6,8 [63]. Очевидно, что спутниковые значения осадков представляют более сглаженную картину поля осадков, по сравнению с получаемой по наземным данным [63]. Реальное же распределение осадков колеблется в более широких пределах.

Перейдем теперь непосредственно к анализу средних квадратических ошибок (СКО) спутниковых измерений.

Согласованность годовых норм осадков по спутниковым и наземным данным по 4 климатическим провинциям и Кыргызстану в целом по значениям СКО - $S_{\Delta R}$ и $S_{\Delta R(\%)}$. В табл. 3.2 приведены полученные значения СКО (мм) - $S_{\Delta R}$ и СКО_{отн.} в % - $S_{\Delta R(\%)}$ для годовых сумм осадков, осредненные по 4 климатическим провинциям и Кыргызстану в целом [63].

Таблица 3.2 – Рассчитанные абсолютные $S_{\Delta R}$ и относительные $S_{\Delta R(\%)}$ значения ошибок для годовых сумм осадков по 4 климатическим провинциям и Кыргызстану в целом [63]

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

Как видно из этой таблицы, для всего Кыргызстана абсолютное значение ошибки $S_{\Delta R}$ составляет 103 мм, или 24 % по $S_{\Delta R(\%)}$. По принятым нами ранее критериям такая величина относительной погрешности будет соответствовать 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 [63].

Оказалось, что по отдельным климатическим провинциям СКО_{отн.} различаются существенно. Наименьшими они оказались для ССЗК, где $S_{\Delta R(\%)}$ составило 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 [63].

Таким образом, можно считать, что имеет место хорошее и удовлетворительное по качеству согласование годовых сумм осадков, как в

среднем по территории Кыргызстана, так и по его 4 климатическим провинциям [63].

Согласованность годовых норм осадков по спутниковым и наземным данным для различных станций по значениям СКО - $S_{\Delta R}$ и $S_{\Delta R(\%)}$ описывалась нами ранее в [63]. Покажем, как выглядит согласованность годовых норм осадков по спутниковым и наземным данным для отдельных станций. Для этого на рис. 3.2 представлены гистограммы значений абсолютных СКО - $S_{\Delta R}$ по (3.2) в мм и относительных $S_{\Delta R(\%)}$ в % (3.6) ошибок, рассчитанных для годовых норм осадков для 10-летнего периода 1998-2007 гг. для каждой МС [63]. Такие оценки дают наглядную картину распределения погрешностей исходных спутниковых данных для годовых норм осадков по отдельным станциям/точкам в каждой из провинций.

Согласно рис. 3.1, повторяемость различных градаций значений ($S_{\Delta R} / R_{\text{норма}})_{\text{отн.}}$ для годовых норм осадков, найденных по всем станциям, составляет [63]:

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

Если к этому виду ошибок применить принятые нами выше критерии качества, то для годовых норм осадков высокое качество согласованности будет соответствовать для 26 % станций, хорошее качество – 37 % и удовлетворительное – 34 % [63]. Таким образом в диапазон от удовлетворительного до высокого качества попадает 97 % станций. И только в 3 %, а именно МС Балыкчы, дает неудовлетворительный результат ($S_{\Delta R} = 79$ %). Это объясняется, прежде всего, аномально малым годовым количеством осадков в крайней западной части ИКК, где расположена станция (127 мм) [31]. Подчеркнем особо, что это единственный весьма ограниченный район Кыргызстана с таким малым количеством годовых осадков [63].

Видимо, спутниковая модель расчета осадков ТМРА для таких условий адаптирована недостаточно хорошо и работает неудовлетворительно, поскольку существенное “отрицательное” влияние оказывает на спутниковые

измерения близость разных по радиационному сигналу поверхностей. Так большая водная поверхность озера Иссык-Куль окаймлена узкой береговой линией, вслед за которой начинаются довольно высокие горы.

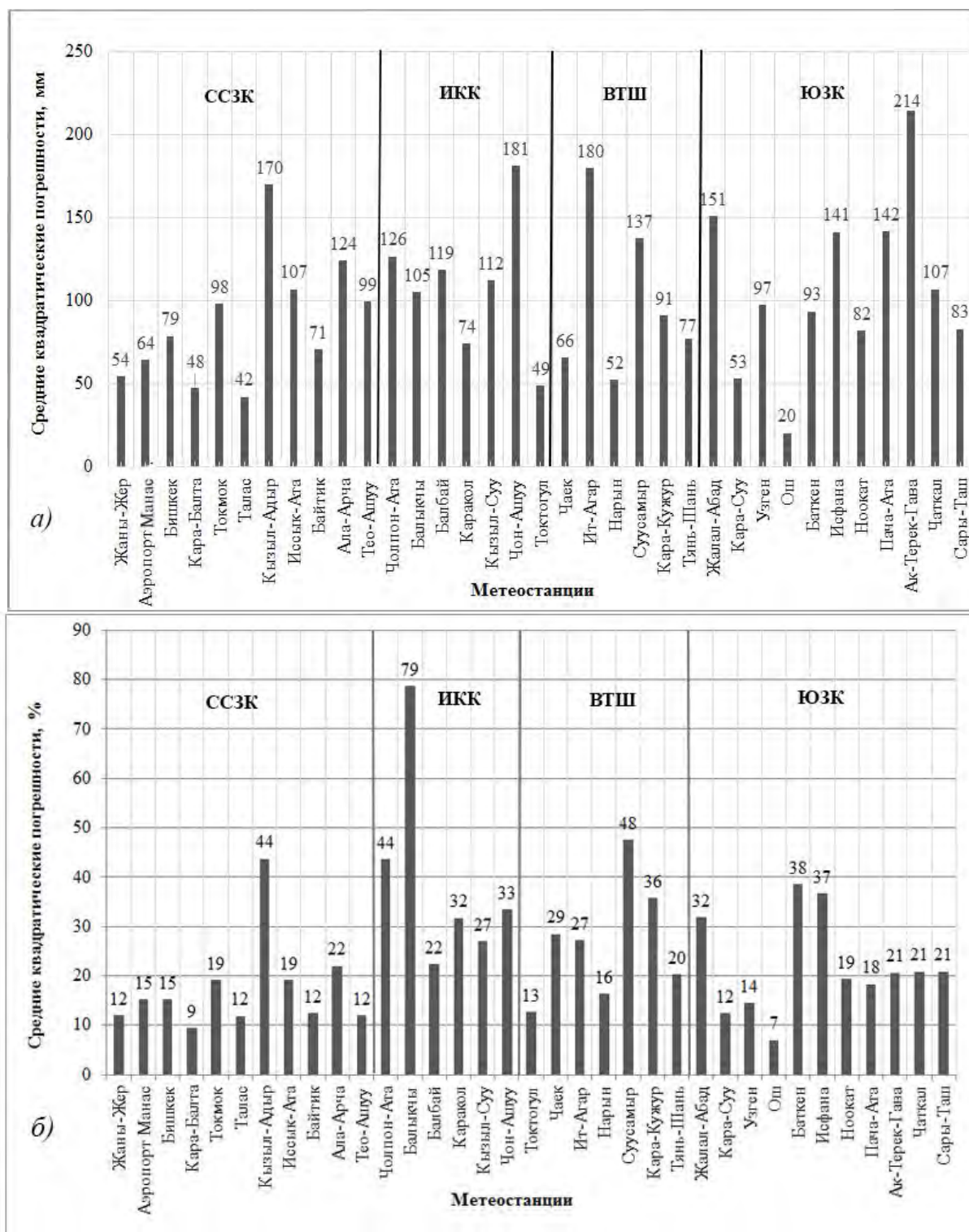


Рис. 3.1. Средние по периоду 1998-2007 гг. ошибки по отдельным станциям различных провинций Кыргызстана: а) абсолютные значения СКО - SAR в мм, б) относительные значения - SAR(%) в % [63]

В этом случае происходит смещение отраженного спутникового сигнала, и измерения оказываются недостаточно точными [123].

Так можно отметить, что для 63 % метеостанций имеет место высокое и хорошее согласование спутниковых и наземных данных в годовом выводе, а в 97 % оно не хуже удовлетворительного. Все это позволяет практически применять спутниковую модель ТМРА для расчета годовых сумм осадков в Кыргызстане [63].

Средние годовые различия спутниковых и наземных данных по отдельным станциям (значения ошибок ΔR по (3.1)). Для наглядности на рис. 3.2 приведена гистограмма, дающая непосредственное различие годовых сумм осадков по спутниковым и наземным данным для каждой станции [63]. Из рисунка, прежде всего, видно, что спутниковые данные завышают и занижают фактические осадки по метеостанциям в одинаковом числе случаев - около 50 % т.е. являются равновероятными (о разности $R_{\text{сп.}} - R_{\text{наз.}}$ говорит знак минус или плюс в скобках - знак ошибки в формуле (3.1)).

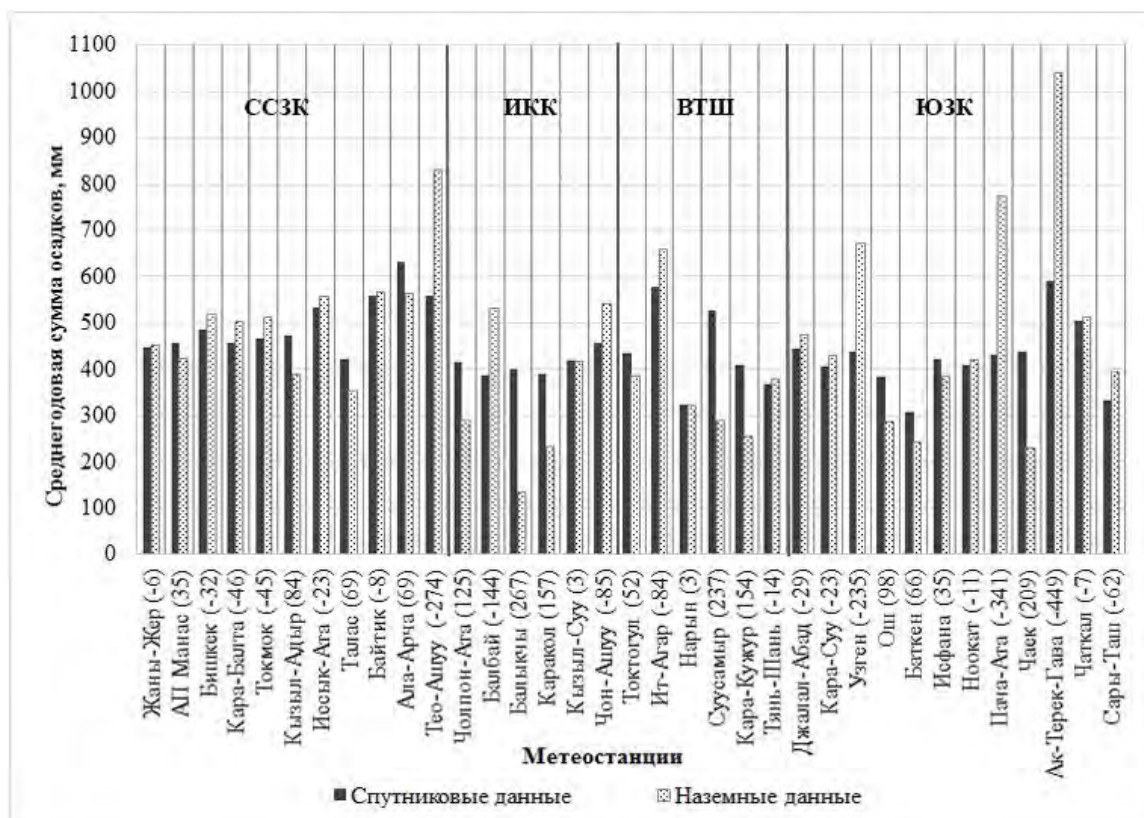


Рис. 3.2 Среднегодовые суммы осадков и их разность (числа в скобках) по спутниковым и наземным наблюдениям для 35 МС Кыргызстана [63]

В абсолютном выражении спутник сильнее всего *занижает нормы для годовых осадков* ($\Delta R \geq 200$ мм) для 4 станций, где годовое количество осадков высокое и составляет 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). Тем не менее, вследствие больших годовых сумм осадков на этих станциях, значения $S_{\Delta R(\%)}$ для них малы и соответственно равны 12, 14, 18 и 21 % (см. рис. 3.1 б)) [63]. Наименьшая разница, соответственно наилучшая согласованность, наблюдается на метеостанциях Кызыл-Суу, Нарын, Жаны-Жер, Чаткал, Байтик, Ноокат, где ею можно пренебречь (3-11 мм) [63]. В среднем разница для ССЗК между спутниковыми и наземными данными составляет 63 мм, что составляет 11 % от среднегодовых наземных норм. Для ИКК и ЮЗК это цифра намного выше - 130 и 123 мм (59 % и 20 % соответственно), для ВТШ – 123 мм (38 %) [63].

При этом спутниковые данные чаще 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 выпадает экстремально большие, либо экстремально низкие годовой суммы осадков - спутниковые данные соответственно завышают или занижают реальную картину [63].

Если же станции дифференцировать по орографическим условиям их расположения, то оказывается, что наилучшая согласованность между двумя видами измерений наблюдается для подгорной равнины и для горных котловин не зависимо от их высоты. Более значимым фактором, влияющим на согласованность данных, по всей видимости, является орографическая открытость территории. Исключением является, как это уже неоднократно подчеркивалось, является ИКК с ее крайне низкими осадками в западной части [63]. Большие погрешности спутниковых данных в этом районе могут быть связаны с искажением отраженного сигнала за счет наличия резкой границы в подстилающей поверхности «зеркало озера-склоны хребтов» [81].

3.3. Согласованность сезонных сумм осадков, полученных по спутниковым и наземным данным

В настоящем пункте рассматривается согласованность сезонных сумм атмосферных осадков, полученных по спутниковым и наземным данным. В табл. 3.3 приведены рассчитанные значения СКО (мм) – $S_{\Delta R}$ и СКО_{отн.}(%) – $S_{\Delta R(\%)}$ для сезонных сумм осадков, осредненные по 4 климатическим провинциям, а также Кыргызстану в целом.

Таблица 3.3 – Рассчитанные абсолютные $S_{\Delta R}$ и относительные $S_{\Delta R(\%)}$ значения ошибок для сезонных сумм осадков по 4 климатическим провинциям и Кыргызстану в целом [63]

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

Перед тем как приступить к анализу табл. 3.3 по отдельным сезонам подчеркнем, что зимние суммы осадков по абсолютной величине являются наиболее малыми, по сравнению с другими сезонами года. За счет этого абсолютные значения средних квадратических отклонений $S_{\Delta R}$ (мм) малы, но при этом значительно увеличиваются их относительные значения $S_{\Delta R(\%)}$ [63].

Как видно из табл. 3.3 значения для $S_{\Delta R}$ по сезонам для Кыргызстана в целом составляют: зима – 26 мм (наименьшее значение), весна 50 мм (наибольшее значение), летом и осенью $S_{\Delta R}$ совпадает и равно 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 всех сезонов кроме зимы, где наблюдается не удовлетворительное

согласование. При этом значение относительной погрешности зимой (53%) очень близко к верхней границе критерия, соответствующему удовлетворительному качеству [63].

По отдельным климатическим провинциям средние сезонные значения $S_{\Delta R}$ и $S_{\Delta R(\%)}$ различны. Так для относительных ошибок они минимальны для ССЗК, где $S_{\Delta R(\%)} = 28 \%$ (удовлетворительное качество согласования). Для ЮЗК и ВТШ $S_{\Delta R(\%)}$ уже выше и составляет 45 и 40 % соответственно (так же удовлетворительное качество согласования). Значение $S_{\Delta R(\%)}$ оказалось более высоким для ИКК, а наиболее низкие в ССЗК для всех сезонов [63].

Таким образом, можно считать, что имеет место удовлетворительное по качеству согласование сезонных сумм осадков, найденных по спутниковым и наземным данным, как в среднем, как по территории Кыргызстана, так и его 4 климатическим провинциям. Исключением является ИКК, где $S_{\Delta R(\%)}$ сравнительно велико и меняется от 32 до 98 % в зависимости от сезонов года, т.е. ошибка здесь находится на границе удовлетворительного и не удовлетворительного согласия и попадает и в ту и в другую градацию. $S_{\Delta R(\%)}$ по провинциям для зимнего периода находится в пределах 30-98 %, в среднем составляет 53 % [63].

Согласованность сезонных норм осадков по спутниковым и наземным данным для различных станций по значениям $S_{\Delta R}$ и $S_{\Delta R(\%)}$.

Проанализируем, как выглядит согласованность сезонных норм осадков по спутниковым и наземным данным для отдельных станций. В табл. П. 3.3 представлены абсолютные ($S_{\Delta R}$) и относительные – $S_{\Delta R(\%)}$ СКО для всех 35 МС Кыргызстана. В целом почти для всех метеостанций абсолютные значения ошибок $S_{\Delta R}$ имеют минимальные значения осенью и зимой, когда осадки минимальны в году, и максимальные – весной и летом, когда осадки максимальны [63]. Для наглядности на рис. 3.3 приведены гистограммы абсолютных и относительных значений – $S_{\Delta R}$ (мм) и $S_{\Delta R(\%)}$ для зимы и лета по 35 МС всех климатических провинций Кыргызстана.

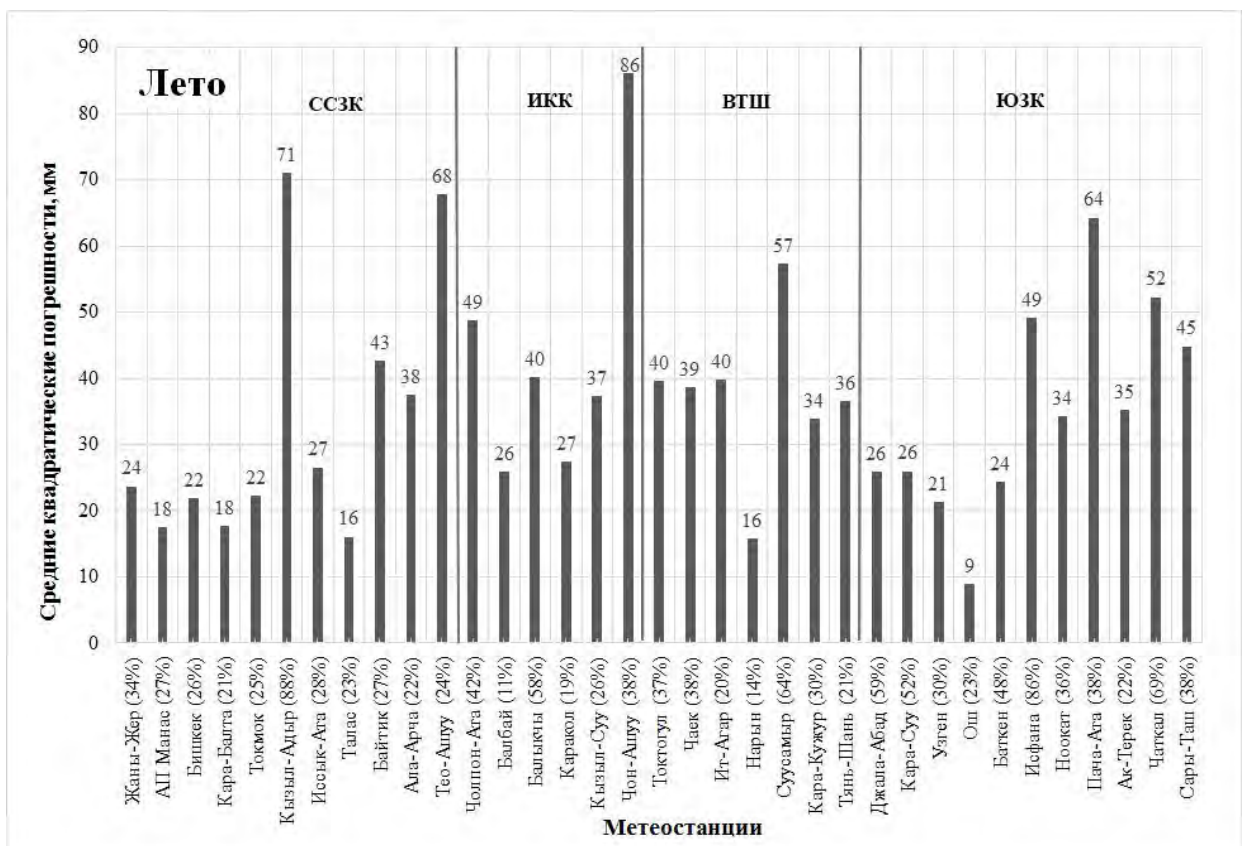
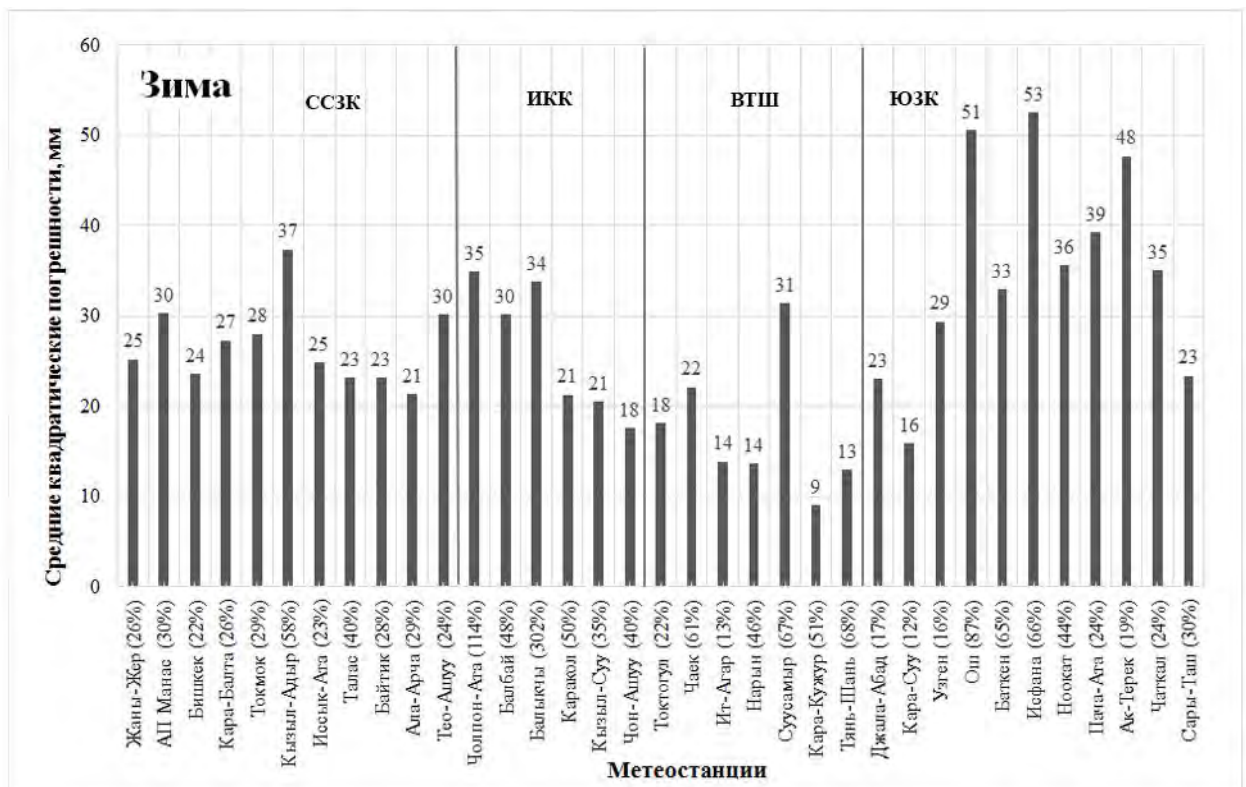


Рис. 3.3. Абсолютные значения $S_{\Delta R}$ (мм) (подписаны над столбцами) и относительные значения – $S_{\Delta R}(\%)$ (подписаны у названия станций в скобках) для зимы и лета по отдельным станциям для различных климатических провинций Кыргызстана

Для отдельных провинций картина для относительных 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 (см. табл. П. 3.3). На станции Кызыл-Адыр результаты оказались 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 согласования [63].

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 [63].

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 мм 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 [63]. 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 долиной Исфана (35-125 мм). Какой-либо закономерности от высоты расположения станций выявить не удалось [63].

В ИКК с ее экстремально малым количеством осадков в западной части наблюдаются наибольшие относительные погрешности $S_{\Delta R}$ и $S_{\Delta R(\%)}$. Особенно это проявляется в зимний период, когда осадков в районе Балыкчы практически нет (норма 11мм) и относительная погрешность достигает рекордного значения

– 302 %, при смещении на восток осадки увеличиваются и погрешность резко падает, снижаясь в Чолпон-Ате до 114 % (норма 31 мм). Как и следовало ожидать, гораздо лучшая согласованность наблюдается в восточной части ИКК. Так, например, на МС Каракол $S_{\Delta R(\%)}$ лежит в пределах 15 % (Каракол весна, большая норма осадков – 119 мм) и 50 % (зима, когда норма осадков меньше – 42 мм). Примерно аналогичная картина наблюдается и на сопредельной МС Кызыл-Суу, расположенной в 35 км западнее. Для станций ИКК, как и для других провинций, в целом характерно возрастание ошибок осенью и зимой, когда осадки минимальны [63].

Во ВТШ действующие станции, как уже отмечалось неоднократно, расположены в днищах высокогорных котловин, где осадков во все сезоны выпадает мало (250-450 мм/год). Поэтому в целом относительные значения ошибок $S_{\Delta R}$ несколько повышены, но находятся в пределах удовлетворительного качества согласования. Так 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 узловой сетки. Аналогичная ситуация наблюдается и на станции Ит-Агар, расположенной в ущелье южного склона Таласского хребта (2,1 км). Гораздо лучшее качество согласования получено для среднегорной станции Нарын (2,04 км), расположенной на такой же высоте - здесь ошибки меняются от 14 % летом (высокое качество) до 53 % осенью (удовлетворительное качество, если формально не учитывать превышения в границе критерия 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; высокогорная котловина - 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 выявить не удалось [63].

В заключение приведем табл. 3.4, где для различных сезонов даны повторяемости (%) попадания относительных ошибок для 35 использованных метеостанций в принятые градации качества расхождений спутниковых и наземных данных [63].

Таблица 3.4 – Процент попадания метеостанций в принятые градации качества относительных ошибок [63]

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 качество по сезонам года дают следующий процент метеостанций Кыргызстана: зима – 69 %, весна – 89 %, лето – 80 % и осень – 66 %. Все это, на наш взгляд, позволяет применять на практике модель ТМРА для оценки сезонных сумм осадков в Кыргызстане с его сложной горной орографией [63].

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 сравнение спутниковых и наземных данных для этой важной зоны [63].

Средние сезонные различия спутниковых и наземных данных по отдельным станциям (значения ошибок ΔR по (3.1)). Приведем дополнительно к сделанному анализу также средние за сезон суммы осадков и их разность (числа в скобках) по спутниковым и наземным измерениям для 35 МС Кыргызстана, которые представлены в П. 3.5. Дополнительно были рассчитаны значения разности сумм для каждой метеостанции Кыргызстана в среднем за все сезоны, для наглядности полученные результаты приведены на рис. 3.4.

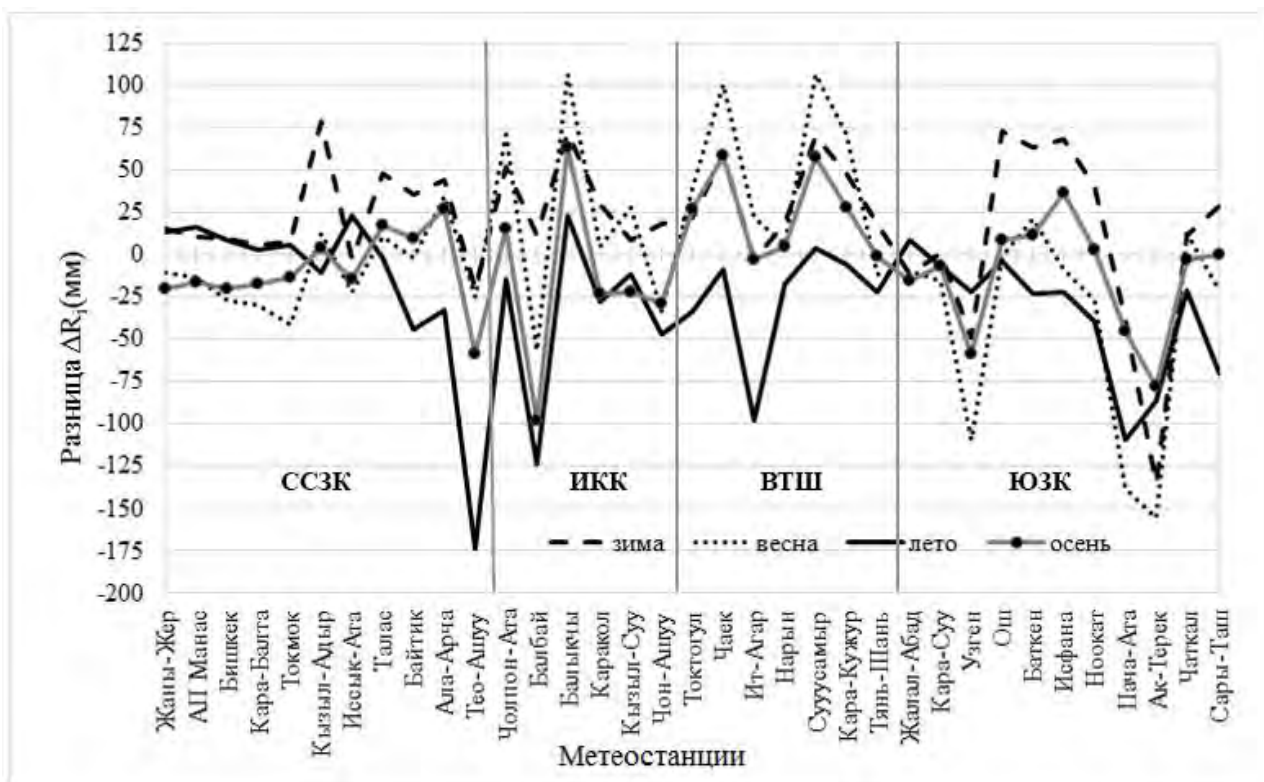


Рис. 3.4. Разности средних за сезоны сумм осадков по спутниковым и наземным наблюдениям для 35 МС Кыргызстана

Из рис. 3.4, прежде всего, видно, что спутниковые данные завышают и занижают фактические сезонные осадки по наземным метеостанциям в практически одинаковом числе случаев – около 50 % т.е. являются равновероятными (о разности $\Delta R_i = R_{\text{сп.}} - R_{\text{наз.}}$ говорит знак минус или плюс в скобках - знак ошибки в формуле (3.1)). В том случае, если линия графика находится выше 0, т.е. разница положительная – спутниковые данные средних сезонных сумм осадков превышают наземные, и наоборот, если ниже оси 0 – фактические наземные суммы больше, т.е. спутниковый алгоритм занижает фактические осадки.

Видно, что зимой, когда осадки малы, спутник завышает фактические данные по большинству осадкомеров. Летом, наоборот, спутник почти по всем станциям занижает фактическое количество осадков. Это можно объяснить тем, что в холодный период года наблюдается большее количество баллов облачности в Кыргызстане, водность которой спутник измеряет несколько раз, хотя эта облачность может и не давать осадки. В теплое же время года, чаще

наблюдается скоротечные конвективные процессы, особенно в высокогорной зоне, которые спутниковые сенсоры, порой не успевают зафиксировать.

Наибольшая разница (около 90 мм и более) наблюдается на следующих метеостанциях: МС Тео-Ашуу (-173 мм, лето), Ак-Терек (-155 мм, весна), Пача-Ата (-138 мм, весна, -108 мм, лето), Балбай (-123 мм, лето и -98 мм, осень), Узген (-109 мм – весна -58 мм – осень), Ит-Агар (-97 мм, лето), Суусамыр (106 мм – весна) [63]. Все эти станции относятся к районам с повышенными суммами осадков в указанные сезоны. Также велика разница на МС Балыкчы (106 мм, весна и 72, зима), что, как уже говорилось, связано с экстремально низкими нормами атмосферных осадков на этой станции и спецификой спутниковых сенсоров. На остальных 27 станциях величина расхождения сезонных сумм спутниковых и наземных данных оказались значительно меньше. Они, как правило, занижены при повышенных нормах осадков на станциях и завышены при малых нормах осадков. При этом наименьшая разница, соответственно наилучшая согласованность, наблюдается на долинных и предгорных станциях ССЗК и ЮЗК.

Таким образом результаты анализа степени согласованности сезонных сумм осадков для Кыргызстана в целом, каждой из его 4 климатических провинций и отдельных станций по значениям $СКО$ (мм) и $СКО_{отн.}(\%)$ позволяет считать, что мультиспутниковая модель (ТМРА)-3В43 V-6 может быть использована в горных районах Кыргызстана для прикладного расчета сумм осадков, что имеет большое значение, особенно для высокогорной зоны с очень редкой осадкомерной сетью [63]. 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 (Глава 4), с помощью которых можно существенно уточнить получаемые по спутниковой модели результаты [63].

3.4. Согласованность месячных сумм осадков, полученных по спутниковым и наземным данным

В настоящем пункте рассматривается согласованность месячных сумм осадков по Кыргызстану в целом по каждой из 4 климатических провинций и отдельным 35 станциям по рассчитанным значениям средних квадратических ошибок $S_{\Delta R}$ и $S_{\Delta R(\%)}$. Дополнительно приводится значение разностей ΔR для провинций и станций.

Рассмотрение вопроса о валидации месячных данных важно для установления нижнего предела по осреднению сумм осадков спутниковых данных, выше которого их согласованность с наземными данными становится приемлемой для практики. Как будет показано в этом разделе, таким пределом являются месячные данные. Именно поэтому в диссертации получены решения по использованию спутниковых данных в Кыргызстане, начиная с сезонных сумм осадков, валидация которых уже дала существенные положительные результаты.

Согласованность спутниковых и наземных данных в отдельные месяцы года в среднем по климатическим провинциям по $S_{\Delta R}$ и $S_{\Delta R(\%)}$.

Средние значения $S_{\Delta R}$ и $S_{\Delta R(\%)}$ для каждого месяца по четырем климатическим провинциям приведены в табл. 3.5.

Прежде всего, еще раз подчеркнем, что при расчете значения относительной ошибки $S_{\Delta R(\%)}$, в знаменателе стоит норма осадков. Поэтому относительная ошибка существенно увеличивается в те месяцы года, когда нормы низки. Для всех провинций это наблюдается в осенне-зимний сезон и в этот период значение $S_{\Delta R(\%)}$ оказывается повышенными, или даже высокими.

Из анализа табл. 3.5 можно отметить следующее. В *среднем по Кыргызстану*, как и ожидалось, минимальные значения $S_{\Delta R}$ имеют место в зимний период, декабрь - февраль, составляя 14-15 мм, и с августа по сентябрь, когда они равны 17 и 13 мм соответственно. Наибольших величин $S_{\Delta R}$ достигает

в весенне-летний период, с марта по июль, и находится в диапазоне 20-27 мм. Напротив, за счет указанных различий норм осадков в эти сезоны, относительные ошибки $S_{\Delta R(\%)}$ принимают наибольшие значения для февраля, достигая 90 % и ноября – 105 %. Хотя согласно нашим критериям, это соответствует неудовлетворительному качеству согласования, но следует учесть минимальность абсолютных значений ошибок.

Таблица 3.5 – Полученные абсолютные $S_{\Delta R}$ и относительные $S_{\Delta R(\%)}$ значения ошибок для месячных сумм осадков по 4 климатическим провинциям и по Кыргызстану в целом

Месяц	Статистика	Провинция				Кыргызстан
		ССЗК	ИКК	ЮЗК	ВТШ	
декабрь	$S_{\Delta R}$, мм	14	12	19	11	14
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	41	125	48	83	74
январь	$S_{\Delta R}$, мм	13	10	22	11	14
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	50	104	81	114	87
февраль	$S_{\Delta R}$, мм	12	15	19	13	15
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	40	149	61	111	90
март	$S_{\Delta R}$, мм	18	17	24	21	20
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	38	112	45	78	68
апрель	$S_{\Delta R}$, мм	20	23	29	24	24
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	29	77	40	58	51
май	$S_{\Delta R}$, мм	25	24	32	26	27
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	34	51	46	61	48
июнь	$S_{\Delta R}$, мм	19	27	24	21	23
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	41	57	71	46	54
июль	$S_{\Delta R}$, мм	19	26	21	21	22
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	48	52	74	46	55
август	$S_{\Delta R}$, мм	14	23	13	17	17
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	72	53	107	59	73
сентябрь	$S_{\Delta R}$, мм	12	21	9	12	13
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	51	65	89	86	73
октябрь	$S_{\Delta R}$, мм	18	23	21	15	19
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	39	102	60	65	66
ноябрь	$S_{\Delta R}$, мм	16	19	24	15	18
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	38	223	64	95	105
Среднее	$S_{\Delta R}$, мм	17	20	21	17	19
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	43	97	66	75	70

Минимальные значения $S_{\Delta R(\%)}$ наблюдаются в наиболее увлажненный весенний период и первой половине лета, с апреля по июль, составляя 48-55 %. Здесь качество согласования значительно выше и соответствует верхней

границе удовлетворительной градации, хотя абсолютные значения ошибок несколько больше, чем осенью и зимой.

Рассмотрим теперь распределение ошибок *по отдельным провинциям*. Абсолютные погрешности $S_{\Delta R}$ для всех провинций минимальны в осенние и зимние месяцы, когда сумма осадков минимальна, а значения ошибок меняются в диапазоне 9-24 мм. В весенне-летний период $S_{\Delta R}$ несколько увеличиваются, находясь в диапазоне 14-32 мм. То есть картина по отдельным провинциям полностью качественно повторяет, что и следовало ожидать, осредненную по территории в целом.

Остановимся более подробно на анализе относительных ошибок по отдельным климатическим провинциям.

В ССЗК, по сравнению со всеми другими провинциями, наблюдаются минимальные относительные погрешности спутниковых данных, составляя в среднем 43 %, что соответствует удовлетворительному согласованию. В апреле и мае ошибки $S_{\Delta R(\%)}$ минимальны и равны всего 29 и 34 %, а в засушливые месяцы август и сентябрь ошибки увеличиваются до 72 и 51 % соответственно. Таким образом, по существу, только в августе качество согласования попадает в неудовлетворительную градацию относительных ошибок.

ИКК, напротив, оказалось провинцией с максимальными ошибками. Так, в среднем за год $S_{\Delta R(\%)}$ составляет 97 %, при этом ее наибольшие значения приходится на период с октября по март и меняются в пределах 102-223 %. Это максимум полученных значений по всем провинциям. В весенне-летний период, когда сумма осадков в годовом ходе максимальна, $S_{\Delta R(\%)}$ уменьшаются в среднем в 2,5 раза, до 51-53 %. Это практически соответствует верхней границе удовлетворительного качества согласования. Отметим еще раз, что за «пугающими» большими значениями относительных ошибок здесь стоят и малые абсолютные значения, равные всего 10-27 мм в отдельные месяцы.

В ЮЗК относительные ошибки спутниковых данных в среднем составляют 66 %. Это уже попадает в градацию неудовлетворительного качества согласования спутниковых и наземных данных. При этом только 4

месяца (декабрь, март, апрель и май) из 12 дают удовлетворительное согласование по значениям $S_{отн.}$. Максимальные значения $S_{\Delta R(\%)}$ достигаются зимой в январе – 81 %, но особенно в августе 107 % и сентября 89 % (при минимальных суммах осадков). Минимальные ошибки наблюдаются при максимальных суммах осадков, с марта по май, находясь в пределах 40-46 % (удовлетворительное качество согласования). Но опять максимальным $S_{отн.}$ соответствуют малые $S_{абс.}$ – всего 9-24 мм.

Во ВТШ среднее значение $S_{\Delta R(\%)}$ составляет 75 %, что несколько больше, чем в ЮЗК. При этом максимальные значения $S_{\Delta R(\%)}$ приходятся, как обычно, на сухие зимние месяцы: с декабря по февраль, когда они составляют 83-114 % (неудовлетворительное качество согласования). Минимальные значения наблюдаются в первой половине лета (июнь, июль) при максимальных осадках и составляют 46 % (удовлетворительное качество согласования). Здесь также только 3 летних месяца соответствуют удовлетворительному качеству.

Таким образом, их четырех климатических провинций удовлетворительное качество согласования спутниковых и наземных данных практически в течение всего года наблюдается только в ССЗК (29-51 %) за исключением августа (71 %), когда осадки минимальны. Для остальных провинций удовлетворительное качество согласования по значениям $S_{отн.}$, как правило, наблюдается для месяцев, когда в годовом ходе осадки максимальны, и неудовлетворительное качество согласования для тех месяцев, когда они минимальны. Однако в последнем случае высокими значениями $S_{отн.}$ соответствуют малые значения $S_{абс.}$

Согласованность спутниковых и наземных данных в отдельные месяцы года по отдельным станциям по $S_{\Delta R(\%)}$.

Рассмотрим теперь кратко полученные погрешности по каждой из 35 использованных метеостанций. Их значения приведены в табл. П. 3.4.

В табл. 3.6 приведена повторяемость по месяцам метеостанций (%) соответствующая 4 принятым градациям качества согласования, в последнем

столбце дан суммарный процент по позициям 1,2,3 соответствующий удовлетворительному и выше качеству согласования.

Таблица 3.6 – Процент попадания метеостанций в принятые градации качества относительных ошибок по отдельным месяцам и сезонам

Месяц/ сезон	Градации качества ошибки					Суммарно 1,2,3
	1-высокое	2-хор.	3-удов.	4-не удов.	Всего	
декабрь	0	6	49	45	100	55
январь	0	0	47	53	100	47
февраль	0	6	28	65	100	34
зима	0	4	41	54	100	45
март	2	2	39	57	100	43
апрель	2	9	45	44	100	66
май	0	13	60	27	100	73
весна	1	8	48	43	100	57
июнь	0	0	62	38	100	62
июль	0	4	56	40	100	60
август	0	0	34	66	100	44
лето	0	1	51	48	100	52
сентябрь	0	0	49	51	100	49
октябрь	0	6	53	40	100	60
ноябрь	0	5	39	57	100	43
осень	0	4	47	49	100	51
для года	0,01	4	47	48	100	52

Как видно, в среднем для года высокому, хорошему и удовлетворительному качеству соответствует 52 % станций, при этом высокому и хорошему качеству соответствует 4 %, а удовлетворительному – 47 %. Зимой суммарно качеству 1,2,3 соответствует 45 % станций, весной – 57 %, летом – 52 %, осенью – 51 %. Таким образом, весной, летом и осенью 51-57 % станций соответствует качеству – удовлетворительное и выше. И даже зимой этот процент очень близок к 50.

Высокое качество согласования в месячном разрезе наблюдалось только для двух станций: в марте это АП Манас, а в апреле МС Бишкек. Для градации хорошего качества число станций значительно больше – 22 станции для года или 51 %. При этом заметно выделяется апрель и май, когда число таких станций составило 9 и 13 % соответственно. Это долинные, орографически открытые станции ССЗК – Бишкек, Жаны-Жер, Кара-Балта, Талас, Токмок. Остальные 45 и 60 % станций соответственно для апреля и мая, попадают в

группу удовлетворительного качества. При этом их число по месяцам колеблется от 28 в феврале до 62 в мае и июне, когда наибольшую повторяемость в Кыргызстане имеют ливневые осадки.

К числу худших станций, дающих неудовлетворительное качество и максимальные ошибки более 100 %, относятся станции: Балыкчы (409 %, февраль), Тянь-Шань (180 % – май), Чолпон-Ата (176 %, декабрь), Кара-Кужур (143 %, январь), Нарын (143 % – февраль). Все эти данные соответствуют минимуму месячных осадков в годовом ходе (3-45 мм/мес).

Таким образом, можно сделать следующий вывод: отчётливо выражена тенденция удовлетворительного качества согласования спутниковых и наземных данных в период с апреля по июль, что совпадает с наиболее увлажненными месяцами на территории Кыргызстана. В осенне-зимний период качество согласования падает, этот период характеризуется минимальными суммами выпадения осадков – август, ноябрь и февраль. Становится, очевидно, что лучшая согласованность спутниковых и наземных данных наблюдается при средних и высоких значениях осадков в их годовом ходе, при этом в 50 % месяцев согласованность месячных сумм осадков соответствует удовлетворительному качеству, а 50 % – неудовлетворительному. Именно эти факты заставили нас принять решение, что пока следует ограничиться нахождением приведенных сумм осадков для каждого из сезонов и года, где качество согласования значительно выше.

Средние месячные различия спутниковых и наземных данных по отдельным станциям (значения ошибок ΔR по (3.1)).

В заключение пункта 3.4 кратко остановимся на анализе средних месячных разностей спутниковых и наземным данным, т.е. значений ΔR , мм. Графики значений величин ΔR по (3.1), для всех месяцев года, представляющие собой непосредственно различия сумм среднемесячных осадков по спутниковым и наземным данным для каждой станции, приведены в П.3.5.

Заметим, прежде всего, что значения ΔR существенно меньше, чем значения абсолютных среднеквадратических ошибок $S_{\Delta R}$, что следует из

структуры их формул. Так для зимы ΔR по всем станциям они преимущественно положительны и колеблются в диапазоне до 32 мм. Исключение представляет одна станция – Ак-Терек-Гава, дающая ΔR -50 мм. Весной разности ΔR увеличиваются и колеблется в пределах -50 +45 мм. Исключения представляет только 2 станции Пача-Ата и Ак-Терек-Гава, дающие ΔR -70 мм, на них летом наблюдается наибольшая колеблемость величин ΔR (от +15 до -75 мм). При этом они преимущественно отрицательные, но все равно только 2 станции выходят за пределы -50 мм, это станция Балбай (55мм) и Тео-Ашуу (76 мм).

Отчётливо видно, что большая разница наблюдается на метеостанциях либо с экстремально высокими, либо с экстремально низкими месячными нормами осадков. Так на метеостанции Ак-Терек происходит регулярное занижение количества осадков спутниковыми данными, особенно в весенний период разности ΔR здесь достигает -73 мм (май), Пача-Ата -72 мм (май). Также большая разность наблюдается в летние месяцы на метеостанциях Тео-Ашуу и Балбай до -75 и -55 мм соответственно.

Завышенные спутниковые данные можно наблюдать для метеостанций с низкими фактическими нормами осадков - Кызыл-Адыр, Суусамыр, Ош, Баткен, Исфана, Чолпон-Ата и Балыкчы, когда в зимние месяцы с декабря по февраль разница здесь составляет около 30 мм. В весенние месяцы особенно в апреле наблюдается сильное превышение спутниковых данных по сравнению с данными на метеостанциях Балыкчы, Суусамыр и Чаек, в среднем на 40 мм. К лету эта разница существенно сокращается, в этот месяцы спутник чаще занижает значения метеостанций. Осенью наземные данные показывают меньшие фактически нормы по сравнению со спутниковыми данными на метеостанциях Балыкчы, Токтогул, Суусамыр, Исфана, Чаек, где разница в среднем колеблется в пределах 18-30 мм.

В общем можно сделать очевидный заранее вывод, что как при сравнительном анализе абсолютных и относительных ошибок $S_{\Delta R}$ и $S_{\Delta R(\%)}$, так при анализе разностей ΔR , наилучшая согласованность данных наблюдается в

наиболее увлажненный период, и значительно снижается в месяцы с минимальным количеством осадков. При этом большие разности наблюдаются на метеостанциях с экстремально высокими либо с экстремально низкими месячными нормами осадков. Кроме того, согласованность данных существенно зависит от орографических условий конкретной метеостанции и наличия репрезентативной точки узла сетки спутниковых данных.

Таким образом в заключении главы 3 можно отметить следующее:

1. Для Кыргызстана в целом годовая сумма осадков по наземным данным за исследуемый период 1998-2006 гг. составила 471мм, а спутниковым - 454 мм, что соответствует их относительному расхождению всего на 4 %. Кратность (результат деления) в разнице между средними максимальными и средними минимальными значениями годовых сумм для спутниковых данных составляют 2,1, а для наземных 6,8 [63]. Таким образом, спутниковые значения осадков представляют более сглаженную картину поля осадков, по сравнению получаемой по наземным данным.

2. Сравнительный анализ годовых, сезонных и месячных сумм осадков по спутниковым и наземным данным был произведен по вычисленным значениям их абсолютных ($S_{\Delta R}$) и относительных СКО ($S_{\Delta R(\%)}$), которые использовались как мера расхождения этих двух видов данных.

3. Для годовых сумм осадков по всей территории Кыргызстана абсолютное значение $S_{\Delta R} = 103$ мм, что дает его относительное значение $S_{\Delta R(\%)} = 24$ %. Это соответствует по принятым нами критериям хорошему качеству согласования спутниковых и наземных данных. Средние значения СКО_{отн} оказались минимальными для ССЗК, где $S_{\Delta R(\%)} = 17$ %, и ВТШ, где $S_{\Delta R(\%)} = 18$ %, что соответствует хорошему качеству согласования и более высокие для ЮЗК и ИКК (равны 30 и 33 %), соответствуя удовлетворительному качеству согласования (находясь почти на границе хорошего качества) [63].

4. Для годовых норм осадков высокое качество согласованности наблюдалось на 26 % станций, хорошее качество – 37 % и удовлетворительное – 34 %, что в сумме составило 97 % станций и только 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) [63] и наличием резкой границе в подстилающей поверхности «зеркало озера-склоны хребтов» [81].

5. По сезонам значения для $S_{\Delta R}$ для Кыргызстана в целом составляют: зима – 26 мм, лето – 50 мм, весна и осень – 37 мм. В относительных величинах значения $S_{\Delta R(\%)}$ равны: зима – 53 %, весна – 36 %, лето – 35 % и осень – 49 %. Это соответствует по нашим критериям удовлетворительному качеству согласования спутниковых и наземных данных [63] (если, в общем, пренебречь для зимы превышением ошибки в 3 %).

6. По отдельным провинциям для сезонных сумм осадков относительные ошибки минимальны для ССЗК, где $S_{\Delta R(\%)} = 28 \%$ (удовлетворительное качество согласования), а для ЮЗК и ВТШ они составляют 45 и 40 % соответственно (так же удовлетворительное качество согласования). В ИКК значение $S_{\Delta R(\%)}$ сравнительно велико и меняется от 32 до 98% в зависимости от сезонов года, т.е. ошибки и попадают в градации от удовлетворительного до не удовлетворительного. При этом в целом для Кыргызстана суммарно высокое, хорошее и удовлетворительное качество согласования по сезонам года составляет: зима – 69 %, весна – 89 %, лето – 80 % и осень – 66 % [63].

7. Месячные данные являются нижним пределом по осреднению спутниковых данных, выше которого их согласованность с наземными данными становится приемлема для практики.

8. Проведенный разносторонний сравнительный анализ спутниковых и наземных данных позволяет рекомендовать практическое использование мульти спутниковой модели ТМРА-3В43 для оценки годовых и сезонных сумм атмосферных осадков в Кыргызстане с его сложной горной орографией.

ГЛАВА 4.

ОЦЕНКА СТАТИСТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ СПУТНИКОВЫХ И НАЗЕМНЫХ СУММ ОСАДКОВ ДЛЯ КЫРГЫЗСТАНА С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ИХ ПРИВЕДЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Если между спутниковыми данными по осадкам, получаемыми по модели ТМРА-3В43 для горных районов Кыргызстана, и наземными данными метеостанций существуют статистические связи и зависимости, то это позволяет приводить спутниковые значения осадков к показаниям наземных осадкомеров. Приведенные спутниковые суммы осадков будут являться репрезентативными (показательными) величинами для дальнейшего анализа поля осадков для этой сложной и недостаточно освещенной метеостанциями горной территории. Это открывает широкие возможности для практического применения спутниковых наблюдений в прикладной климатологии и для других горных регионов. Одновременно установление таких зависимостей является еще одним методом валидации спутниковых данных. Для решения поставленной задачи в настоящей главе используются методы корреляции и регрессии как наиболее отвечающие ее сути.

Будем анализировать корреляционные связи и регрессионные зависимости для годовых и сезонных сумм осадков для территории Кыргызстана в целом, а также для 4-х его климатических провинций (ССЗК, ИКК, ЮЗК и ВТШ) и различных высотных зон (км): до 1,0, 1-1,5, 1,5-2,5, >2,5. Примем также для качественной характеристики силы линейной корреляционной связи, следующие градации коэффициентов корреляции r (по модулю): 1) очень слабая $r \leq 0,25$; 2) слабая $r = 0,3-0,5$; 3) средняя $r = 0,5-0,7$; 4) высокая $r = 0,7-0,9$; 5) очень высокая $r > 0,9$ [81].

4.1. Корреляционные связи и регрессионные зависимости для годовых сумм осадков для территории Кыргызстана

В этом пункте будут рассмотрены корреляционные связи и регрессионные зависимости спутниковых и наземных данных для годовых сумм осадков по Кыргызстану в целом, 4 его климатическим провинциям по данным 35 использованных метеостанций [72]

На рис. 4.1 приведен график корреляционной связи годовых сумм осадков за 1998-2007 гг. по всем 35 станциям, т.е. по территории Кыргызстана в целом. На нем по горизонтальной оси отложены исходные спутниковые данные за каждый год, а по вертикальной – наземные данные метеостанций.

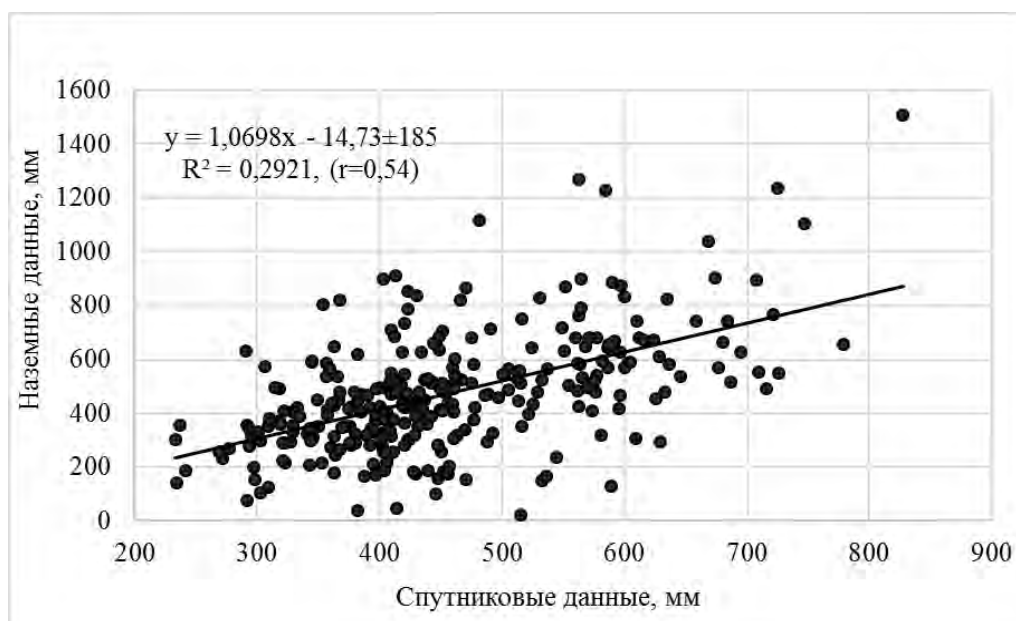


Рис. 4.1 График корреляционной зависимости годовых сумм осадков по спутниковым и наземным наблюдениям для 35 МС Кыргызстана за период 1998-2006 гг. [72]

Из него, прежде сего, следует, что эта связь действительно существует, имеет линейный характер и оценивается коэффициентом корреляции $r=0,54$, т.е. соответствует градации средней по силе связи. Полученное уравнение регрессии статистически значимо на уровне доверительной вероятности $p=95\%$ и имеет вид [72]:

$$R_{\text{прив.}}(\text{мм}) = 1,070 \cdot R_{\text{сп.}}(\text{мм}) - 14,7 \pm 185, \quad (4.1)$$

где через $R_{\text{прив.}}(\text{мм})$ и $R_{\text{сп.}}(\text{мм})$ обозначены соответственно приведенные к данным наземных осадкомеров и исходные спутниковые значения годовых сумм осадков в мм, а последнее слагаемое $s = \pm 185$ мм есть средняя квадратическая ошибка регрессии (4.1) [72].

Регрессия (4.1) позволяет по найденным (заданным) по спутнику годовым суммам осадков делать приведение исходных спутниковых данных к наземным данным метеостанций. Назовем для краткости получаемые таким образом суммы осадков «приведенными» спутниковыми значениями осадков. Расчет по регрессии (4.1) «приведенных» годовых осадков, по заданным «исходным» спутниковым значениям, показан в табл. 4.1. Можно видеть, что параметры регрессии (угловой коэффициент 1,07 и остаточный член -14,7) таковы, что в пределах исходных спутниковых сумм в 150-900 мм с погрешностью не более 5 % ее можно заменить простым равенством: $R_{\text{привед.}} = R_{\text{сп.}}$, т.е. приведенные годовые осадки равны исходным спутниковым годовым осадкам. Заметим, что этот результат 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 [71, 72].

Таблица 4.1 – Результаты расчета приведенных по (4.1) годовых значений спутниковых осадков (мм) по заданным исходным спутниковым данным и их отношения $\lambda = \text{исходные/приведенные}$ [72] (Кыргызстан в целом)

Спутник (задано)	150	200	300	400	500	600	700	800	900
Приведенные (4.1)	146	199	306	413	520	627	734	841	948
λ , исх.спут./привед.	1,03	1,00	0,98	0,97	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95

Ошибка регрессии (4.1), равная по абсолютному значению $s = \pm 185$ мм а в относительном виде, т.е. деленная на годовую норму осадков по Кыргызстану, равна $S_{\text{отн.}} = 39$ %. Все это означает, что с позиций корреляционно-регрессионного анализа, для годовых сумм осадков и территории Кыргызстана в целом, статистическую связь спутниковых и наземных данных (по принятым критериям главы 3) можно считать по качеству вполне удовлетворительной [72]. Следовательно, с позиций корреляционно-регрессионного анализа, для

годовых сумм осадков и территории Кыргызстана в целом, полученные корреляционные связи и зависимости спутниковых и наземных годовых осадков можно считать по качеству вполне достаточными для практического использования. Такое использование может включать следующее.

1. Приведение к данным наземных осадкомеров по (4.1) исходных спутниковых годовых сумм осадков (за любой отдельный год или период), полученных *для каждой точки (пикселя) территории Кыргызстана* и, прежде всего, для 351 точки узлов регулярной сетки модели ТМРА, накрывающих его территорию. Так, например, если для какой-либо точки в искомом году по спутнику определена годовая сумма осадков в 560 мм, то приведенная сумма, которую следует использовать на практике, будет равна 585 мм.
2. Аналогичное приведение к данным наземных осадкомеров по (4.1) исходных спутниковых годовых сумм осадков (за любой отдельный год или период), полученных *по территории Кыргызстана в целом или какой-либо его части*. Так, например, если для Чуйской долины в искомом году по спутнику определена годовая сумма осадков в 420 мм, то приведенная сумма, которую следует использовать на практике, будет равна 435 мм.

Видно, что подобное приведение открывает большие возможности для использования спутниковым данных по годовым суммам осадков в прикладных климатических целях. Эти возможности будут значительно расширены, как это показано ниже в этом и следующих разделах настоящей главы, использованием подобного приведения по регрессиям, полученным для сезонных сумм осадков и территории Кыргызстана в целом и в отдельности для каждой из 4 его климатических провинций.

Так, результаты аналогичных расчетов параметров корреляции и регрессии, для годовых осадков по 4 климатическим провинциям Кыргызстана приведены в табл. 4.2. Также в приложении П. 4.1. приведены графики

зависимостей годового количества осадков между спутниковыми и наземными данным для 35 метеорологических станций, по различным климатическим провинциям Кыргызстана. Здесь точки на графиках соответствуют суммам осадков по отдельным годам на всех метеостанциях.

Таблица 4.2 – Статистики корреляции и уравнений регрессии y (*прив., мм*)= $b_0 + b_1 * x$ (*сп., мм*) $\pm s$ для годовых сумм осадков по спутниковым и наземным данным для ССЗК, ЮЗК, ИКК и ВТШ. Обозначения: b_0 (мм) – остаточный член, b_1 – угловой коэффициент, s – средняя квадратическая ошибка регрессии (мм), $s_{отн.}$ - относительное значение ошибки (%), r – коэффициент корреляции, n – объем выборки [72]

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

Из табл. 4.2 видно, что для трех провинций – ССЗК, ЮЗК и ВТШ – коэффициенты корреляции r спутниковых и наземных годовых сумм осадков равны 0,59, 0,71 и 0,44 соответственно, что эквивалентно 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 % [72]. Расчеты по этим уравнениям средних по провинциям приведенных сумм годовых осадков (по заданным исходным по спутнику значениям) показаны в табл. 4.3.

Таблица 4.3 – Рассчитанные по регрессиям табл. 4.2 средние для территории ССЗК, ЮЗК и ВТШ годовые значения приведенных сумм осадков (мм)

Провинция	Исходные годовые осадки по спутнику, мм (задано)							
	300	400	500	600	700	800	900	1000
ССЗК	336	428	520	611	703	795	886	978
ЮЗК	320	480	640	800	960	1120	1280	1440
ВТШ	273	338	404	469	534	599	664	729

Видно, что расчетные значения приведенных годовых сумм осадков для этих трех провинций (ССЗК, ЮЗК и ВТШ) могут быть близкими или

существенно уклоняться от исходных спутниковых значений как в ту, так и в другую сторону [72]. Такие уклонения отражают реальные различия в полях осадков, наблюдающихся в каждой климатической провинции (см. главу 2), а также технические погрешности спутниковых измерений осадков над горными районами с различными по орографическому строению подстилающими поверхностями.

Только для ИКК корреляционная связь спутниковых и наземных значений годовых осадков отсутствует ($r=0,04$). Здесь лишь одна станция Каракол, которая удалена от побережья залива Пржевальского на 12 км, имеет коэффициент корреляции, равный 0,52 (средняя сила связи). Коэффициенты для остальных 5 станций малы и находятся в пределах от 0,19 (Балыкчи, очень слабая связь) до 0,34 (Чолпон-Ата, слабая связь) [72].

Это, скорее всего, объясняется влиянием неоднородности подстилающей поверхности (зеркало озера - окружающие склоны гор) на поле отраженного сигнала [122, 123]. Кроме того, западная часть котловины характеризуется аномально малой годовой суммой осадков (около 130 мм/год, условия пустыни), при которых модель ТМРА работает неудовлетворительно, что уже отмечалось в наших работах [89, 122, 123]. Заметим, также, что при исключении станции Балыкчи из расчетов общий результат по провинции не улучшился.

По данным табл. 4.3, для территории ССЗК, как и для территории Кыргызстана в целом, приведенные суммы осадков практически совпадают с исходными спутниковыми суммами. Эта климатическая провинция является северной периферийной областью Тянь-Шаня с субширотными хребтами-барьерами, ориентированными касательно к влагонесущим потокам. Поэтому они характеризуются увеличивающимися с высотой места умеренными осадками с годовыми суммами в пределах 400-800 мм. Для этой провинции исходные осадки по спутнику практически не завышены и не занижены [72].

Для ЮЗК, хребты которого, напротив, являются периферийными субмеридиональными хребтами-барьерами (кроме южного горного обрамления

Ферганы, где хребты субширотны) наветренными по отношению к влагонесущим потокам, приведенные по регрессии суммы осадков существенно превышают исходные спутниковые данные. Эти хребты оказываются хорошо увлажненными за счет влагосодержащих западных и юго-западных воздушных течений. Так, при 400 мм по спутнику рассчитанные по регрессии приведенные осадки больше примерно на 20 %, а при 1000 мм - на 40 %. В этой климатической провинции по данным метеостанций осадки на склонах хребтов велики и достигают 1000-1500 мм и, видимо, даже более. Следовательно, спутник здесь занижает величины осадков на 20-40 % при их значениях по исходным спутниковым данным в диапазоне 400-1000 мм [72].

Во ВТШ, этой высокой, блокированной внешними хребтами области, наблюдается размывание фронтальных систем в процессе их переваливания через высокие периферийные хребты, по этому в этой провинции наблюдается уменьшение сумм осадков. Здесь преобладают летние конвективные осадки над высоко приподнятой подстилающей поверхностью, возникающие при обострении холодных фронтов. В связи с этим приведенные по регрессии оценки осадков в целом заметно ниже исходных спутниковых данных. При этом в относительном выражении степень уклонения спутниковых осадков меньше, чем для ЮЗК [72]. Так при исходных осадках по спутнику в 400 мм приведенные по регрессии величины меньше примерно на 15 %, а при 1000 мм – на 27 %.

Региональные регрессии табл. 4.2 позволяют, по сравнению с общей регрессией (4.1), выполнять более точные приведения годовых сумм спутниковых осадков по каждой из 3 климатических провинций в отдельности – ССЗК, ЮЗК и ВТШ, – для которых получены статистически значимые уравнения регрессий, для их последующего прикладного климатического использования. Исключение составляет ИКК, где региональная значимая регрессия отсутствует и для приведения приходится ограничиться использованием общей регрессией (4.1) во всех случаях.

Приведем в заключение этого пункта общие результаты расчетов статистик корреляционных связей для годовых сумм осадков по всем 35

использованным метеостанциям (см. табл. П. 4.2). В табл. 4.4 показаны найденные повторяемости различных градаций коэффициентов корреляции для этих станций с принятой выше качественной характеристикой силы связи [72].

Как видно, для 80 % станций сила связи меняется от слабой (29 % станций), но достаточной для практического использования, до очень высокой (9 % станций) [72].

Таблица 4.4 – Повторяемости градаций коэффициентов корреляции r годовых сумм осадков с качественной характеристикой силы связи для 35 метеостанций Кыргызстана

Сила связи и градация r	Очень слабая $r < 0,25$	Слабая $r = 0,25 - 0,5$	Средняя $r = 0,5 - 0,7$	Высокая $r = 0,7 - 0,9$	Очень высокая $r = 0,9 - 1,0$
число станций	7	10	6	9	3
число станций, %	20	29	17	26	9

Очень высокая сила корреляционной связи ($r = 0,9 - 1,0$) получена для трех низкогорных долинных станций: Кара-Су (0,86 км), Ош (1,02 км) и Талас (1,26 км). К этой градации практически можно так же отнести еще 6 низкогорных и среднегорных долинных и котловинных станций, для которых округленно $r \geq 0,8$: Жаны-Жер (0,60 км), аэропорт Манас (0,63 км), Кара-Балта (0,77 км), Узген (1,0 км), Токтогул (1,08 км) и Нарын (2,04 км). Суммарно к трем градациям – средней, высокой и очень высокой силе связи – относятся 18 станций из 35 или 52 %. Обращает на себя внимание, что для климатической провинции ССЗК только одна станция из 11 (Ала-Арча, 2,13 км, $r = 0,18$) имеет очень слабую корреляцию спутниковых и наземных данных. В тоже время для ИКК 5 станций из 6 имеют малые r , от 0,19 до 0,34 [72].

Из 35 станций 7 или 20 % имеют очень слабую корреляционную связь, для них $r < 0,25$, а уравнения регрессий, численно описывающие связь спутниковых и наземных данных, статистически не значимы для $p = 0,95$. К этим 7 станциям относятся: 1) одна низкогорная – Баткен (1,05 км), 2) 4 среднегорные – Балыкчи (1,66 км), Балбай (1,64 км), Ит-Агар (2,01 км) и Ала-

Арча (2,13 км), 3) две высокогорные – Кара-Куджур (2,8 км) и Тянь-Шань (3,63 км). К сожалению, из 5 высокогорных станций, располагавшихся на высотах 2,8-3,61 км (Кара-Куджур, Чон-Ашу, Тео-Ашу, Сары-Таш и Тянь-Шань) только для Тео-Ашу (ССЗК), получена достаточно высокая корреляция спутниковых и наземных данных ($r=0,55$). Для остальных связь оказалась либо очень слабая (Тянь-Шань $r=0,10$, Кара-Куджур $r=0,21$), либо слабая (Чон-Ашу $r=0,29$, Сары-Таш $r=0,34$) [72].

Скорее всего, наблюдаемая слабая корреляционная связь объясняется двумя основными причинами: 1) наличие резких границ в структуре подстилающей поверхности, например, «зеркало озера – склоны гор» и, возможно, «склоны гор свободные от снежного покрова и покрытые снегом» которые влияют на неоднородность излучения, фиксируемого спутниковыми сенсорами; 2) не репрезентативностью точки узла сетки, использованной для определения осадков по спутнику [72].

В целом можно сделать следующий вывод: станции, находящиеся в орфографически открытых районах не зависимо от их высоты над уровнем моря, имеют более высокую силу корреляционной связи по сравнению с орфографически неоднородными районами. Однако также становится очевидно, что спутниковые измерения довольно лимитированы в своих возможностях в некоторых областях нашей республики, а именно в ИКК, из-за мезомасштабных особенностей режима осадков, а также специфики спутниковых измерений.

Таким образом, в среднем по всей территории Кыргызстана и трем из 4 его климатических провинций (ССЗК, ЮЗК и ВТШ), а так же по абсолютному большинству станций (80 %), прослеживаются значимые статистические связи и зависимости между годовыми суммами осадков, полученными по спутниковым и наземным данным, что, с учетом сделанных ограничений, делает спутниковые данные по осадкам, после их приведения по полученным регрессиям, репрезентативными, т.е. пригодными для прикладного практического использования в этой горной области [72].

4.2. Корреляционные связи и регрессионные и зависимости для сезонных сумм осадков для территории Кыргызстана

В настоящем пункте как продолжение темы п. 4.1. будут рассмотрены корреляционные связи и зависимости для сезонных сумм осадков для Кыргызстана в целом и каждой из его 4 климатических провинций [79]. Это позволит получить для практического использования *систему региональных уравнений регрессий*, позволяющих приводить исходные спутниковые данные по сезонным суммам осадков к данным наземных осадкомеров [78,79]. Такое приведение является следующим шагом, в получении уточненных приведенных сезонных сумм осадков на региональном уровне, т.е. с учетом специфики их режима в каждом климатическом регионе. Найденные для них статистические параметры уравнений регрессии и корреляции приведены в табл.4.5.

Таблица 4.5 – Статистики корреляции и уравнений регрессии для сезонных сумм осадков по спутниковым и наземным данным для ССЗК, ЮЗК, ИКК и ВТШ [79] (обозначения см. в табл. 4.2)

Провинция	Сезон	Статистика						Значимость регрессии
		b_1	b_0	s	$S_{отн},\%$	r	n	
Кыргызстан	зима	0,8252	-0,4	49	57	0,56	301	значима
	весна	0,8850	22,1	79	47	0,61	336	значима
	лето	1,0433	24,0	58	51	0,62	335	значима
	осень	0,9861	5,9	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

Как видно из табл. 4.5, в целом по Кыргызстану регрессии оказались значимы для всех сезонов. Сила связи спутниковых и наземных данных, характеризующаяся коэффициентом корреляции r соответствует значениям от 0,56 (зима) до 0,62 (лето). Относительные значения ошибок регрессий меняются в пределах верхних границ от 47 % весной, до 57 % зимой [72]. На рис. 4.2 показаны регрессионные зависимости сезонных сумм осадков по спутнику и наземным данным для Кыргызстана в целом. Хорошо видно, что эти зависимости, как и для годовых сумм (рис. 4.1), линейны и характеризуются коэффициентами корреляции, соответствующими силе корреляционной связи, по принятым нами критериям, от слабой до средней.

По отдельным климатическим провинциям, в 13 случаях из 16 (81 %) корреляционная связь оказалась в пределах градаций от слабой ($r=0,25-0,5$) до очень высокой ($r=0,9-1,0$). При этом градациям средняя, высокая и очень высокая ($r \geq 0,5$) соответствуют 9 случаев или 56 %. Только в трех случаях – ССЗК (зима), ИКК (зима) и ИКК (весна) – статистическая связь являлась очень слабой ($r < 0,25$) [72].

При этом в ИКК регрессии оказались не значимыми только для двух сезонов - зимы и весны, которым соответствует самым низкие значения коэффициентов корреляции $r=0$ (зима) и $r=0,14$ (весна). Высокая сила связи спутниковых и наземных данных, соответствующая $r \geq 0,7$, наблюдается в ССЗК весной $r=0,74$ и осенью $r=0,70$, а также в ЮЗК весной, когда $r=0,74$ [72].

Абсолютные значения средних квадратических ошибок (СКО) статистически значимых регрессий (см. табл. 4.5) находятся в диапазоне 29-68 мм, а их относительные значения в диапазоне 25-66 %, т.е. точность их уравнений качественно можно признать в пределах от «хорошей» до «удовлетворительной» [72].

На этом этапе исследования возникает вывод, что для некоторых регионов, где качество согласования несколько хуже нужны будут специальные техники корректировки данных.

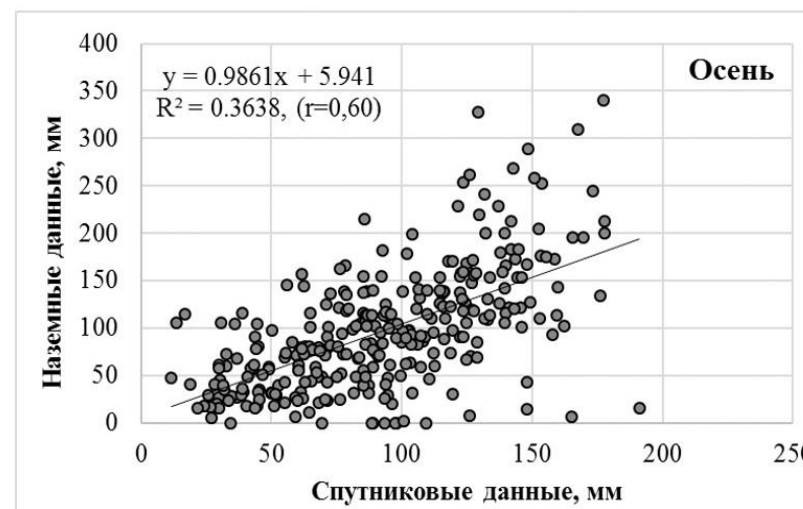
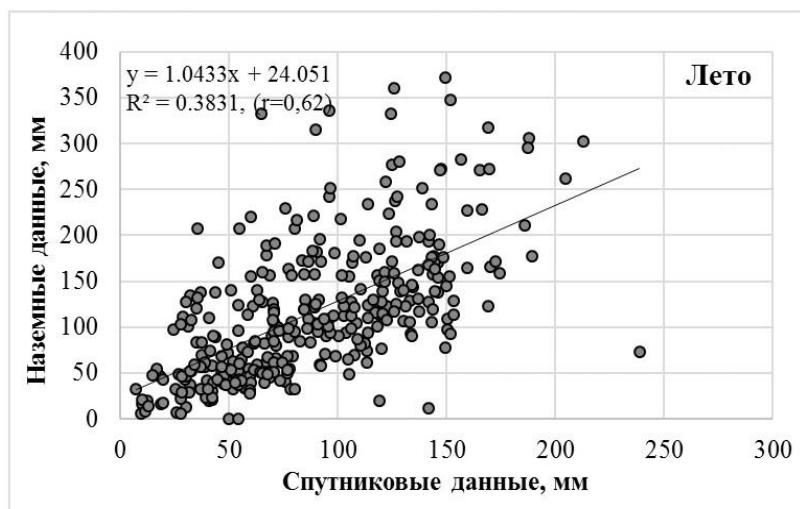
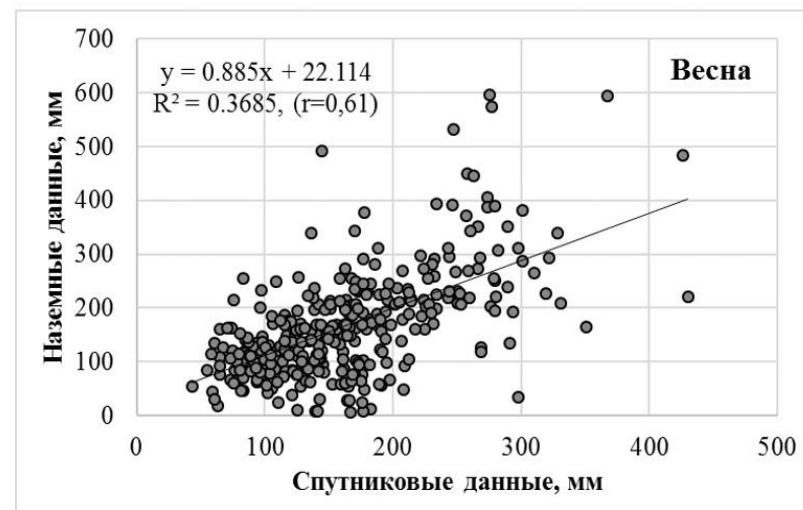
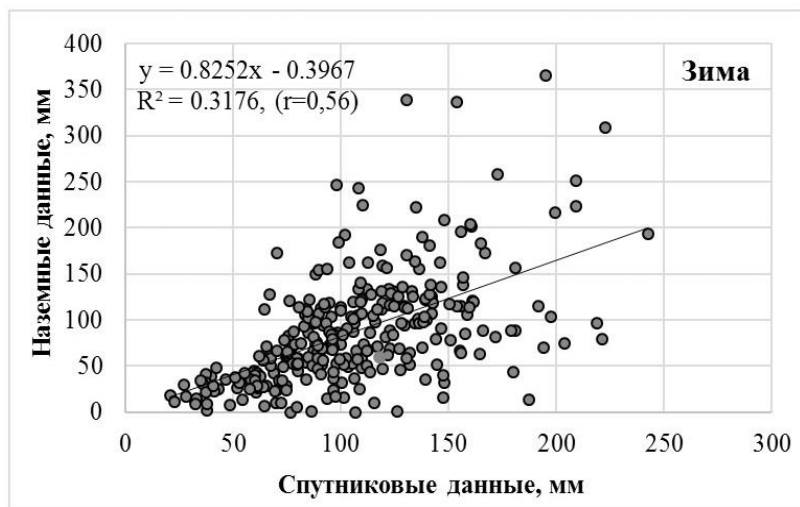


Рис. 4.2. График корреляционной зависимости сезонных сумм осадков по спутниковым и наземным данным для 35 МС

Кыргызстана за 1998-2007 гг.

Дополнительно в табл. 4.6 даны повторяемости градаций коэффициентов корреляции r с характеристикой силы связи для 35 метеостанций Кыргызстана для различных сезонов года. Также в табл. П. 4.3 приведены коэффициенты корреляции для сезонных сумм осадков по всем 35 станциям Кыргызстана.

Таблица 4.6 – Число случаев градаций коэффициентов корреляции r для сезонных сумм осадков для 35 метеостанций Кыргызстана (в скобках указано число станций в %) [80]

Сезон	Очень слабая $r < 0,25$	Слабая $r = 0,25-0,5$	Средняя $r = 0,5-0,7$	Высокая $r = 0,7-0,9$	Очень высокая $r = 0,9-1,0$
Зима	5 (14)	8 (23)	12 (34)	6 (17)	4 (11)
Весна	5 (14)	6 (17)	6 (17)	15 (43)	3 (9)
Лето	5 (14)	9 (26)	7 (20)	12 (34)	2 (6)
Осень	6 (17)	6 (17)	6 (17)	12 (34)	5 (14)
Год	21 (15)	29 (21)	31 (22)	45 (32)	14 (10)

Из табл. 4.6 также следует, что по абсолютному большинству сезонов (85 %), прослеживаются значимые статистические связи и зависимости между сезонными суммами осадков, полученными по спутниковым и наземным данным [80].

В табл. 4.7 даны приведенные суммы осадков по спутнику, найденные по статистически значимым регрессиям табл. 4.5, для сезонных сумм для каждой из климатических провинций. При этом сделаны необходимые естественные ограничения: результаты расчетов приведены только в пределах, фактических измеренных спутником сезонных сумм, т.е. в тех диапазонах исходных спутниковых данных, для которых получены регрессии, как это требует статистическая теория [72, 80].

Из табл. 4.7 следует, что как для Кыргызстана в целом, так и для его провинций получены весьма неоднозначные результаты расчетов приведенных сумм осадков по сезонам года. Вид или характер расхождений приведенных и исходных сумм осадков в табл. 4.7 можно условно представить следующими 4 типами: 1 – примерное «равенство» значений (расхождения не более 10-15 %) по всему диапазону сумм осадков, 2 – приведенные значения «выше» исходных

в пределах всего диапазона сумм осадков, 3 – приведенные значения «ниже» исходных в пределах всего диапазона сумм осадков, 4 – приведенные значения «выше» на одном из концов диапазона сумм осадков и «ниже» на другом конце диапазона [80].

Таблица 4.7 – Приведенные суммы сезонных осадков (мм) для территории ССЗК, ИКК, ЮЗК и ВТШ, рассчитанные по заданным исходным спутниковым данным [72]

Провинция	Сезон	Исходные сезонные суммы осадков (мм) по спутнику (задано)									
		25	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Кыргызстан	зима	20	41	82	123	165	206				
	весна	44	66	111	155	199	243	288	332	376	420
	лето	50	76	128	181	233	285				
	осень	31	55	105	154	203	252				
ССЗК	зима		78	90	101	113	124				
	весна		89	128	167	206	245	284	323	362	
	лето	21	54	119	184	249					
	осень	35	60	109	159	209					
ИКК	лето		86	132	179	225	272				
	осень	157	176	214	252	289	327				
ЮЗК	зима		68	106	144	182	220	258			
	весна		95	116	138	159	181	202	224	245	267
	лето	54	88	154	221	287					
	осень	33	61	116	172	227					
ВТШ	зима	15	30	60	90	120					
	весна	56	67	89	112	134	157	179	201	224	246
	лето	52	77	127	177	227	277	327	377	428	
	осень	18	36	72	108	143	179	215	251	286	

Кроме того, следует учитывать абсолютные величины расхождений или модули разностей приведенных и исходных сумм осадков. С этих позиций картина расхождений в табл. 4.7 выглядит следующим образом. В целом по Кыргызстану в зимний период времени, когда осадки носят преимущественно обложной фронтальный характер исходные данные выше приведенных примерно на 18 %, что соответствует типу 3, т.е. спутник завышает на эту цифру фактические осадки. Весной, когда осадки в году максимальны и чаще имеют конвективный характер, характер расхождений представлен типом 4, когда приведенные суммы существенно больше (т.е. они здесь занижены), на нижнем конце диапазона значений и меньше примерно на 10 % на верхнем конце диапазона значений (т.е. они здесь завышены). Летом, осадки имеют

преимущественно конвективный характер и их суммы примерно такие же, как и зимой. В этот сезон наблюдается тип расхождений 2 – приведенные осадки больше исходных на всем диапазоне значений [80]. Причем на верхнем конце диапазона они завышаются по спутнику примерно на 20 %. Наконец осенью, с ее типичными сильными холодными вторжениями, приведенные значения также выше исходных данных, но уже всего на 5 % в среднем, что соответствует расхождению по типу 1 [72].

Для климатических провинций, как и следовало ожидать, по сезонам года картина еще более сложна и противоречива, чем по территории в целом [72].

В ССЗК зимой, весной и летом наблюдается тип 4, когда на разных концах диапазонов приведенных сумм осадков знак разности «приведенные значения – исходные» различен. При этом абсолютная величина расхождений сравнительно мала. Но осенью имеет место тип 1, когда приведенные осадки по всему диапазону значений примерно равны исходным суммам [72].

В ИКК для лета и осени, когда преобладают конвективные осадки, имеет место тип 2: приведенные осадки выше исходных сумм. При этом, если для лета абсолютные значения различий сравнительно малы, то осенью приведенные суммы значительно превышают исходные значения, а на левом конце диапазона эти превышения многократны (правда, в значительной мере это можно отнести за счет малых значений сумм осадков на этом конце диапазона) [72].

Для ЮЗК, где преобладают конвективные осадки весной и в начале лета, для двух сезонов – зимы и весны - наблюдается тип 4 с различными знаками расхождений по диапазону сумм. При этом, если зимой абсолютная величина расхождений сравнительно мала, то весной она значительно увеличивается. Летом в этой провинции наблюдается тип 2, когда приведенные суммы для всего диапазона значений выше исходных. Осенью имеет место тип 1 – приведенные и исходные суммы осадков примерно совпадают [72].

Во ВТШ, где преобладают конвективные осадки теплого сезона года, зимой и осенью наблюдается тип 3, когда приведенные суммы ниже исходных

по всему диапазону значений. При этом в оба сезона абсолютные значения разностей приведенных и исходных сумм значительны. Летом в этой провинции имеет место тип 2, когда приведенные суммы выше исходных по всему диапазону значений, а весной, напротив, – тип 3, когда приведенные суммы ниже исходных, практически по всему диапазону значений [72].

Таким образом, можно сделать следующий общий вывод по результатам выполненного анализа: количество обложных осадков, имеющих фронтальный характер, по спутниковым данным чаще всего оказывается переоценённым, в то время как конвективные осадки (фронтальные и местные) недооцениваются спутниковой моделью TMPA. Так, для большинства метеостанций была выявлена следующая закономерность: зимой спутник переоценивает фактические суммы осадков, летом недооценивает, весной же и осенью наблюдается хорошее согласование данных. Кроме того, в целом справедливо также, что в областях с малыми осадками они завышаются по спутниковым данным, а в областях с большими осадками – занижаются [80]. Такая “пестрота в распределении осадков” [74] в Кыргызстане не может быть крайне точно определена современными спутниковыми алгоритмами измерения осадков, в этом случае единственным выходом является их адаптация под местные климатические условия, посредством приведения к данным наземных измерений по значимым уравнениям регрессии.

Полученные выше региональные регрессионные зависимости рекомендуются к практическому использованию для приведения спутниковых данных о сезонных осадках, получаемых по модели TMPA, к показаниям наземных осадкомеров [80]. При этом решаемые задачи и техника расчетов остаются принципиально такими же, как они описаны в п. 4.1.

3. Приведение к данным наземных осадкомеров (по статистически значимым регрессиям табл. 4.5) исходных спутниковых сезонных сумм осадков (за любой отдельный год или период), полученных для каждой точки (пикселя) территории климатической провинции, и, прежде всего, для всех точек узлов регулярной сетки модели TMPA,

покрывающих ее территорию. Так, например, если для одной из точек ССЗК летом в искомом году по спутнику определена сумма осадков в 150 мм, то приведенная летняя сумма, которую следует использовать на практике, будет равна 183 мм.

4. Аналогичное приведение к данным наземных осадкомеров по этим регрессиям табл.4.5 исходных спутниковых сезонных сумм осадков (за любой отдельный год или период), полученных *по территории климатической провинции в целом или какой-либо его части*. Так, например, если для Чуйской долины в искомом году по спутнику определена летняя сумма осадков в 100 мм, то приведенная сумма, которую следует использовать на практике, будет равна 119 мм.

Надо также полагать, что приведенные выше результаты представляют также значительную ценность для разработчиков спутниковых программ косвенных расчетов осадков в горных районах с целью их возможного уточнения и совершенствования.

4.3. Корреляционные связи и регрессионные зависимости для годовых и сезонных сумм осадков для различных высотных зон Кыргызстана

В данном пункте рассмотрим параметры регрессии и корреляции для годовых и сезонных сумм осадков по различным высотным зонам в целом для территории Кыргызстана, по 35 его метеостанциям. При этом использовалась следующая последовательность анализа: территория Кыргызстана в целом - годовые суммы осадков, сезонные суммы осадков; годовые и сезонные суммы осадков для различных климатических провинций [81]. Все это позволило получить для практического использования *систему уравнений регрессий*, позволяющих приводить исходные спутниковые данные по годовым и сезонным суммам осадков к данным наземных осадкомеров для различных высотных зон Кыргызстана.

Горная территория Кыргызстана, как это было показано в п.1.1 занимает большой диапазон высотных отметок от 0,6 до 5 км и выше. Сложные орографические условия существенно воздействуют на изменение осадков с высотой, в связи с этим оно крайне неоднородно в различных природно-климатических областях нашей республики. Поэтому представляется весьма важным получить статистические зависимости различных сумм осадков по спутнику и наземным данным для его основных высотных зон [81]. В качестве таких зон нами были использованы:

высота, км	до 1	1-1,5	1,5-2,5	более 2,5
зоны	низкогорная	среднегорная 1	среднегорная 2	высокогорная
число МС	8	8	14	5

Как видно в каждой высотной зоне находилось от 5 до 14 станций из их общего числа 35 [81]. Перечень станций, входящий в эти высотные зоны приведен в табл.4.8.

Таблица 4.8 – Используемые метеорологические станции Кыргызстана по различным высотным зонам [81]

Высотная зона	Перечень метеостанций
до 1 км низкогорная	Жаны-Жер, Манас, Бишкек, Джалал-Абад, Кара-Балта, Токмок, Кара-Суу, Кызыл-Адыр
1-1,5 км среднегорная 1	Узген, Ош, Иссык-Ата, Баткен, Исфана, Токтогул, Галас, Ноокат,
1,5-2,5 км среднегорная 2	Пача-Ата, Байтик, Балбай, Чолпон-Ата, Чаек, Балыкчы, Каракол, Кызыл-Суу, Ак-Терек-Гава, Чаткал, Ит-Агар, Нарын, Суусамыр, Ала-Арча
более 2,5 км высокогорная	Чон-Ашуу, Кара-Кужур, Сары-Таш, Тео-Ашуу, Тянь-Шань

Годовые суммы осадков по Кыргызстану в целом. Графики корреляционной связи годовых сумм осадков, полученных по спутниковым и наземным данным за 1998-2007 гг. по территории Кыргызстана в целом для его различных высотных зон приведены на рис. 4.3. Точки на графиках соответствуют суммам осадков по спутниковым и наземным наблюдениям за каждый год, при этом группировка станций проводилась по каждой высотной зоне.

Результаты расчетов параметров корреляции и регрессии по уравнениям регрессии, выполненные для годовых осадков по каждой из 4 высотных зон Кыргызстана приведены в табл. 4.9.

Таблица 4.9 – Статистики корреляции и уравнений регрессии для годовых сумм осадков по спутниковым и наземным данным по различным высотным зонам Кыргызстана [81]. Обозначения см. в табл. 4.2.

Высота, км	Статистика						Значимость регрессии
	b_1	b_0	s	$S_{отн}, \%$	r	n	
≤ 1	0,8754	63,0	106	23	0,61	71	значима
1-1,5	1,1294	-54,7	132	31	0,67	67	значима
1,5-2,5	1,1758	-37,0	174	35	0,57	119	значима
$\geq 2,5$	1,4981	-140,7	165	33	0,68	42	значима

Из рис. 4.3. и табл.4.9 прежде всего видно, что для всех высотных зон – коэффициенты корреляций r спутниковых и наземных данных меняются незначительно от 0,57 до 0,68, что соответствует средней по силе связи [81].

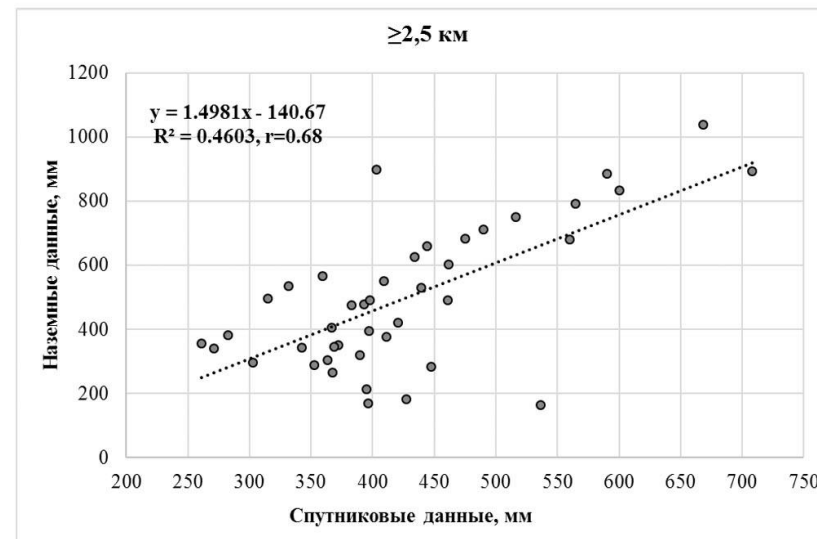
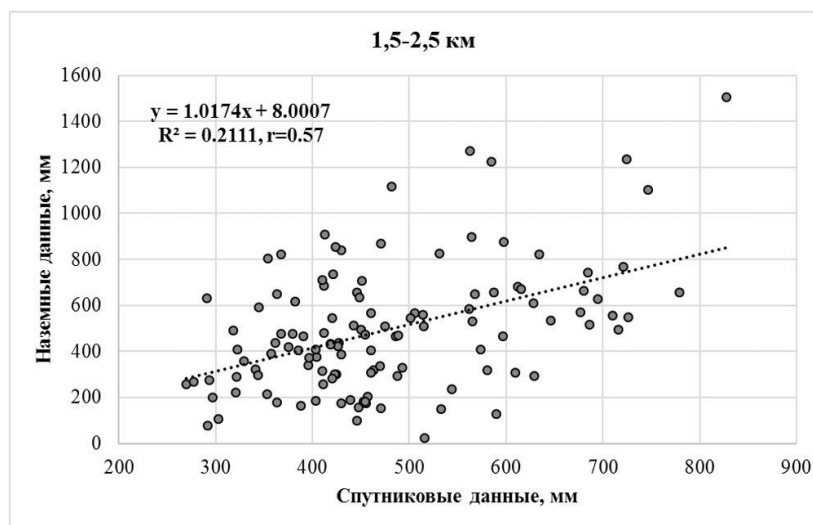
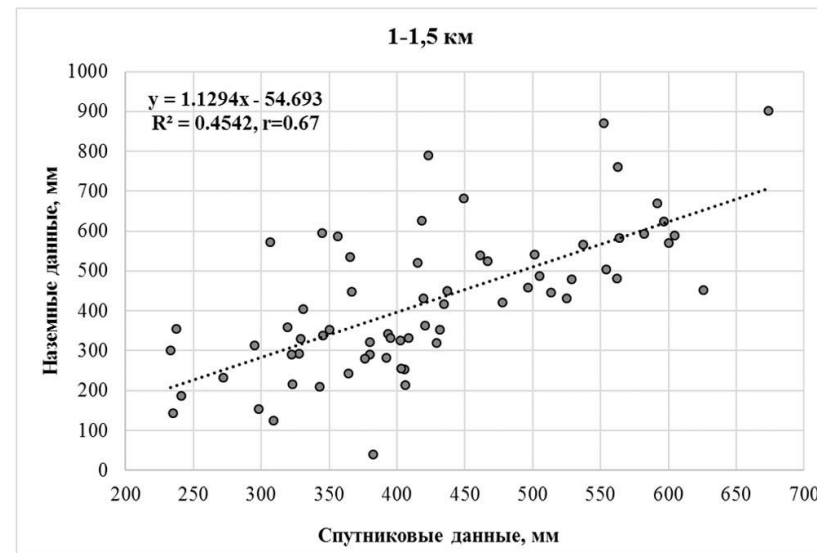
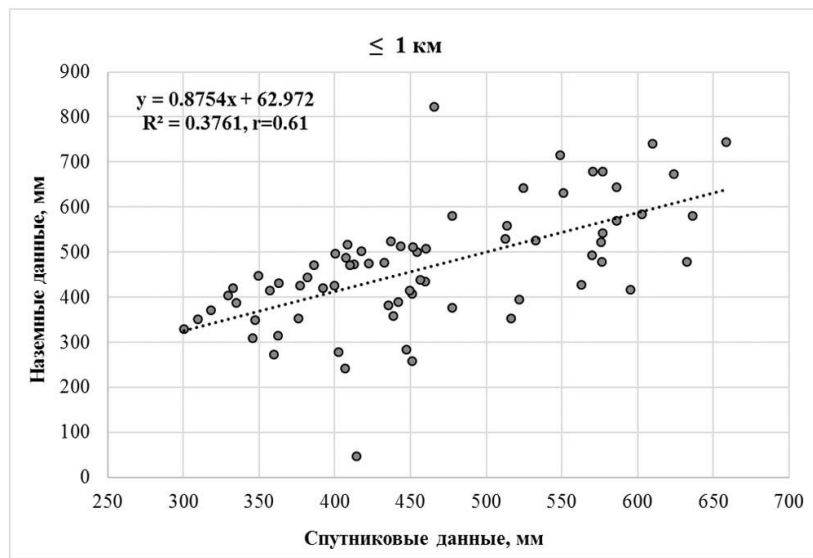


Рис. 4.3. Графики корреляционной зависимости годового количества осадков между спутниковыми и наземными данным для 35 метеостанций, по различным высотным зонам Кыргызстана за период 1998-2007 гг. [81]

Уравнения регрессий статистически значимы на уровне доверительной вероятности $p=0,95$. Ошибки регрессий по абсолютному значению меняются от 106 мм - на высоте менее 1 км, до 174 мм – на высоте 1,5-2,5 км, а в относительном виде, т.е. деленные на годовую норму осадков по этим высотным зонам, находятся в пределах от 23 до 35 % соответственно. Все это означает, что с позиций корреляционно-регрессионного анализа, для годовых сумм осадков по различным высотным зонам Кыргызстана статистическую связь спутниковых и наземных данных можно считать по качеству вполне удовлетворительной [81].

Покажем в табл. 4.10 число метеостанций Кыргызстана (из 35 использованных нами), расположенных в различных высотных зонах и соответствующих различной силе корреляционной связи между годовыми осадками, определяемыми по спутниковым и наземным данным.

Таблица 4.10 – Число метеостанций Кыргызстана (в скобках, в %), расположенных в различных высотных зонах и соответствующих различной силе корреляционной связи [81]

Высотная зона, км	Сила корреляционной связи				
	Очень слабая $r < 0,25$	Слабая $r = 0,25-0,5$	Средняя $r = 0,5-0,7$	Высокая $r = 0,7-0,9$	Очень высокая $r = 0,9-1,0$
≤ 1	0(0)	1(3)	2(6)	5(14)	0(0)
1-1,5	1 (3)	1 (3)	1 (3)	3 (9)	2 (6)
1,5-2,5	4 (11)	6 (17)	2 (6)	2 (6)	0 (0)
$\geq 2,5$	2 (6)	2 (6)	1 (3)	0 (0)	0 (0)
Сумма	7 (20)	10 (29)	6 (17)	10 (29)	2 (6)

Как видно, в целом для 80 % станций сила связи меняется от слабой (29 % станций), но достаточной для практического использования, до очень высокой (6 % станций). И лишь для 7 станций (20 %) наблюдается очень слабая сила связи. В высотной зоне менее 1 км, т.е. по долинным станциям, сила связи меняется от слабой (3 %) до высокой (14 %). На высотах 1-1,5 км по одной станции попадают в каждую градацию от очень слабой до средней. Три станции (Узген, Исфана и Токтогул) характеризуются высокой силой связи, и

две (Ош и Талас) имеют очень высокую силу связи, все они расположены в орографически открытых районах. Для высотной зоны, характеризующейся отметками в 1,5-2,5 км очень слабая и слабая сила связи наблюдается для 10 станций, 5 из них (Чолпон-Ата, Балыкчи, Балбай, Кызыл-Суу, Каракол) относятся к ИКК, где наблюдается повышенные погрешности в спутниковых измерениях, вызванные наличием резкой границе в типе подстилающей поверхности “зеркало озера – склоны гор”. Остальные 5 станций относятся к орографически закрытым горным районам: Чаек, Чаткал, Ит-Агар, Суусамыр, Ала-Арча. Станции высокогорного и нивального пояса, расположенные на высоте более 2,5 км, характеризуются силой связи от очень слабой (Тянь-Шань, Кара-Кужур) до средней (Тео-Ашуу) [81].

Полученные уравнения регрессий позволяют по найденным (заданным) по спутнику годовым суммам осадков делать приведение исходных спутниковых данных к наземным данным метеостанций [81] как это показано в табл. 4.11.

Таблица 4.11 – Результаты расчета по уравнениям регрессий (табл. 4.9) приведенных годовых сумм осадков (мм) по заданным спутниковым данным [81]

Спутниковые данные (заданы)	200	300	400	500	600	700	800	900
Приведенные для $z \leq 1$ км	238	326	413	501	588	676	763	851
Приведенные для $z \leq 1-1,5$ км	171	284	397	510	623	736	849	962
Приведенные для $z \leq 1,5-2,5$ км	198	316	433	551	669	786	904	1021
Приведенные для $z \geq 2,5$ км	159	309	459	608	758	908	1058	1208

Оказалось, что до высоты 1 км при значениях исходных спутниковых сумм осадков до 500 мм приведенные значения оказываются больше, в среднем на 12 %, затем практически совпадают с ними (в среднем ниже на 3 %) (см. табл. 4.11). Во всех трех зонах выше 1 км наблюдается обратная картина, приведенные значения ниже исходных при небольших суммах осадков (до 200-400 мм/год) и выше исходных при их более высоких суммах. При этом завышение приведенных данных исходными спутниковыми в среднем составляет 20 %, а занижение – 10 % [81].

Таким образом, можно сделать вывод, что для различных высотных зон Кыргызстана, а также по большинству станций (80 %), прослеживаются значимые статистические связи и зависимости между годовыми суммами осадков, полученными по спутниковым и наземным данным, что делает спутниковые данные по осадкам, пригодными для прикладного практического использования в различных его высотных зонах, за исключением ИКК.

Сезонные суммы осадков по Кыргызстану в целом. Перейдем теперь к рассмотрению статистических связей и зависимостей для сезонных сумм осадков по различным высотным зонам. В табл. 4.12 приведены полученные нами статистические параметры уравнений регрессии для сезонных сумм осадков по различным высотным зонам Кыргызстана [81].

Таблица 4.12 – Статистики корреляции и уравнений регрессии для сезонных сумм осадков по спутниковым и наземным данным в целом по Кыргызстану по различным высотным зонам [81] (обозначения см. в табл. 4.2)

Сезон	Высота, км	Статистика						Значимость регрессии
		b_1	b_0	s	$S_{отн}, \%$	r	n	
Зима	≤ 1	0,5936	33,9	34	32	0,51	72	значима (0,95)
	1-1,5	0,6100	25,0	52	53	0,41	76	значима (0,95)
	1,5-2,5	0,9538	-15,9	59	77	0,54	111	значима (0,95)
	$\geq 2,5$	0,9282	-11,1	33	55	0,74	42	значима (0,95)
Весна	≤ 1	1,0407	13,3	44	25	0,81	85	значима (0,95)
	1-1,5	1,0407	21,2	80	43	0,64	85	значима (0,95)
	1,5-2,5	0,8891	-3,5	94	61	0,58	124	значима (0,95)
	$\geq 2,5$	0,6633	53,4	55	38	0,58	48	значима (0,95)
Лето	≤ 1	0,9729	-2,6	33	46	0,74	79	значима (0,95)
	1-1,5	0,8597	35,2	50	58	0,54	85	значима (0,95)
	1,5-2,5	0,9185	34,0	51	38	0,59	124	значима (0,95)
	$\geq 2,5$	0,6891	105,0	81	43	0,41	47	значима (0,95)
Осень	≤ 1	0,9932	13,9	34	33	0,76	71	значима (0,95)
	1-1,5	0,9055	10,3	47	54	0,60	76	значима (0,95)
	1,5-2,5	0,9678	-0,03	61	62	0,52	111	значима (0,95)
	$\geq 2,5$	1,3460	-16,0	49	47	0,71	42	значима (0,95)

Как видно из табл. 4.12, в целом по Кыргызстану по всем высотным зонам регрессии оказались значимы для всех сезонов. При этом коэффициент корреляции меняется в пределах от 0,41 до 0,81, что соответствует степени коррелированности от слабой до сильной. Летом и зимой, когда осадков

выпадает мало коэффициент r меняется от 0,41 до 0,74, а весной и осенью, во время активации фронтальных процессов коэффициент меняется в пределах от 0,52 до 0,81. Для высотных зон распределение выглядит следующим образом. Для высот менее 1 км коэффициенты корреляции достигают своего наибольшего значения – в среднем по зоне r меняются от 0,51 до 0,81. Для высоты 1-1,5 и 1,5-2,5 км коэффициенты корреляции находятся в диапазоне 0,41 до 0,64, а на высотах более 2,5 км r меняется от 0,58 до 0,74 в зависимости от сезона. Относительные значения ошибки регрессии меняются в пределах от 25 % весной для высоты менее 1 км, до 77 % зимой для зоны 1,5-2,5 км [81].

Результаты приведения исходных спутниковых данных к наземным данным метеостанций для Кыргызстана в целом для различных сезонов и высотных зон показаны в табл. 4.13

Таблица 4.13 – Результаты расчета по уравнениям регрессии (табл.4.12) приведенных сезонных сумм осадков (мм) по заданным спутниковым данным и отношения данных λ = исходные спутниковые/приведенные по каждой высотной зоне [81]

Сезон	Высота, км	Спутниковые суммы, мм						λ						T_{un}
		25	50	100	150	200	300	25	50	100	150	200	300	
Зима	≤ 1		64	93	123	153			0,79	1,07	1,22	1,31		4
	1-1,5		55	86	116	147			0,90	1,16	1,29	1,36		4
	1,5-2,5	8	32	80	127	175		3,14	1,57	1,26	1,18	1,14		3
	$\geq 2,5$	12	35	82	128	175		0,48	0,71	0,82	0,85	0,87		2
Весна	≤ 1		65	117	169	221	326		0,77	0,85	0,89	0,90	0,92	2
	1-1,5		73	125	177	229	333		0,68	0,80	0,85	0,87	0,90	2
	1,5-2,5		41	85	130	174	263		1,22	1,17	1,16	1,15	1,14	3
	$\geq 2,5$		87	120	153	186	252		0,58	0,84	0,98	1,07	1,19	4
Лето	≤ 1	22	46	95	143	192		1,15	1,09	1,06	1,05			3
	1-1,5	57	78	121	164	207		0,44	0,64	0,83	0,91	0,97		2
	1,5-2,5	57	80	126	172	218		0,44	0,63	0,79	0,87	0,92		2
	$\geq 2,5$	122	139	174	208	243		0,20	0,36	0,57	0,72	0,82		2
Осень	≤ 1	39	64	113	163	213		0,64	0,79	0,88	0,92	0,94		2
	1-1,5	33	56	101	146	191		0,76	0,90	0,99	1,03	1,04		4
	1,5-2,5	24	48	97	145	194		1,03	1,03	1,03	1,03	1,03		1
	$\geq 2,5$	18	51	119	186	253		1,42	0,98	0,84	0,81	0,79		4

*Весной для зоны 1,5-2,5 км осадки могут достигать 450 мм по исходным значениям, а по приведенным соответственно на 14 % меньше.

Вид или характер расхождений приведенных и исходных сумм осадков, выраженных в их соотношении λ можно условно представить принятыми нами 4 типами (см. п.4.2), показанными в последнем столбце табл.4.13. Видно, что в большинстве случаев (44 %) наблюдается тип 2, при котором спутниковые данные чаще занижают фактические наземные [81]. Затем по повторяемости следует тип 4 (31 %), когда приведенные осадки ниже наземных на одном конце их наблюдаемого диапазона и выше на другом. Тип 3, когда приведенные осадки ниже исходных для всего диапазона данных, наблюдается в 19 % случаев. И только в одном случае из 16 (осень, зона 1,5-2,5 км), при котором спутниковые и наземные данные практически совпадают.

Таким образом, по абсолютному большинству станций, прослеживаются значимые статистические связи и зависимости между сезонными суммами осадков, полученными по спутниковым и наземным данным для различных высотных зон. Это означает, что в целом по территории Кыргызстана эти данные пригодны для прикладного практического использования [81].

Годовые и сезонные суммы осадков для различных климатических провинций. Рассмотрим для различных высотных зон параметры уравнений регрессий для годовых и сезонных сумм осадков для 4 климатических провинций Кыргызстана [81]. В табл. 4.14 приведены параметры для года.

Таблица 4.14 – Статистики корреляции и уравнений регрессий для годовых сумм осадков по спутниковым и наземным данным для ССЗК, ЮЗК, ИКК и ВТШ по различным высотным зонам [81] (обозначения см. в табл. 4.2)

Провинция	Высота, км	Статистика						Значимость регрессии
		b_1	b_0	s	S _{отн} , %	r	n	
ССЗК	≤1	0,8031	91,6	104	22	0,56	53	значима (0,95)
	1-1,5	1,2289	-132,7	92	20	0,78	18	значима (0,95)
	1,5-2,5	0,2950	389,4	78	14	0,37	18	не значима
	≥2,5	0,6294	480,7	99	12	0,55	9	не значима
ИКК	1,5-2,5	-0,1119	415,3	209	57	0,03	38	не значима
	≥2,5	-0,7287	873,6	157	29	0,29	9	не значима
ЮЗК	≤1	1,1004	-16,5	113	25	0,73	18	значима (0,95)
	1-1,5	1,2893	-92,0	154	37	0,66	40	значима (0,95)
	1,5-2,5	1,4276	47,7	244	32	0,61	27	значима (0,95)

	$\geq 2,5$	0,5676	47,7	85	22	0,34	9	не значима
ВТШ	1-1,5	0,9274	-20,0	52	13	0,89	9	значима (0,95)
	1,5-2,5	0,6803	57,8	177	47	0,44	36	значима (0,95)
	$\geq 2,5$	-0,6283	571,0	100	30	0,25	15	не значима

Как видно по отдельным климатическим провинциям, в 11 случаях из 13 (85 %) корреляционная связь для года оказалась в пределах градаций от слабой ($r=0,25-0,5$) до очень высокой ($r=0,9-1,0$). При этом градациям средняя, высокая и очень высокая ($r \geq 0,5$) соответствуют 7 случаев или 54 %. Высокая сила связи спутниковых и наземных данных, соответствующая $r \geq 0,7$, наблюдается в ССЗК и ВТШ в высотной зоне 1-1,5 км, где $r=0,78$ и $0,89$ соответственно, а также в ЮЗК, в высотной зоне менее 1 км, для которой $r=0,73$ [81].

Абсолютные значения средних квадратических ошибок (СКО) статистически значимых регрессий (табл. 4.14) находятся в диапазоне 52-244 мм в год, а их относительные значения в диапазоне 20-47 %, т.е. точность их уравнений качественно можно признать в пределах от «хорошей» до «удовлетворительной». Однако для 6 высотных зон из 13 регрессии оказались не значимы, сюда относятся высотные зоны выше 2,5 км по всем климатическим провинциям, и высотные зоны 1,5-2,5 км по ИКК и ССЗК [81].

В табл. 4.15 представлены параметры уравнений регрессии для сезонных сумм осадки по каждой провинции и по каждой высотной зоне.

Таблица 4.15 – Статистики корреляции и уравнений регрессии для сезонных сумм осадков по спутниковым и наземным данным для ССЗК, ЮЗК, ИКК и ВТШ по различным высотным зонам [81] (обозначения см. в табл. 4.2)

Сезон	Высота, км	Статистика					Значимость регрессии	
		b_1	b_0	s	$S_{отн}, \%$	r		n
ССЗК								
Зима	≤ 1	0,1372	79,3	28	29	0,15	53	не значима
	1-1,5	0,2295	58,3	31	38	0,17	18	не значима
	1,5-2,5	0,4417	26,2	18	22	0,55	18	значима (0,95)
	$\geq 2,5$	1,5777	-40,6	30	23	0,76	9	значима (0,95)
Весна	≤ 1	1,0055	17,2	40	22	0,83	59	значима (0,95)
	1-1,5	0,9989	5,9	57	31	0,75	20	значима (0,95)
	1,5-2,5	0,3255	130,9	46	23	0,47	20	значима (0,95)
	$\geq 2,5$	0,7163	82,7	38	17	0,81	10	значима (0,95)
	≤ 1	1,1345	-17,4	34	43	0,73	59	значима (0,95)

Лето	1-1,5	0,8373	4,3	25	30	0,82	20	значима (0,95)
	1,5-2,5	0,4771	103,4	36	22	0,44	20	значима (0,95)
	$\geq 2,5$	1,1435	157,6	72	25	0,45	10	не значима
Осень	≤ 1	1,0708	7,3	30	27	0,80	53	значима (0,95)
	1-1,5	1,1800	-19,7	27	26	0,86	18	значима (0,95)
	1,5-2,5	0,5384	43,12	41	36	0,44	18	значима (0,90)
	$\geq 2,5$	1,4189	2,2	61	32	0,63	9	значима (0,90)
ИКК								
Зима	1,5-2,5	-0,0585	45,9	30	72	0,05	39	не значима
	$\geq 2,5$	0,4339	16,8	14	32	0,56	9	не значима
Весна	1,5-2,5	-0,17286	119,4	57	60	0,10	44	не значима
	$\geq 2,5$	-0,02335	153,9	58	38	0,01	10	не значима
Лето	1,5-2,5	0,7708	52,2	62	45	0,32	44	значима
	$\geq 2,5$	-0,3180	283,3	81	36	0,12	10	значима (0,90)
Осень	1,5-2,5	0,8125	24,1	71	74	0,30	39	значима (0,90)
	$\geq 2,5$	-0,0854	133,4	37	29	0,06	10	не значима
ЮЗК								
Зима	≤ 1	1,2315	-24,3	18	14	0,94	18	значима (0,95)
	1-1,5	0,5549	35,7	62	57	0,35	49	значима (0,95)
	1,5-2,5	0,4571	136,5	84	42	0,25	18	не значима
	$\geq 2,5$	0,6356	9,9	20	26	0,80	9	значима (0,95)
Весна	≤ 1	1,0572	3,6	55	33	0,76	20	значима (0,95)
	1-1,5	1,2033	17,4	85	43	0,68	55	значима (0,95)
	1,5-2,5	1,4116	-18,9	125	43	0,74	20	значима (0,95)
	$\geq 2,5$	0,5586	73,8	19	14	0,80	10	значима (0,95)
Лето	≤ 1	0,6562	15,7	24	51	0,70	20	значима (0,95)
	1-1,5	1,5408	15,6	50	60	0,62	55	значима (0,95)
	1,5-2,5	1,7309	5,09	50	42	0,77	20	значима (0,95)
	$\geq 2,5$	0,8235	77,9	47	41	0,40	10	не значима
Осень	≤ 1	0,8232	25,1	45	51	0,65	18	значима (0,95)
	1-1,5	0,8583	19,8	53	62	0,52	49	значима (0,95)
	1,5-2,5	1,7287	-45,2	50	32	0,80	18	значима (0,95)
	$\geq 2,5$	0,3065	42,7	34	55	0,29	9	не значима
ВТШ								
Зима	1-1,5	1,2287	-45,8	18	22	0,89	9	значима (0,95)
	1,5-2,5	0,4873	10,3	31	57	0,52	36	значима (0,95)
	$\geq 2,5$	0,0059	18,4	9	48	0,02	15	не значима
Весна	1-1,5	0,84492	-12,7	21	16	0,92	10	значима (0,95)
	1,5-2,5	0,4708	39,1	70	56	0,46	40	значима (0,95)
	$\geq 2,5$	-0,2564	126,6	36	38	0,28	18	не значима
Лето	1-1,5	1,5004	-3,4	38	36	0,81	10	значима (0,95)
	1,5-2,5	0,9848	31,6	57	45	0,44	40	значима (0,95)
	$\geq 2,5$	1,3070	-25,9	35	23	0,77	17	значима (0,95)
Осень	1-1,5	0,8310	-12,4	32	58	0,69	9	значима (0,95)
	1,5-2,5	0,7613	-7,4	43	68	0,58	36	значима (0,95)
	$\geq 2,5$	1,5882	-70,4	35	54	0,90	15	значима (0,95)

Как видно, коэффициенты корреляции r по климатическим провинциям, сезонам года и высотным зонам меняются в широких пределах. Так, по провинциям пределы их изменений составляют: ССЗК $r = 0,15-0,86$ (в среднем $r=0,51$), ИКК $r = 0,01-0,56$ (в среднем $r=0,29$), ЮЗК $r = 0,25-0,94$ (в среднем $r=0,60$) и ВТШ $r = 0,02-0,92$ (в среднем $r=0,61$). При этом очень слабая корреляционная связь ($r < 0,25$) имела место только в 8 случаях из 56 или в 14 %. Это, как и следовало ожидать, в основном наблюдалось в ИКК, где таких случаев было 5 из общих 8 для котловины: зима $z=1,5-2,5$ км, весна $z=1,5-2,5$ км и $z \geq 2,5$ км, лето $z \geq 2,5$ км и осень $z \geq 2,5$ км. Здесь практически приемлемая корреляционная связь, в пределах от слабой до средней ($r=0,25-0,70$), наблюдалась только в трех случаях: зима $z \geq 2,5$ км ($r=0,56$), лето $z=1,5-2,5$ км ($r=0,32$) и осень $z=1,5-2,5$ км ($r=0,30$). Кроме того, в одном случае из 16 связь оказалась очень слабой для ВТШ (зима, $z \geq 2,5$ км) и в двух случаях для ССЗК (зима, $z \leq 1$ км и $z=1-1,5$ км).

Регрессии оказались не значимыми в 17 случаях из 52, то есть в 32 %. Причем по ИКК в 7 случаях из 8 они не значимы на уровне доверительной вероятности $p=0,95$, и в 5 случаях на уровне $p=0,90$. Такой результат в очередной раз свидетельствует о том, что спутниковые данные плохо отражают реальную картину пространственно-временного распределения осадков в этой климатической провинции. Лишь летом, когда выпадают значительные конвективные осадки, регрессия становится значимой. В ССЗК не значимой регрессии оказались лишь зимой для высот менее 1,5 км, а также летом для высоты более 2,5 км [81]. Для осени с высоты более 1,5 км регрессии не значимы на уровне доверительной вероятности $p=0,95$, но значимы при $p=0,90$. В ЮЗК только в трёх случаях из 16 регрессии оказались не значимы: зимой для высот 1,5-2,5 км, а также летом и осенью для высот более 2,5 км. Во ВТШ регрессии незначимы для высоты более 2,5 км зимой и весной. Относительные ошибки регрессий $S_{отн}$ для ССЗК в среднем составляют 28 %, а по остальным провинциям их средние значения меняются незначительно, от 42 до 48 %. В целом, можно сделать следующий вывод: в 2/3 случаев (68 %) регрессии

оказались значимыми и, чаще всего, очень хорошая согласованность данных наблюдается в средних высотных поясах весной и осенью во всех провинциях, за исключением ИКК [81].

Таким образом, результаты корреляционно-регрессионного анализа в большинстве случаев дают положительный ответ о возможности прикладного использования расчетных данных по годовым и сезонным суммам осадков [81], получаемых с помощью спутниковой модели ТМРА-3В43, в каждой высотной зоне Кыргызстана, используя значимые уравнения регрессий. При этом для практического применения необходим их тщательный подбор для каждой высотной зоны определенной климатической провинции. Исключение представляет ИКК, где, скорее всего, наблюдается искажение отраженного электромагнитного сигнала за счет наличия резкой границы в подстилающей поверхности «зеркало озера-склоны хребтов» и поэтому наблюдается самая низкая корреляционная связь данных [81]. В этой провинции большинство уравнений регрессии оказались статистически не значимыми, поэтому для приведения спутниковых данных по ИКК необходимо будет использовать другие математически обоснованные решения корректировки данных.

4.4. Карты приведенных спутниковых значений годовых и сезонных сумм осадков для территории Кыргызстана за период 1998 - 2014 гг.

После получения системы значимых регрессий для территории Кыргызстана и отдельных его климатических провинций (п.4.1-4.3) возникла естественная необходимость разработки на их основе процедуры расчета для него приведенных сумм осадков, а также построения соответствующих спутниковых карт [79]. Настоящий пункт посвящен разработке такой технологии на основе применения современных ГИС-программ. Изначально были произведены расчеты и построены карты для одного года с марта 2014 по февраль 2015г, после проверки достоверности полученных результатов был использован весь 16-летний период 01.1998-02.2014 гг., когда непрерывно работала 6-версия мульти спутниковой программы ТМРА, после чего она была заменена на эволюционную версию 7. Заметим сразу, что нами была проведена специальная оценка близости результатов, получаемым по обеим версиям за период 1988-2017 гг. [59], которая показала их высокую преемственность.

Надо специально подчеркнуть, что за этот период 1998-2014 гг. 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.

Для получения приведенных сумм осадков для года и его сезонов по Кыргызстану в целом и каждой из 4 его климатических провинций (с последующим построением карт осадков) выполним следующие необходимые расчетные и технические процедуры [79].

1. Получим *исходные месячные* спутниковые данные [43] за этот период и создадим из них 4 массива пикселей (из общего массива в 351 пиксель для Кыргызстана в целом), соответствующих каждой из его провинций: ССЗК – 44, ЮЗК – 123, ИКК – 40 и ВТШ – 144 пикселей.

2. Рассчитаем по месячным суммам для каждого пикселя этих массивов *исходные годовые и сезонные* суммы осадков по спутнику.

3. Для того, чтобы выбрать спутниковые точки по каждой из климатической провинции при помощи ГИС системы QGIS зададим границы климатических провинций (см. рис. П. 1.4.) и присвоим им имя климатической провинции, что технически значительно ускорит процесс расчета приведенных сумм осадков.

4. Рассчитаем по показанным в табл. 4.2 и 4.5 статистически значимым уравнениям регрессий *приведенные годовые и сезонные* суммы осадков по каждому пикселю для отдельных климатических провинций. При этом для ИКК, где степень коррелированности оказалась низкой или даже отсутствует, используем два варианта расчета *приведенных сумм*: 1) по статистически значимым уравнениям регрессий, полученных для Кыргызстана в целом, 2) в крайней западной части *по значениям корректирующих спутниковые осадки коэффициентов* $k_{корр.}$ = сумма по наземным данным / сумма по спутнику. Для ВТШ (где степень коррелированности наземных и спутниковых данных в целом оказалась более низкой, чем для ССЗК и ЮЗК) также используем два варианта расчета *приведенных сумм*: 1) *до высоты 4 км* по статистически значимым для ВТШ уравнениям регрессий; 2) *для зоны выше 4 км* по статистически значимым уравнениям регрессии для всего Кыргызстана.

5. Используя полученные, таким образом, приведенные годовые и сезонные суммы осадков для каждого из массивов пикселей получим для Кыргызстана: а) средние для периода 01.1998-02.2014 гг. *приведенные значения сумм осадков* за год и сезоны, как интегральные характеристики увлажнения, б) с помощью программ SAGA и QGIS [78] построим 5 карт *приведенных годовых* (одна карта) *и сезонных сумм осадков* (4 карты).

Отметим, что по описанной выше схеме можно получить карты приведенных сумм осадков за любой отдельный год (или заданный период лет), используя в качестве исходных данных спутниковые значения осадков модели

ТМРА-3В43. При этом деление на отдельные климатические регионы существенно повышает точность финального продукта, это объясняется тем, что их границами являются водораздельные хребты, отделяющие различные по своим физико-климатическим характеристикам климатические провинции Кыргызстана.

Полученные нами приведенные значения интегральных сумм осадков (прив.), а также их исходные спутниковые значения (исх.) по Кыргызстану за год и сезоны для периода 01.1998-02.2014 гг. даны в табл. 4.15, а построенные карты осадков показаны на рис. 4.4 и 4.6. В табл. 4.15 даны не только средние значения сумм, но и их максимальные и минимальные величины. Эти характеристики являются интегральными показателями увлажнения Кыргызстана в исследуемый 16-летний период. Одновременно они дают не только пределы изменения полученных характеристик, но и степень их расхождения с исходными спутниковыми данными. Последнее показывает - насколько эффективными оказались разработанные методические решения по приведению спутниковых данных к наземным данным метеостанций, принятым за эталон [79].

Таблица 4.15 – Статистические характеристики годовых и сезонных сумм осадков по исходным и приведенным данным для Кыргызстана в целом и ССЗК, ЮЗК, ИКК и ВТШ за период 01.1998-02.2014 гг. Обозначения: среднее – \bar{R} , максимальное – R_{\max} и минимальное – R_{\min} количество осадков [79]

Год/ сезон	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	Исх.	Прив.	Исх.	Прив.	Исх.	Прив.	Исх.	Прив.	Исх.	Прив.
Вид данных	Кыргызстан									
\bar{R} , мм	467	495	83	69	164	170	123	164	96	101
R_{\max} , мм	920	1312	305	251	339	322	261	334	196	226
R_{\min} , мм	281	136	20	8	64	33	31	62	49	18
	ССЗК									
\bar{R} , мм	533	549	97	89	190	198	128	155	118	127
$\Delta(\bar{R})$, мм	742	741	172	106	280	268	200	249	173	183
R_{\max} , мм	414	441	58	80	139	158	64	72	78	88

$R_{\min}, мм$	533	549	97	89	190	198	128	155	118	127
ИКК										
$\bar{R}, мм$	485	486	62	49	144	143	169	196	109	110
$R_{\max}, мм$	602	629	87	71	198	198	214	247	149	153
$R_{\min}, мм$	357	136	36	8	103	33	136	106	64	18
ЮЗК										
$\bar{R}, мм$	471	593	114	116	182	151	84	132	91	107
$R_{\max}, мм$	920	1312	305	262	339	219	166	243	196	223
$R_{\min}, мм$	289	303	61	76	103	117	31	62	49	60
ВТШ										
$\bar{R}, мм$	439	398	58	40	147	122	143	185	91	76
$R_{\max}, мм$	823	827	160	96	303	199	261	288	178	203
$R_{\min}, мм$	281	261	20	12	64	74	98	124	58	42

Как видно из табл. 4.15, в среднем в году для территории Кыргызстана приведенные среднегодовые суммы составляют 495 мм, а по исходным данным они равны 467 мм, то есть всего на 6 % меньше (здесь и далее указывается процент от исходных данных). Однако 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 составляет около ± 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 %. По приведенным данным максимальные сезонные суммы оказались меньше исходных для зимы и весны и больше для лета и осени, тогда как минимальные суммы больше лишь для лета [79].

Рассмотрим кратко интегральные статистические характеристики до и после приведения по различным климатическим провинциям.

Приведенные средние годовые суммы осадков по всем климатическим провинциям кроме ВТШ оказались больше исходных данных, при этом

наибольшая разница отмечается в ЮЗК – 26 % и в ВТШ – 9 %. Максимальные значения среднегодовые суммы осадков существенно изменились лишь для ЮЗК, где они стали больше на 43 % (1312 мм). Минимальные же среднегодовые значения по приведенным данным существенно уменьшились для ИКК – на 62 % [79].

Средние сезонные суммы осадков для лета и осени для ССЗК, ИКК и ЮЗК по приведенным данным больше исходных, тогда как зимой по этим провинциям, а также для ЮЗК весной и для ВТШ зимой, весной и осенью наблюдается обратная картина. При этом наибольшая разница между исходными и приведенными данными соответствует летнему сезону, наименьшие расхождения наблюдаются весной [79].

На рис. 4.4 показана полученная нами карта приведенных годовых сумм Кыргызстана, построенная за 16-летний современный период: январь 1998 - февраль 2014. Для сравнения на рис. 4.5, показана аналогичная карта для этого периода, но полученная непосредственно по исходным спутниковым данным без их приведения к показаниям наземных метеостанций по нашей методике.

Как видно из рис. 4.4, карта приведенных годовых сумм осадков за период 01.1998-02.2014 гг. в целом и качественно, и количественно хорошо отражает полученную ранее в работах [5, 37, 74] картину многолетнего распределения осадков по Кыргызстану. На ней четко отражены области наиболее высоких значений осадков, соответствующие склонам Ферганского и Угамского хребтов, повышенные суммы осадков в гребневой зоне северных передовых хребтов Тянь-Шаня, а также в высокогорных областях Внутреннего Тянь-Шаня - массивах Ак-Шийрак, Хан-Тенгри и др. Одновременно на ней хорошо отражена область наиболее их низких значений в западной части ИКК. При ее сравнении картой на рис. 4.5 очень хорошо видна получаемая глубокая коррекция исходных спутниковых данных от применения нашей методики при их приведении к наземным данным [79].

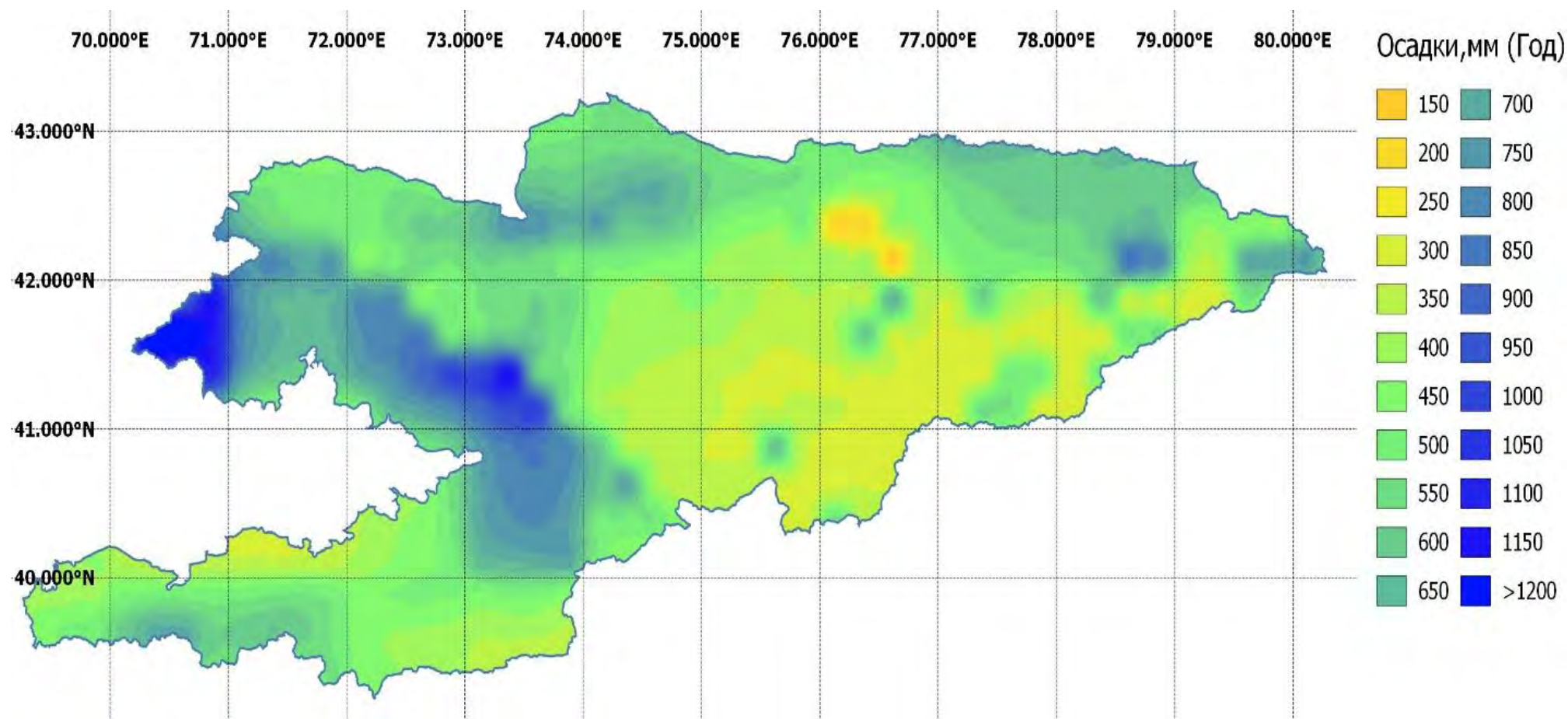


Рис. 4.4. Карта среднегодовых сумм осадков за период январь 1998 - февраль 2014 гг. после приведения исходных спутниковых данных к показаниям наземных осадкомеров, по полученным уравнениям регрессий (для крайней западной части ИКК применен $k_{\text{корр}}$, а для зоны выше 4 км во ВТШ - уравнение регрессии по Кыргызстану для высот $>2,5$ км) [79]

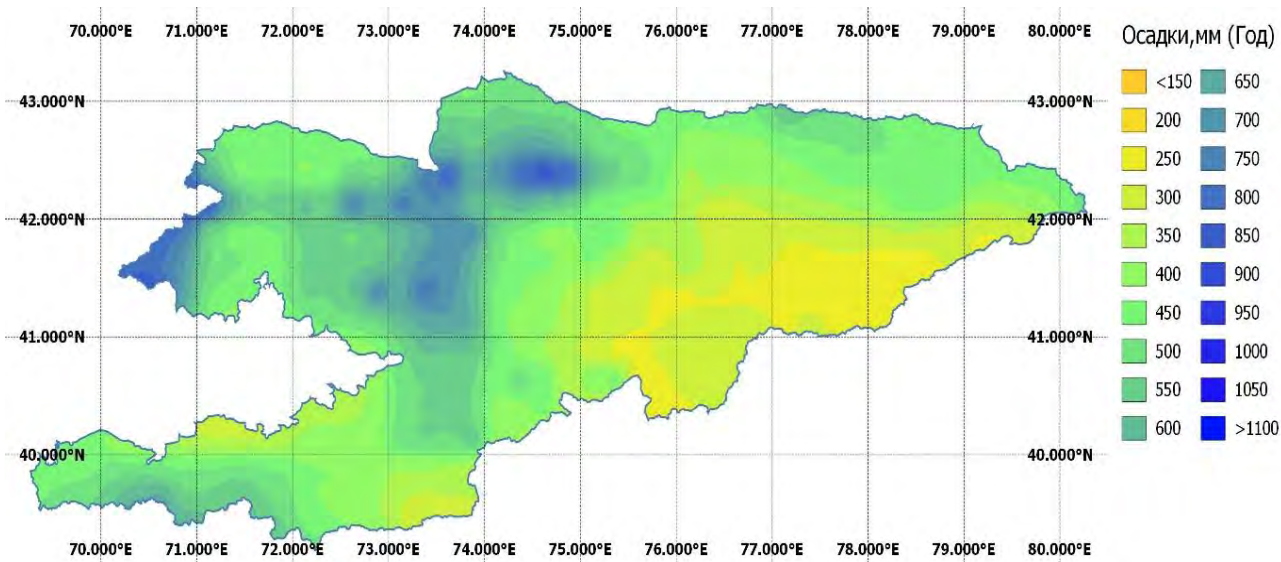


Рис. 4.5. Карта годовых сумм осадков за период январь 1998 - февраль 2014 гг., построенная по исходным спутниковым данным без приведения [79]

Численно картина годового распределения осадков по территории Кыргызстана за 16-летний период 1998-2014 гг. по этой карте выглядит следующим образом.

В ССЗК приведенные значения годовых осадков растут от подгорной равнины и подножий, где они составили 400-600 мм к высокогорной и нивальным зонам до 800-1000 мм. Это хорошо согласуется со средним распределением осадков, отраженным на картах П.Н. Пономаренко [5, 74] и В.А. Кузьмиченка [37]. Так, по первой из карт [5] осадки в этих зонах меняются в диапазоне 350-1050 мм, а по второй – в диапазоне 300-1200 мм [79].

В связи с тем, что по ИКК получились незначимые уравнения регрессии, заменим их общими регрессиями для всего Кыргызстана (уравнение (4.1) и табл. 4.5) Для того, чтобы получить более реалистичную картину распределения осадков в крайней западной части ИКК после дополнительного анализа нами был выбран расчетный вариант 2 (см. позицию 4 в начале пункта) и рассчитан корректирующий спутниковые осадки коэффициент $k_{\text{корр}}$. По исходному массиву данных за 1998-2007 гг. $k_{\text{корр}}$ здесь оказался равен 0,38. Для остальной части ИКК использовались приведенные по уравнениям регрессии суммы осадков. После подобного приведения была получена следующая картина. Приведенные значения годовых осадков в ИКК увеличились при

смещении с запада на восток в днище котловины округленно от 140 до 500 мм. Одновременно они возросли от подножий к гребневой зоне окружающих хребтов до 700 мм. Карта годовых осадков П.Н. Пономаренко (рис. 2.6) дает здесь их увеличение к гребневым зонам хребтов до 600-800 мм, а карта Кузьмиченка (см. рис. 2.7) даже до 1000-1200 мм. Так, что наши данные в целом находятся в согласии с полученными в этих работах [79].

Но надо специально отметить, что решение вопроса об осадках в высокогорной зоне ИКК до сих пор имеет большую неопределенность, ввиду практического отсутствия метеостанций в среднегорной и высокогорной зонах. На наш взгляд, полученная нами оценка около 600 мм осадков в гребневой зоне западной части котловины, более соответствует реальным условиям, так как здесь на склонах нет зоны леса (что объясняется только недостаточностью увлажнения), тогда как на склонах средней и особенно восточной части котловины хвойные леса представлены весьма хорошо [79].

Для ЮЗК приведенные среднегодовые осадки в пределах предгорной зоне составили на нашей карте 200-500 мм и увеличиваются до максимальных значений в гребневой зоне по склонам окружающих хребтов в зависимости от их ориентации. Так, на крайнем северо-западе ЮЗК на передовом субмеридианальном Угамском хребте-барьере они возрастают в гребневой зоне до 1300 мм. На Ферганском хребте-барьере, обрамляющем провинцию ЮЗК с востока, они также возросли до 1300 мм. На южных Туркестанском и Алайском хребтах, которые более высокие, но ориентированы касательно к влагонесущим потокам, увеличение осадков также значительно, до 850 мм, хотя и несколько меньше, чем на хребтах западного и восточного горного обрамления Ферганы. Видно, что отражены и небольшие суммы осадков в замкнутой Алайской долине (250-400 мм), что хорошо соответствует климатическим данным. Все это хорошо согласуется с работами [5, 37]. Так, согласно карте П.Н. Пономаренко, на склонах хребтов северного и восточного горного обрамления Ферганы многолетние значения годовых осадков находятся в диапазоне 300-1200 мм, а на хребтах южного обрамления в диапазоне 250-800 мм. По карте

В.А. Кузьмиченка многолетние значения годовых осадков по склонам хребтов возрастают в пределах от 200 до 1400 мм [79].

Перед анализом карты осадков, полученной для ВТШ, сначала рассмотрим принятые нами особенности ее построения для *высокогорной зоны склонов* для высот более 3,5-4 км. Дело в том, что в зоне 2,5-3,6 км, где имеются метеостанции, все они расположены в долинах и котловинах, и не отражают распределение осадков на открытых склонах, о чем говорилось уже не однократно. Ясно, что полученные уравнения регрессий, показывают связь спутниковых и наземных данных именно для условий расположения станций, до высот 4 км, а не для открытых и более высоких склонов. Так, например, во ВТШ среднегодовые суммы осадков, приведенные по уравнениям регрессий, увеличивались с высотой по склонам хребтов от 250-350 мм в среднегорных и высокогорных котловинах до 600 мм в гребневой зоне хребтов. Это несколько меньше, чем по средним многолетним данным на карте П.Н. Пономаренко (максимум до 900 мм) и особенно В.А. Кузьмиченка (максимум до 1000-1200 мм). Возможно, что такие погрешности спутниковых данных могут быть объяснены здесь крайне неоднородной орографией и наличием резкой границы в подстилающей поверхности – «склоны, покрытые снегом и льдом – склоны без снежного покрова», влияющими на спутниковый сигнал. Можно надеяться, что в ближайшем будущем в спутниковых моделях решение по осадкам, получаемое для высокогорной зоны ВТШ, удастся уточнить [79].

Однако на настоящем этапе исследований надо было принять практическое решение, уточняющее прямые расчеты, получаемые по уравнениям регрессий. В качестве такого уточняющего решения было принято следующее: а) для высот 4 км и более использовано статистически значимое уравнение регрессии для всего Кыргызстана, полученное для высотной зоны более 2,5 км (табл. 4.9), б) в результаты расчетов, получаемых по этому уравнению, была дополнительно введена средняя квадратическая ошибка регрессии со знаком плюс, равная 165 мм [79].

Последняя процедура соответствует общим правилам математической статистики, когда требуется повысить надежность результатов расчетов при их практическом использовании. Климатически же это верно потому, что с высотой осадки увеличиваются, а используемая регрессия получена по данным метеостанций, находящихся и на меньших высотах. В результате, используем во ВТШ для высотной зоны более 4 км следующее уравнение [79]:

$$R_{\text{прив.}}(\text{мм}) = 1,4981 * R_{\text{сп.}}(\text{мм}) - 140,7 + 165, \quad (4.2)$$

где через $R_{\text{прив.}}(\text{мм})$ и $R_{\text{сп.}}(\text{мм})$ обозначены соответственно приведенные к данным наземных осадкомеров и исходные спутниковые значения годовых сумм осадков в мм, а последнее слагаемое $s = +165$ мм есть средняя квадратическая ошибка регрессии (4.2)

После подобного уточненного приведения, на наш взгляд, существенно улучшилось поле осадков для ВТШ для высот более 4 км, которое по площади занимает около 10,8 % от провинции, однако является очень важной с климатической точки зрения территорией массивного оледенения. Так, в восточной части Внутреннего Тянь-Шаня на горных массивах Ак-Шийрак, Хан-Тенгри и Кок-Шаал осадки после такого приведения уже находятся в диапазоне 500-850 мм/год (до приведения лишь 250-450 мм/год). Полученное пространственное и количественное распределение осадков хорошо соответствует картам Пономаренко П.Н. (см. рис. 2.5) а также обширной зоне оледенения, которая здесь расположена [49].

В целом для приведенных годовых сумм осадков можно сделать следующий вывод: для ССЗК и ЮЗК, климатических провинций, включающих наветренные периферийные хребты, распределение приведенных спутниковых и фактических наземных данных, имеет высокую степень согласования. В ИКК и ВТШ при использовании лишь полученных уравнений регрессий данные для некоторых районов согласуются несколько хуже, но после применения дополнительных корректирующих коэффициентов и высотных уравнений для таких районов были получены достоверные карты, хорошо соответствующие ранее полученным картам других авторов [5, 37, 74].

В заключение п. 4.4 приведем 4 карты построенных нами приведенных спутниковых значений сезонных сумм осадков в Кыргызстане для периода 01.1998-02.2014 гг. (рис. 4.6).

Как видно, эти сезонные карты достаточно хорошо отражают те же основные закономерности в территориальном распределении осадков по Кыргызстану, что и подробно проанализированная годовая карта. Распределение осадков по сезонам зависит как от сезонных особенностей циркуляции воздушных масс, так и от влияния орографии местности [79].

По сезонам (рис. 4.6) полученная картина распределения осадков Кыргызстана выглядит следующим образом: зимой осадков выпадает мало от менее 20 мм во ВТШ до 300 мм в крайней западной части республики.

Весной и осенью, в связи со сменой синоптических процессов и активизацией фронтальных систем, осадков выпадает значительно больше, особенно хорошо увлажненными оказываются передовые горные хребты – здесь суммы осадков за сезон достигают 350 мм, тогда как внутренние горные области Кыргызстана (ИКК, ВТШ) получают меньше количества осадков – от 40 до 200 мм. Летом осадков выпадает также довольно много (до 350 мм), чаще уже за счет локальных конвективных процессов, однако зоны увлажнения пространственно несколько смещаются по сравнению с другими сезонами [79].

Так, отчетливо видно, что во ВТШ, пик осадков приходится на летний сезон, в связи с обостряющимся днем холодными фронтами второго рода, интенсивной конвективной деятельностью в горах, а также из-за более высокого уровня конденсации в это время года. Эта закономерность также хорошо отражается на полученных нами картах. Осадки достигают своих максимальных значений для этой провинции летом – порядка 290 мм, особенно велики суммы осадков в крайней восточной части провинции, характеризующейся наличием обширной зоны оледенения (Ак-Шийрак и районы пика Хан-Тенгри). При этом долинные части ЮЗК и СЗК получают летом очень низкие суммы осадков (140 мм и менее) [79].

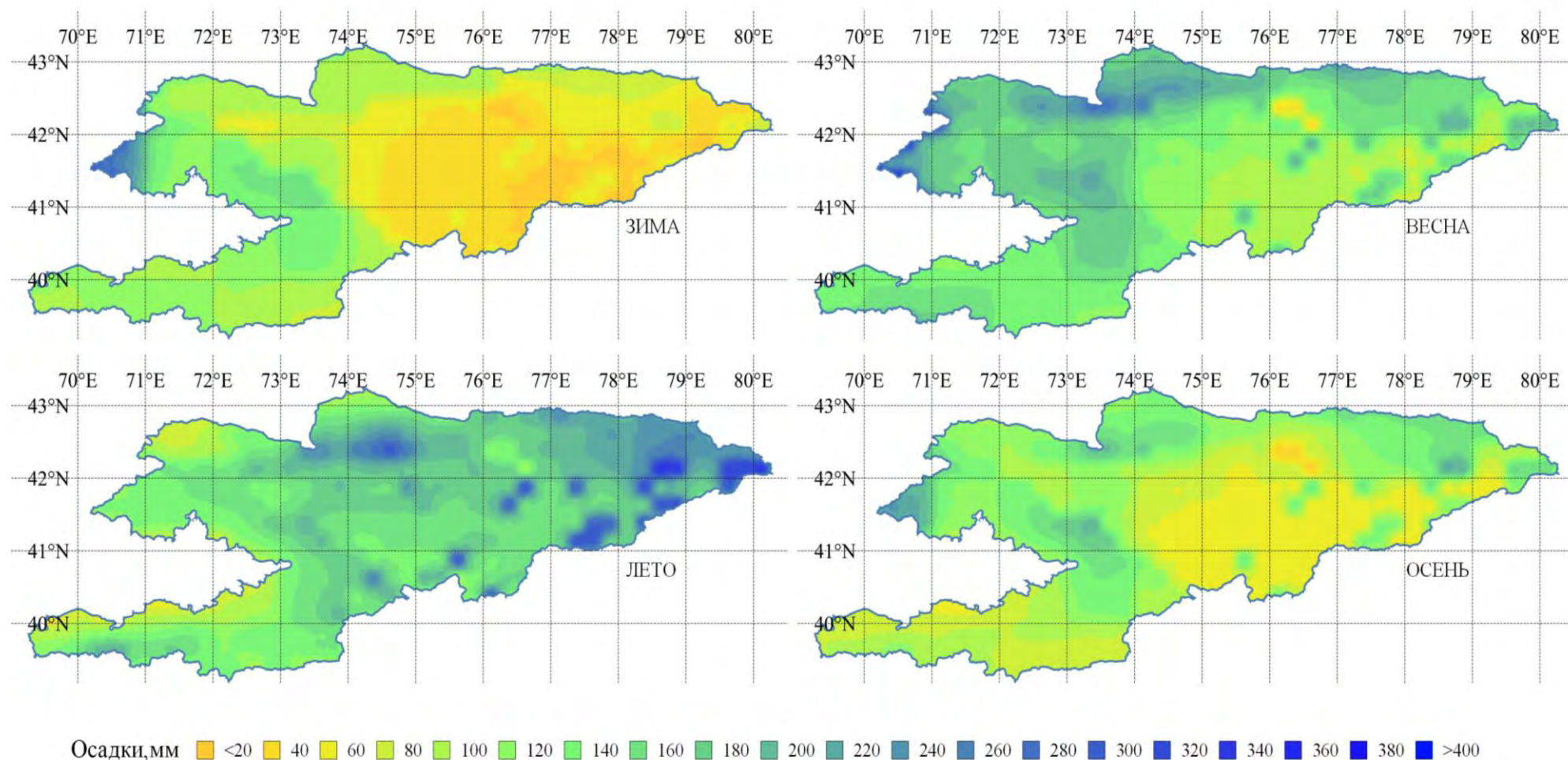


Рис. 4.6. Карты средних за сезон сумм осадков за период январь 1998 - февраль 2014 гг. после приведения исходных спутниковых данных [43] к данным наземным осадкомерам, по полученным уравнениям регрессии для отдельных климатических провинций Кыргызстана [79]

Все приведенные сезонные карты осадков имеют хорошее согласование с многолетними климатическими данными. На них корректно отражены сезонные пики и минимумы осадков по всем климатическим провинциям Кыргызстана [79].

Таким образом, построенные нами в качестве демонстрации возможных практических результатов диссертационной работы карты приведенных спутниковых значений годовых и сезонных осадков по территории Кыргызстана за период 01.1998-02.2014 гг. достаточно хорошо согласуются с полученными ранее картами по многолетним наземным данным метеостанций. Эти карты обладают хорошей детализацией и соответствуют современному периоду. Это означает, что предлагаемые в работе научные и методические подходы по использованию спутниковых сумм осадков уже в настоящее время могут эффективно использоваться на практике для решения различных задач прикладной климатологии Кыргызстана.

Таким образом в заключении главы 4 можно отметить следующее:

1. Полученные статистически значимые связи и зависимости позволяют успешно приводить спутниковые значения осадков к показаниям наземных осадкомеров, что открывает путь к широкому использованию спутниковых данных по осадкам в горных районах Кыргызстана.

2. Корреляционная связь спутниковых и наземных данных по осадкам для всех 35 МС Кыргызстана имеет линейный характер и характеризуется коэффициентом корреляции $r = 0,54$, т.е. соответствует средней силе корреляционной связи [80]. Полученное уравнение регрессии статистически значимо на уровне доверительной вероятности $p=0,95$.

3. Для ССЗК, ЮЗК и ВТШ – коэффициенты корреляции r спутниковых и наземных годовых сумм осадков соответственно равны 0,59, 0,71 и 0,44, что эквивалентно средней по силе связи, при этом уравнения регрессий также статистически значимы на уровне доверительной вероятности $p=0,95$. Только для ИКК корреляционная связь спутниковых и наземных значений годовых осадков отсутствует ($r = 0,04$), что объясняется влиянием

неоднородности подстилающей поверхности «зеркало озера - окружающие склоны гор» [72], а в западной части котловины также крайне малыми значениями осадков.

4. В целом по Кыргызстану сила корреляционной связи спутниковых и наземных данных соответствует значениям r от 0,56 (зима) до 0,62 (лето), при этом регрессии оказались значимыми для всех сезонов на уровне доверительной вероятности $p = 0,95$.

5. По отдельным климатическим провинциям, в 13 случаях из 16 (81 %) корреляционная связь оказалась в пределах градаций от слабой ($r = 0,25-0,5$) до очень высокой ($r=0,9-1,0$). Для этих 13 случаев полученные уравнения статистически значимы и пригодны для прикладного практического использования.

6. Можно предполагать, что количество обложных осадков, имеющих фронтальный характер, по спутниковым данным чаще всего оказывается завышенным, в то время как конвективные осадки (фронтальные и местные) занижаются спутниковой моделью TMPA [80]. Так, для большинства метеостанций была выявлена следующая закономерность: зимой спутник переоценивает фактические суммы осадков, летом недооценивает, весной же и осенью наблюдается более хорошее согласование данных.

7. Для всех высотных зон Кыргызстана (до 1 км и 1-1,5, 1,5-2,5, $\geq 2,5$ км) – коэффициенты корреляций r спутниковых и наземных данных меняются в пределах от 0,57 до 0,68, что соответствует средней по силе связи, а уравнения регрессий статистически значимы на уровне доверительной вероятности $p=0,95$ [81]. Наиболее высокая согласованность данных чаще всего наблюдается в средних высотных поясах для весны и осени во всех провинциях, за исключением ИКК.

8. Приведенные значения годовых и сезонных сумм осадков качественно и количественно хорошо соответствуют полученным ранее различными авторами многолетним климатическим данным. Ими корректно

отражены сезонные пики и минимумы осадков по всем климатическим провинциям Кыргызстана и их высотным зонам.

9. Оценки сезонных сумм осадков по приведенным нами спутниковым данным были впервые получены для территории Кыргызстана. Ранее были построены лишь карты годовых сумм осадков авторами Пономаренко П.Н. и Кузьмиченок В.А. [74 и 37 соответственно], а также карты за 4 средних месяца каждого сезона года [5].

10. Разработана и описана процедура расчета приведенных сумм осадков и построения их климатических карт с помощью программ SAGA и QGIS для территории Кыргызстана. По разработанной технологии построены и описаны спутниковые карты годовых и сезонных сумм осадков для современного 16-летнего периода 01.1998-02.2014 гг., которые достаточно хорошо отражают многолетнюю картину поля осадков для этой территории. Эта технология рекомендуется нами к практическому использованию для Кыргызстана за любой период, по которому имеются спутниковые данные модели TMPA-3B43 с 1998 года, когда сеть метеостанций сократилась почти в 3 раза.

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 после 1975 гг. отмечается существенное потепление его климата. Поэтому весьма актуальным явилось решение задачи по оценке сумм осадков на основе современных спутниковых наблюдений, для чего были решены следующие научные вопросы о 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 значимых регрессий (на уровне доверительной вероятности, равном 0,95) между адаптированными спутниковыми годовыми и сезонными суммами осадков и данными метеостанций. Эти регрессии 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. На основе этой технологии обработаны все имеющиеся данные наблюдений по спутниковой модели ТМРА за 16-летний период 1998-2014 гг. и с использованием ГИС-программы QGIS построены карты средних годовых и сезонных сумм осадков для территории Кыргызстана за этот период, которые

рекомендуются нами к практическому использованию. На основе разработанной технологии аналогичным образом по данным спутниковых наблюдений по модели ТМРА могут быть построены карты осадков Кыргызстана для любого года и сезона этого периода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Аламанов, С. К.** Изменение климата и водные проблемы в Центральной Азии [Текст] / С. К. Аламанов, В. М. Лелевкин, О. А. Подрезов. – Москва; Бишкек: [б. и.], 2006. – 188 с.
2. **Алексеева, А. А.** Распознавание ливней и града по измерениям уходящего теплового излучения Земли со спутника NOAA [Текст] / А. А. Алексеева, М. В. Бухаров // Современ. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. – 2004. – Т. 1, вып. 1. – С. 387–392.
3. **Алибегова, Ж. Д.** Статистическая структура атмосферных осадков в горных районах (на примере Закавказья) [Текст] / Ж. Д. Алибегова, Э. Ш. Элизбарашвили. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 136 с.
4. **Асмус, В.В.** Использование спутниковых данных для решения задач гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды [Текст] / В. А. Асмус, О. Е. Кровотынцев, О. Е. Милехин // Вопр. электромеханики. – 2008. – Т. 105. – С. 6-16.
5. **Атлас Киргизской ССР** [Текст] / [науч.-ред. совет: М. М. Адышев (пред.) и др.]. – М.: ГУКГ СССР, 1987. – Т. 1: Природные условия и ресурсы. – 157 с.
6. **Баканов, М. Т.** Сравнительная характеристика климата района Чолпон-Аты и залива Пржевальского [Текст] / М. Т. Баканов, И. А. Маяцкая, О. А. Подрезов // Метеорология и гидрология в Кыргызстане / [под ред. О. А. Подрезова]. – Бишкек, 2004. – Вып. 4. – С. 35-51.
7. **Бакиров, К. Б.** Глава 4: Климат Кыргызстана [Текст] / К. Б. Бакиров // Физическая география Кыргызстана. – Бишкек, 2013. – С. 77–125.
8. **Брусенская, И. С.** Режим ветра на территории Северного, Северо-Западного Кыргызстана [Текст] / И. С. Брусенская, О. А. Подрезов. – Бишкек: КРСУ, 2011. – 132 с.

9. **Бугаев, В. А.** Орография и осадки Таласской долины [Текст] / В. А. Бугаев, М. А. Петросянц // Метеорология и гидрология. – 1965. – Вып. 7. – С. 19–21.
10. **Бугаев, В. А.** Синоптические процессы Средней Азии [Текст] / В. А. Бугаев, В. А. Джорджио, Е. М. Козик. – Ташкент: АН УзССР, 1957. – 477 с.
11. **Будыко, М. И.** Климат в прошлом и будущем [Текст] / М. И. Будыко. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 351 с.
12. **Волкова, Е. В.** Оценки параметров облачного покрова и осадков по данным сканирующих радиометров полярно-орбитальных и геостационарных метеоспутников [Текст] / Е. В. Волкова // Современ. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. – 2013. – Т. 10, № 3. – С. 66–74.
13. Все об озере Иссык-Куль в вопросах и ответах [Текст]: энцикл. справ. пособие по природе и экологии озера и котловины / [В. В. Романовский, В. А. Кузмиченок, Д. М. Маматканов и др.] / под ред. О. А. Подрезова. – Бишкек: КРСУ, 2004. – 407 с.
14. **Второе Национальное сообщение Кыргызстана по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата** [Текст]. – Бишкек: [б. и.], 2008. – 216 с.
15. **Гельмгольц, Н. Ф.** Горно-долинная циркуляция северных склонов Тянь-Шаня [Текст] / Н. Ф. Гельмгольц. – Л.: Гидрометеиздат, 1963. – 330 с.
16. **Григорьев, А. А.** О некоторых особенностях режима увлажнения горного обрамления Таласской долины [Текст] / А. А. Григорьев // Сборник работ Фрунзенской гидрометеорологической обсерватории. – Фрунзе, 1964. – Вып. 1. – 85 с.
17. **Григорьев, А. А.** Осадки Чуйской долины [Текст] / А. А. Григорьев // Сборник работ Фрунзенской гидрометеорологической обсерватории. – Фрунзе, 1964. – Вып. 1. – 115 с.

18. **Диких, А. Н.** Оледенение и ледниковый сток Северного Тянь-Шаня: состояние и вероятные изменения [Текст] / А. Н. Диких, Л. Л. Диких // Метеорология и гидрология в Кыргызстане. – Бишкек, 2004. – Вып. 4. – С. 5–32.
19. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2012 г. [Текст]. – М.: Росгидромет, 2013. – 86 с.
20. **Ермакова, Л. Н.** Моделирование полей облачности и осадков [Текст] / Л. Н. Ермакова, Н. И. Толмачева // Науки о Земле. – 2005. – Вып. 11. – С. 113–122.
21. **Жильцова, О. В.** Восстановление суточных сумм осадков по данным спутниковых и наземных наблюдений [Текст]: автореф. дис. канд. геогр. наук: 11.00.09 / О. В. Жильцова. – М., 1998. – 29 с.
22. **Закс, Л.** Статистическое оценивания [Текст] / Л. Закс; пер. с нем. В. Н. Варыгина. – М.: Статистика, 1976. – 578 с.
23. **Исаев, А. А.** Экологическая климатология [Текст] / А. А. Исаев. – М.: Науч. мир, 2002. – 456 с.
24. Исследование возможностей получения информации об атмосферных осадках с помощью спутниковой микроволновой аппаратуры для решения гидрологических задач и вопросов водного баланса Земли [Электронный ресурс] / [В. Д. Степаненко, Е. П. Борисенков, Ю. А. Довгальук, и др.] // Информ. бюл. Рос. Фонда фундам. исслед. (РФФИ). – 1996. – Вып. 4. – 186 с. – Режим доступа: www.rfbr.ru. – Загл. с экрана.
25. **Каган, Р. Л.** Осреднение метеорологических полей [Текст] / Р. Л. Каган. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 211 с.
26. **Калашникова, О. Ю.** К разработке методов долгосрочного прогноза стока горных рек и притока воды в водохранилища на примере реки Нарын [Текст] / О. Ю. Калашникова // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – 2015. – № 5. – С. 100-103.
27. **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.

- 28. 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.
- 29. Кереселидзе, Д. Н.** К осреднению полей атмосферных осадков в горных условиях [Текст] / Д. Н. Кереселидзе, Э. Ш. Элизбарашвили, Ш. Э. Элизбарашвили // Метеорология и гидрология. – 2006. – Вып. 8. – С. 54–58.
- 30. Кислов, А. В.** Климатология с основами метеорологии [Текст] / А. В. Кислов. – М.: Академия, 2016. – 222 с.
- 31. Климат Киргизской ССР** [Текст] / [под ред. З. А. Рязанцевой]. – Фрунзе: Илим, 1965. – 292 с.
- 32. Климат Фрунзе** [Текст] / [под ред. Е. С. Скиба, Ц. А. Швер]. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 136 с.
- 33.** Климатическая характеристика аэропорта «Манас» [Текст] / [под ред. Т. А. Орозбаевой]. – Бишкек: Кыргызаэронавигация, 2004. – 177 с.
- 34.** Климатические условия Кыргызстана: (Для технических приложений) [Текст] / [О. А. Подрезов, М. А. Джаксыбаев, В. А. Мезгин и др.]. – Бишкек: Илим, 1992. – 170 с.
- 35. Кондратьев, К. Я.** Глобальный климат [Текст] / К. Я. Кондратьев. – СПб.: Наука, 1992. – 358 с.
- 36. Корольков, А. М.** Оценка корреляционных функций сумм осадков по радиолокационным данным [Текст] / А. М. Корольков // Метеорология и гидрология. – 2000. – Вып. 5. – С. 40–46.
- 37. Кузьмичёнок, В. А.** Цифровые модели характеристик увлажнения Кыргызстана: (Математико-картографическое моделирование) [Текст] / В. А. Кузьмичёнок. – Бишкек.: КРСУ, 2008. – 229 с.
- 38. Лосев, К. С.** Климат: вчера, сегодня ... и завтра [Текст] / К. С. Лосев. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 175 с.
- 39. Монин, А. С.** История климата [Текст] / А. С. Монин, Ю. А. Шишков. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 407 с.

40. **Матвеев, Л. Т.** Физика атмосферы [Текст]: учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности “Метеорология” / Л. Т. Матвеев. – СПб.: Гидрометеиздат, 2000. – 778 с.
41. **МГЭИК, 2014.** Изменение климата: Обобщенный доклад [Текст]: вклад рабочих групп 1, 2 и 3 в Пятый оценоч. докл. Межправительств. группы экспертов по изменению климата. – Женева: МГЭИК, 2014. – 163 с.
42. Мониторинг общей циркуляции атмосферы. Северное полушарие [Текст]: справ. пособие. – Обнинск: ВНИГМИ – МЦД, 2012. – 123 с.
43. Национальное Авиационное и Космическое Агентство (NASA) [Электронный ресурс]: арх. данных о наблюдениях Земли. – Режим доступа: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/#>. – Загл. с экрана.
44. Национальный Индийский спутниковый метеорологический центр (IMD) [Электронный ресурс]: арх. спутниковых данных. – Режим доступа: <http://satellite.imd.gov.in/>. – Загл. с экрана.
45. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3: Многолетние данные. Ч. 1-6 [Текст]. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – Вып. 32: Киргизская ССР. – 375 с.
46. 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.
47. Обнаружение зон интенсивных осадков с использованием данных дистанционного зондирования в микроволновой области спектра [Текст] / Л. А. Пахомов, А. А. Феоктистов, О. Б. Федичев [и др.] // Тезисы докл. 4-го Междунар. аэрокосм. конгр. – М., 2003. – 310 с.
48. **Океан – атмосфера** [Текст]: энцикл.: пер. с англ. / [ред. кол.: А. П. Алексеев и др.]. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 464 с.
49. **Оледенение Тянь-Шаня** [Текст] / [под ред. М. Б. Дюргерова, Лю Шаохай, Се Зичу]. – М.: [б. и.], 1995. – 233 с.

- 50. Опасные гидрометеорологические явления в Средней Азии** [Текст] / [под. ред. А. Д. Джураева, С. Г. Чанышевой, О. И. Субботиной]. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – 236 с.
- 51. Официальный сайт спутника GPM** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.nasa.gov/mission_pages/GPM/main/index.html. – Загл. с экрана.
- 52. Официальный сайт спутника TRMM** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pmm.nasa.gov/node/158>. – Загл. с экрана.
- 53. Официальный сайт спутников серии EUMETSAT** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/>. – Загл. с экрана
- 54. Официальный сайт спутников серии NOAA** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nesdis.noaa.gov/content/our-satellites>. – Загл. с экрана.
- 55. Официальный сайт Vaisala. Датчики дождя и осадков** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vaisala.com/en/products/instruments-sensors-and-other-measurement-devices?mid=%5B1016%5D>. – Загл. с экрана.
- 56. Павлова, И. А.** Методика подбора точек сетки ГРИД для анализа осадков модели TMPA по данным спутника TRMM на территории Кыргызстана [Текст] / И. А. Павлова, М. О. Рыскаль // Вестн. Кырг.-Рос. Славян. ун-та. – 2018. – Т. 18, № 8. – С. 181–186.
- 57. Павлова, И. А.** Опасные метеорологические явления на территории Кыргызстана [Текст] / И. А. Павлова, А. О. Подрезов. – Бишкек: КРСУ, 2003. – Кн. 1: Режим сильных ветров. – 115 с.
- 58. Павлова, И. А.** Опасные метеорологические явления на территории Кыргызстана [Текст] / И. А. Павлова, А. О. Подрезов. – Бишкек: КРСУ, 2003. – Кн. 2: Режим циркуляции атмосферы и загрязнение городов Чуйской долины. – 139 с.
- 59. Павлова, И. А.** Сравнительная оценка сумм осадков для аэродрома "Манас" по спутниковым и наземным данным за период 1998–2017 гг. [Текст] /

И. А. Павлова, М. О. Рыскаль // Вестн. Кырг.-Рос. Славян. ун-та. – 2019. – Т. 19, № 4. – С. 131–138.

60. Первое Национальное сообщение Кыргызстана по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата [Текст]. – Бишкек: [б. и.], 2003. – 98 с.

61. Переведенцев, Ю. П. Теория климата [Текст]: учеб. пособие / Ю. П. Переведенцев. – Казань: КГУ, 2009. – 503 с.

62. Перова, М. В. Режим температуры воздуха в холодный период года и климатические параметры отопительного сезона на территории Северного, Северо-Западного Кыргызстана [Текст] / М. В. Перова, О. А. Подрезов. – Бишкек: КРСУ, 2013. – 181 с.

63. Подрезов, О. А. Валидация данных по осадкам, получаемых по данным мульти спутниковой модели TMPA для горной территории Кыргызстана [Текст] / О. А. Подрезов, М. О. Рыскаль // Геогр. вестн.=Geographical bulletin. – 2019. – № 1(48). – С. 63–74.

64. Подрезов, О. А. Горная климатология и высотная климатическая зональность Кыргызстана [Текст] / О. А. Подрезов. – Бишкек: КРСУ, 2014. – 170 с.

65. Подрезов, О.А. Горная метеорология и климатология [Текст] / О. А. Подрезов. – Бишкек: КРСУ, 2000. – 270 с.

66. Подрезов, О. А. Изменение современного климата Северного и Северо-Западного Кыргызстана (температура и осадки 1930–2010 гг.) [Текст] / О. А. Подрезов, А. О. Подрезов. – Бишкек: КРСУ, 2017. – 330 с.

67. Подрезов, О. А. Максимальный водозапас снежного покрова и снеговые нагрузки на территории Кыргызстана [Текст] / О. А. Подрезов, И. А. Павлова, А. О. Подрезов // Вестн. Кырг.-Рос. Славян. ун-та. – 2011. – Т. 11, № 12. – С. 17–25.

68. Подрезов, О. А. Методы статистической обработки и анализа гидрометеорологических наблюдений [Текст] / О. А. Подрезов. – Бишкек: КРСУ, 2009. – Ч. 1. – 262 с.

- 69. Подрезов, О. А.** Режим снежного покрова на склонах южного и восточного горных обрамлений Ферганской впадины [Текст] / О. А. Подрезов, А. О. Подрезов // Вестн. Кырг.-Рос. Славян. ун-та. – 2011. – Т. 11, № 3. – С. 53–60.
- 70. Подрезов, О. А.** Современный климат Бишкека, Чуйской долины и северного склона Киргизского хребта [Текст] / О. А. Подрезов. – Бишкек: КРСУ, 2013. – 202 с.
- 71. Подрезов, О. А.** Сравнительный анализ спутниковых (ТМРА 3В43) и наземных данных для годовых сумм осадков над горной территорией Кыргызстана [Текст] / О.А. Подрезов, М. О. Рыскаль // 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.
- 72. Подрезов, О. А.** Статистические связи и зависимости годовых и сезонных сумм осадков, получаемых по мульти спутниковой модели ТМРА и наземным данным метеостанций для различных климатических провинций Кыргызстана [Электронный ресурс] / О. А. Подрезов, М. О. Рыскаль // Научные исследования в Кыргызской Республике. – 2018. – 3 квартал. – С. 10–20. – Режим доступа: journal.vak.kg. – Загл. с экрана.
- 73. Подрезова, Ю. А.** Климатическая характеристика режима гроз на территории Кыргызстана [Текст] / Ю. А. Подрезова, О. А. Подрезов. – Бишкек: КРСУ, 2011. – 134 с.
- 74. Пономаренко, П. Н.** Атмосферные осадки Киргизии [Текст] / П. Н. Пономаренко / [под ред. О. А. Дроздова]. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 134 с.
- 75. Рельеф Киргизии** [Текст] / [Д. И. Исаев, М. И. Глушкова, З. А. Алиев, и др.]. – Фрунзе: Илим, 1964. – 147 с.
- 76. Росгидромет.** Спутниковые системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.meteorf.ru/product/radars/>. – Загл. с экрана.
- 77. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Средняя Азия** [Текст]. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – Ч. 2, вып. 3. – 320 с.

- 78. Рыскаль, М. О.** Оценка годовых и сезонных сумм осадков для горных районов Кыргызстана, полученных по мультиспутниковой модели ТМРА [Текст] / М. О. Рыскаль // Вестн. Кырг.-Рос. Славян. ун-та. – 2018. – Т. 18, № 12. – С. 141–145.
- 79. Рыскаль, М. О.** Спутниковые карты годовых и сезонных сумм осадков для территории Кыргызстана [Текст] / М. О. Рыскаль // Материалы междунар. научной конф, посвящ. 15-летию ЦАИИЗ “Дистанционные и наземные исследования Земли в Центральной Азии”. – Бишкек, 2019. – С. 206–213.
- 80. Рыскаль, М. О.** Сравнительный анализ спутниковых (ТМРА 3В43) 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.
- 81. 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.
- 82. Смирнов, Н. В.** Курс теории вероятности и математической статистики для технических приложений [Текст] / Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. – М.: Наука, 1969. – 459 с.
- 83.** Справочник по климату СССР: История и физико-географическое описание метеорологических станций и постов [Текст]. – Фрунзе: [б. и.], 1965. – Вып. 32: Киргизская ССР. – 120 с.
- 84.** Справочник по климату СССР [Текст]. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – Вып. 32: Киргизская ССР, ч. 4: Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. – 307 с.
- 85.** Справочник по климату СССР [Текст]. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – Вып. 32: Киргизская ССР, ч. 5: Облачность и атмосферные явления. – 203 с.

86. Спутники [Электронный ресурс]: свобод. энцикл. – Режим доступа: <https://en.wikipedia.org/wiki/Satellite>. – Загл. с экрана.
87. Спутник ADEOS [Электронный ресурс]: свобод. энцикл. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/ADEOS_I. – Загл. с экрана.
88. Спутник DMSP [Электронный ресурс]: свобод. энцикл. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Defense_Meteorological_Satellite_Program. – Загл. с экрана.
89. 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.
90. **Субботина, О. И.** Особенности многолетних изменений атмосферной циркуляции на территории Средней Азии [Текст] / О. И. Субботина, Т. М. Чевычалова // Тр. Среднеаз. науч.-исслед. гидрометеорол. ин-та. – 1991. – Вып. 141 (222). – С. 12–21.
91. **Тимофеев, Ю. М.** Глобальная система мониторинга параметров атмосферы и поверхности [Текст] / Ю. М. Тимофеев. – СПб.: [б. и.], 2009. – 129 с.
92. **Толмачева, Н. И.** Космические методы экологического мониторинга [Текст] / Н. И. Толмачева, Л. С. Шкляева. – Пермь: Перм. ун-т, 2006. – 296 с.
93. **Успенский, А. Б.** Применение метода главных компонент для анализа ИК-спектров высокого разрешения, измеренных со спутников [Текст] / А. Б. Успенский, С. В. Романов, А. Н. Троценко // Исследования Земли из космоса. – 2003. – Вып. 3. – С. 1–8.
94. Физическая география Кыргызстана [Текст] / [С. К. Аламанов, Xi Chen, К. Б. Бакиров и др.]. – Бишкек: Турар, 2013. – 588 с.
95. **Ханадеев, А. Е.** К вопросу выпадения осадков в восточной части Центрального Тянь-Шаня [Текст] / А. Е. Ханадеев // Тр. Среднеаз. науч.-исслед. гидрометеорол. ин-та. – 1961. – Вып. 4 (19). – С. 72-76.

- 96. Хргиан, А. А.** Физика атмосферы [Текст] / А. А. Хргиан. – М.: МГУ, 1986. – 328 с.
- 97. Челпанова, О. М.** Климат СССР. Средняя Азия [Текст] / О. М. Челпанова. – Л.: Гидрометеоздат, 1963. – Вып. 3. – 447 с.
- 98. Чередниченко, А. В.** Региональные мезометеорологические процессы. (Мезометеорология) [Текст] / А. В. Чередниченко, А. В. Чередниченко, В. С. Чередниченко / [под общ. ред. В. С. Чередниченко]. – Алматы: КНУ им. Аль-Фараби, 2014. – 405 с.
- 99. Чередниченко, А. В.** Изменение климата Казахстана и возможности адаптации за счет доступных водозапасаов облачности [Текст] / А. В. Чередниченко. – Бишкек: Илим, 2009. – 259 с.
- 100. Чуб, В. Е.** Изменение климата и его влияние на гидрометеорологические процессы, агроклиматические и водные ресурсы Республики Узбекистан [Текст] / В. Е. Чуб. – Ташкент: Voris-Nashriyot, 2007. – 132 с.
- 101. Шерстюков, Б. Г.** Парниковый эффект и изменение теплообмена между океаном и атмосферой как факторы современных изменений климата [Текст] / Б. Г. Шерстюков, Р. С. Сагушвилли // Тр. Гос. учреждения «Всерос. науч.-исслед. ин-т гидрометеорол. информ. – Мировой центр данных». – Обнинск, 2007. – Вып. 173. – С. 3–37.
- 102. Шерстюков, Б. Г.** Новые тенденции в изменении климата северного полушария Земли в последнее десятилетие. Анализ изменений климата [Текст] / Б. Г. Шерстюков, Р. С. Сагушвилли // Тр. Гос. учреждения «Всерос. науч.-исслед. ин-т гидрометеорол. информ. – Мировой центр данных». – Обнинск, 2010. – Вып. 175. – С. 43–51.
- 103. Adeyewa, Z. B.** Validation of TRMM Radar Rainfall Data Over Major Climatic Regions in Africa [Text] / Z. B. Adeyewa, K. Nakamura // J. of Applied Meteorology. – 2003. – № 42. – P. 331–347.
- 104. Arkin, P. A.** The relationship between large scale convective rainfall and cold cloud over the western hemisphere during 1982–1984 [Text] / P. A. Arkin, B. N. Meisner // Mon. Weather Rev. – 1987. – № 115. – P. 51–74.

- 105. Barrett, E. C.** The use of satellite data in rainfall monitoring [Text] / E. C. Barrett, D. W. Martine. – London: Academic Press Inc., 1981. – 340 p.
- 106. Chi, Zhang.** Evaluation and Intercomparison of High-Resolution Precipitation Estimates – GPM, TRMM and CMORPH in the Tianshan Mountain Area [Text] / Zhang Chi, Chen Xi, Shao Hua // Remote Sens. – 2018. – № 10. – P. 15–43.
- 107.** Combined use of satellite estimates and rain gauge observations to generate high- quality historical rainfall time series over Ethiopia [Text] / T. Dinku, K. Hailemariam, R. Maidment, E. Tarnavsky // Intl. J. of Climatology. – 2014. – Vol. 34, № 7. – P. 2489–2504.
- 108.** Comparing high-resolution gridded precipitation data with satellite rainfall estimates of TRMM 3B42 over Iran [Text] / S. Javanmard, A. Yatagai, M. I. Nodzu [et al.] // Advances in Geosciences. – 2010. – Vol. 25. – P. 119–125.
- 109.** Comparison of gage and radar methods of convective rain measurement [Text] / W.L. Woodley, A.R. Olsen, A. Herndon [et al.] // J. of Applied Meteorology. – 1975. – Vol. 14, N 5. – P. 909–928.
- 110. Cressman, G. P.** An experiment in objective analysis [Text] / G. P. Cressman, B. Gilchrist // Tellus. – 1954. – Vol. 4. – P. 309–318.
- 111. Cressman, G. P.** An operative objective analysis scheme [Text] / G. P. Cressman // Mon. Weather Rev. – 1959. – № 87. – P. 367–374.
- 112.** Department of Space Indian Space Research Organization [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.isro.gov.in/Spacecraft/kalpana-1>. – Загл. с экрана.
- 113. Dixon, S. G.** Forecasting reservoir inflows using remotely sensed precipitation estimates [Text]: a pilot study for the River Naryn, Kyrgyzstan / S. G. Dixon, R. L. Wilby // Hydrol. Sci. J. – 2015. – Vol. 61, № 1. – P. 107–122.
- 114.** Estimation of Indian summer monsoon rainfall using Kalpana-1 VHRR data and its validation using rain gauge and GPCP data [Text] / S. Prakash, C. Mahesh, R.M. Gairola [et al.] // J. Meteorol. Atmos. Phys. – 2010. – Vol. 110. – P. 45–57.
- 115. Feidas, H.** Validation of satellite rainfall products over Greece [Text] / H. Feidas // Theoretical and Applied Climatology. – 2010. – Vol. 99. – P. 193–216.

- 116. Fisher, B. L.** Climatological Validation of TRMM TMI and PR Monthly Rain Products over Oklahoma [Text] / B. L. Fisher // Appl. Meteor. – 2004. – Vol. 43, N 3. – P. 519–535.
- 117. Gairola, R. M.** Rain rates based on SSM/I, OLR and raingauge data sets [Text] / R. M. Gairola, T. N. Krishnamurti // Meteorol. Atmos. Phys. – 1992. – Vol. 50. – P. 165–174.
- 118.** Gridding Point Shapes in SAGA. Method of interpolation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.marinedataliteracy.org/grids/gridpts/gridpts.htm>. – Загл. с экрана.
- 119.** QGIS. A free and open source Geographic Information System [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.qgis.org/en/site/>. – Загл. с экрана.
- 120.** Huffman, G. J. Satellite Precipitation Datasets. NASA Goddard Space Flight Center [Электронный ресурс]: презентация / G. J. Huffman. – Режим доступа: <http://www.isac.cnr.it/~ipwg/meetings/saojose-2012/training/Huffman.pdf>. – Загл. с экрана.
- 121. Ji, X.** Characterizing spatial patterns of precipitation based on corrected TRMM 3B43 data over the mid Tianshan Mountains of China [Text] / X. Ji, Y. Chen // J. of Mountain Science. – 2012. – Vol. 9, N 5. – P. 628–645.
- 122. Karaseva, M. O.** Rainfall distribution using IR and MW satellite measurements and its validation using ground truth over Kyrgyzstan [Text]: pilot Project Report. Space Applications Center (ISRO) / M. O. Karaseva. – Ahmedabad: [s. n.], 2010. – 52 p.
- 123. 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 // Theoretical and Applied Climatology. – 2011. – Vol. 108. – P. 147–157.
- 124. Kawsar, P.** Validation of TRMM-rainfall variability with ground-based rainfall observations over Bangladesh [Text]: pilot Project Report. Space Applications Center (ISRO) / P. Kawsar. – Ahmedabad: [s. n.], 2007. – 50 p.

- 125. Satylkanov, R.** Temporal variability of atmospheric precipitation in the Issyk-Kul basin [Text] / R. Satylkanov // Transbaikal State University J. – 2017. – Vol. 23, N 10. – P. 29–37.
- 126.** The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales [Text] / G. J. Huffman, R. F. Adler, D. T. Bolvin, Guajun Gu // Hydrometeorol. – 2007. – Vol. 8, N 1. – P. 38–55.
- 127.** The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) sensor package [Text] / C. Kummerow, W. Barnes, T. Kozu [et al.] // J. Atmos. Ocean. Technol. – 1998. – Vol. 15. – P. 809–817.
- 128. Xie, P.** An intercomparison of gauge observations and satellite estimates of monthly precipitation [Text] / P. Xie, P. A. Arkin // J. Appl. Meteor. – 1995. – Vol. 34. – P. 1143–1160.
- 129. Xie, P.** Global precipitation: a 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs [Text] / P. Xie, P. A. Arkin // Bull. American Meteorol. Soc. – 1997. – Vol. 78. – P. 2539–2558.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.1

Таблица П. 1.1 – Типы синоптических процессов Средней Азии по [10, 77], их повторяемость в теплое и холодное полугодия, а также характерные погодные условия по группам сходственных типов

Группа типов	Номер типа	Название типа синоптического процесса	Повторяемость типа по полугодиям (%)	Описание погодных условий по группам сходственных типов
А	1	Южно-Каспийский Циклон	В холодное полугодие 11,1, в теплое -2,5	Над средней Азией наблюдается теплая зимняя погода и осадки. В летние месяцы эти процессы практически отсутствуют.
	2	Мургабский Циклон	В холодное 6,2, в теплое -1,4	
	3	Верхне-Амударьинский Циклон	В холодное 1,7, в теплое -0,6	
	4	Широкий вынос теплого воздуха	В холодное 1,9, в теплое -0,7	
Б	5	Северо-западное холодное вторжение	В холодное 9,3, в теплое -13,3	Наблюдается холодная зимняя погода, аккумуляция снега. Летом возникает падение температуры, наблюдаются грозы, ливневые осадки и другие явления, связанные с неустойчивой стратификацией атмосферы.
	6	Северное холодное вторжение	В холодное 3,4, в теплое -9,1	
	7	Волновая деятельность	В холодное 9,3, в теплое -5,5	
	8	Малоподвижный циклон над Средней Азией	В целом за год 4	
В	9	Юго-западная периферия антициклона	В холодное 19,6, в теплое -14,3	Антициклональная погода характеризуется как ясная погода без осадков, устанавливается после группы Б, перед группой А.
	9а	Юго-восточная периферия антициклона	В целом за год 2-4	
	9б	Южная периферия антициклона	В холодное 10,1, в теплое -9,3	
Г	10	Западное вторжение	В холодное 14,3, в теплое -16,1	Летом наблюдается понижение температуры воздуха, пыльные бури, сильные ветра, а в холодное полугодие понижение температуры невелико, но почти всегда сопровождается осадками.
В	11	Термическая депрессия	Июнь - 4,1, июль-5,4, август-3,4	В зимнее время возникает интенсивное выхолаживание, тогда как летом – наоборот, наблюдается жара. Осадки при этой группе син. процессов возможны только при развитии высотного циклона.
	12	Малоградиентное поле повышенного давления	В холодное 3,9, в теплое -8,5	
	13	Малоградиентное поле пониженного давления	В холодное 2, в теплое -8	
Г	14	Западный циклон	В холодное 0,8, в теплое -0,2	
Б	15	Нырющий циклон	Редко, 3 циклона за 10 лет	

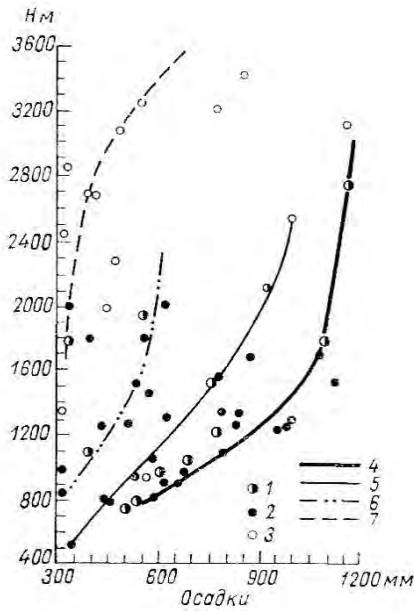


Рис. 1. Изменение осадков с высотой в северном и северо-восточном горном обрамлении Ферганской межгорной впадины.

1 — гидрометеорологические станции; 2 — осадкомерные посты; 3 — суммарные осадкомеры; 4 — открытые районы и наветренные склоны; 5 — относительно закрытые районы в основном в восточной части подобласти; 6 — то же в западной части подобласти; 7 — закрытые долины, ущелья и подветренные склоны.

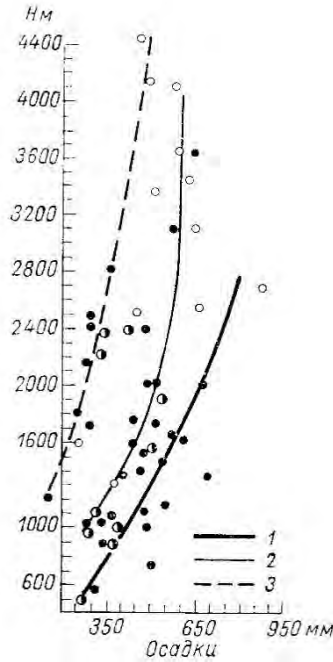


Рис. 2. Изменение осадков с высотой в южном горном обрамлении Ферганской межгорной впадины.

1 — открытые районы и наветренные склоны; 2 — узкие долины и относительно закрытые территории; 3 — закрытые долины, ущелья и подветренные склоны.

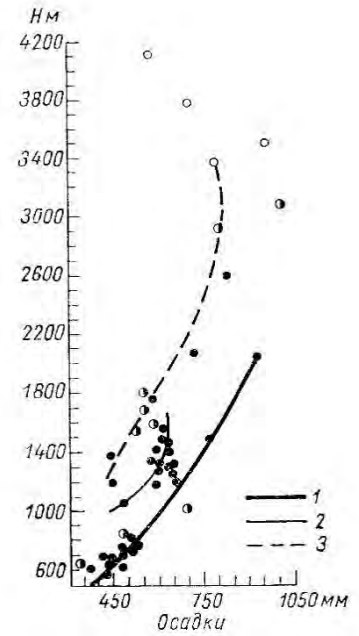


Рис. 3. Изменение осадков с высотой в Северной Киргизии.

1 — открытые районы и наветренные склоны; 2 — относительно закрытые территории; 3 — закрытые долины, ущелья и подветренные склоны.

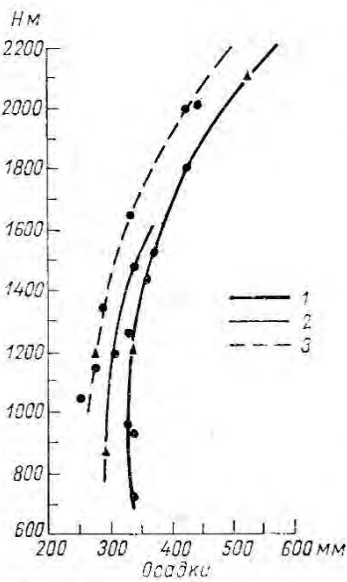


Рис. 4. Изменение осадков с высотой в Северо-Западной Киргизии.

1 — открытые районы и наветренные склоны; 2 — относительно закрытые территории; 3 — закрытые долины, ущелья и подветренные склоны.

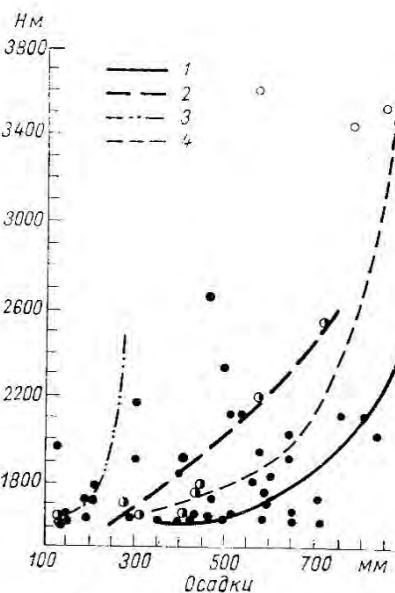


Рис. 5. Изменение осадков с высотой в Северо-Восточной Киргизии.

1 — различные районы Северного Прииссыккуля; 2 — то же по Южному Прииссыккулю; 3 — то же в Западном Прииссыккуле; 4 — Восточное Прииссыккуле в целом.

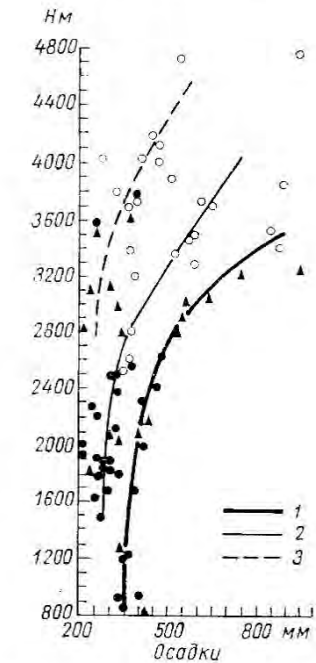


Рис. 6. Изменение осадков с высотой во Внутреннем Тянь-Шане.

1 — открытые долины и наветренные склоны (в основном в западной части области); 2 — узкие долины и относительно закрытые районы (в основном в центре области); 3 — закрытые долины, ущелья и подветренные склоны (в основном в восточной части области и на сыртовых нагорьях).

Рис. П.1.2. Графики высотных зависимостей осадков для различных климатических провинций в зависимости от условий защищенности (Пономаренко П.Н.) [74]

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.3

Таблица П. 1.3 – Используемые метеорологические станции Кыргызстана, их высота, координаты, месторасположение и период наблюдения [83]

№ п/п	МС	Высота, км	Координаты °		Географический район	Природно-климатическая провинция	Период наблюдений
			широта	долгота			
1	Жаны-Жер	0,596	43.217	74.233	Чуйская долина, северная часть	ССЗК	01.1998 - 09.2007
2	АП Манас	0,633	43.058	74.473	Чуйская долина, северная часть	ССЗК	11.1998 - 09.2007
3	Бишкек	0,756	42.850	74.533	Чуйская долина, центральная часть	ССЗК	01.1998 - 09.2007
4	Жалал-Абад	0,763	40.950	73.000	Западные предгорья Ферганского хребта, Кугартская долина	ЮЗК	01.1998 - 09.2007
5	Кара-Балта	0,770	42.817	73.817	Чуйская долина, г. Кара-Балта	ССЗК	01.1998 - 09.2007
6	Токмок	0,817	42.817	75.300	Чуйская долина, г. Токмак	ССЗК	01.1998 - 09.2007
7	Кара-Суу	0,860	40.700	72.900	Ферганская долина, к востоку от г.Ош	ЮЗК	01.1998 - 09.2007
8	Кызыл-Адыр	0,924	42.650	71.800	Таласская долина, в 3 км СВ от с.Кировское	ССЗК	01.1998 - 09.2007
9	Узген	1,012	40.767	73.300	Ферганская долина, г.Узген.	ЮЗК	01.1998 - 09.2007
10	Ош	1,016	40.633	72.800	Ферганская долина, г.Ош	ЮЗК	01.2003 - 09.2007
11	Иссык-Ата	1,028	42.733	75.017	Подножье Киргизского хр.	ССЗК	01.1998 - 09.2007
12	Баткен	1,050	40.050	70.867	Подножье Алайского хр.	ЮЗК	01.1998 - 09.2007
13	Исфана	1,180	39.850	69.440	Подножье Туркестанского хр.	ЮЗК	01.1998 - 09.2007
14	Токтогул	1,082	41.817	72.833	Токтогульская котловина	ВТШ	01.1998 - 09.2007
15	Талас	1,217	42.517	72.217	Восточная часть Таласской долины, г.Талас.	ССЗК	01.1998 - 09.2007
16	Ноокат	1,325	40.267	72.650	Предгорье северного склона Алайского хребта	ЮЗК	01.1998 - 09.2007
17	Пача-Ата	1,537	41.583	71.667	Чаткальский хр., долина р. Пача-Ата	ЮЗК	01.1998 - 09.2007

№ п/п	МС	Высота, км	Координаты °		Географический район	Природно-клим. провинция	Период наблюдений
			широта	долгота			
18	Байтик	1,579	42.683	74.500	Северный склон Киргизского хр., долина р. Ала-Арча	ССЗК	01.1998 - 09.2007
19	Балбай	1,645	42.767	78.300	Восточная часть Иссык-Кульской котловины, с.Балбай	ИКК	02.2006 - 09.2007
20	Чолпон-Ата	1,645	42.600	76.933	Северное побережье оз. Иссык-куль	ИКК	01.1998 - 09.2007
21	Чаек	1,651	41.917	74.500	Джумгалская котловина	ВТШ	01.1998 - 09.2007
22	Балыкчы	1,660	42.450	76.183	Западная часть Иссык-Кульской котловины	ИКК	01.1998 - 09.2007
23	Каракол	1,716	42.500	78.433	Восточная часть Иссык-Кульской котловины	ИКК	02.2002 - 09.2007
24	Кызыл-Суу	1,740	42.350	78.033	Восточная часть Иссык-Кульской котловины	ИКК	01.1998 - 09.2007
25	Ак-Терек-Гава	1,748	41.267	72.817	Западный склон Ферганского хр., р. Ак-Терек	ЮЗК	01.1998 - 09.2007
26	Чаткал	1,937	41.900	71.317	Чаткальская долина	ЮЗК	01.1998 - 09.2007
27	Ит-Агар	2,011	42.017	72.900	Долина р.Чичкан	ВТШ	01.1998 - 09.2007
28	Нарын	2,040	41.433	75.983	Средне-Нарынская котловина	ВТШ	01.1998 - 09.2007
29	Суусамыр	2,061	42.150	74.017	Суусамырская котловина	ВТШ	01.1998 - 09.2007
30	Ала-Арча	2,130	42.567	74.483	Северный склон Киргизского хр., верхняя часть р. Ала-Арча	ССЗК	01.1998 - 09.2007
31	Чон-Ашуу	2,800	42.417	78.833	Северный склон хр. Терскей, долина р. Тургень	ИКК	01.1998 - 09.2007
32	Кара-Кужур	2,800	41.933	76.300	Долина р. Кара-Куджур	ВТШ	01.2002 - 09.2007
33	Сары-Таш	3,155	39.717	73.250	Алайская долина, пос.Сары-Таш	ЮЗК	01.1998 - 09.2007
34	Тео-Ашуу	3,225	42.333	73.817	Южный склон Киргизского хр.	ССЗК	01.1998 - 09.2007
35	Тянь-Шань	3,635	41.917	78.233	Кумторские сырты, долина р. Кумтор	ВТШ	01.1998 - 09.2007



Рис. П. 1.4 - Метеорологические станции (МС), их высота в км (вокруг каждой МС приведены 4 спутниковые точки)

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.1

Таблица П. 2.1 - Виды измерений осадков, преимущества и недостатки [2, 4, 12, 20, 21, 24, 36, 40, 47, 48, 55, 86, 88, 90, 93, 114, 127]

Виды измерения осадков	Основной принцип измерения	Преимущества	Недостатки
Наземные: дождемеры, осадкомеры Третьякова и осадкомерные стаканы, суммарные осадкомеры, самопишущие пловниографы, электронные регистраторы осадков	Измерение суммы осадков по срокам (ведерный тип), измерение суммы осадков за длительный период (суммарные осадкомеры), измерение при помощи периодически опрокидывающиеся ёмкости, гравиметрическое измерение (взвешивание капель осадков) измерение, основанное на принципе электроемкости осадков (дисдрометры) [55].	Хотя метод наземных измерений существует уже более века, качество результатов с его использованием остается в настоящее время наиболее высоким. Так, по исследованиям американских ученых (Woodley, Olsen., 1975 [127]) при толщине слоя осадков в 25 мм ошибка составляет 5 %, при слабых осадках - менее 3 мм – 12 %, а в среднем оценивается в 9 %. Для сравнения, ошибка измерения осадков радиолокационными методами колеблется от 25 до 100 % [48, 127].	Распределение наземных осадкомеров довольно неоднородно, и точные данные они могут предоставить – только для небольшой, прилегающей к станции территории, особенно это касается горной местности. Таким образом, чтобы не пропустить через сито сети ни одного дождя, особенно летом, в условиях конвекции, необходима очень большая плотность сети. Но организация, построение и эксплуатация густой сети осадкомеров является весьма дорогостоящим мероприятием.
Дистанционные: Наземные радары	Наземные радары основываются на сдвиге в микроволновых частотах (доплеровский сдвиг) который возникает при движении объекта, в данном случае – водных капель [36]. При этом активный радар посылает микроволновый импульс с известной частотой, и через определенное время приемная антенна получает этот сигнал более ослабленным, за счет рассеяния частицами атмосферы, а также с другой частотой. Благодаря этому становится возможным определение расстояния до частиц, их размеров, формы, и направления,	Современные Допплеровские радары осуществляют относительно непрерывное зондирование во времени и пространстве, и предоставляют довольно точные данные об облачной структуре и осадках на расстоянии 500-600 км. К преимуществам также относится точность в воспроизведении горизонтальных градиентов интенсивности, чем при стационарных измерениях с обычной плотностью сети. Данные радиолокаторов характеризуются высоким временным разрешением (время сканирования территории составляет в среднем 5,8 минут). Это также имеет существенное значение, так как время жизни	Для калибровки любого радара необходима его валидация в конкретном местоположении с как можно большим количеством осадкомеров [36]. Также недостатком радаров является сильная флуктуация сигнала (капли осадков неоднородно распределены и находятся в постоянном движении), изменение отраженной радиации с высотой (из-за кривизны Земли прямой луч радара “уходит” вверх примерно на 100 м на каждые 100 км дистанции), уменьшение точности измерения в пограничных слоях, а также экранирование и изменение сигнала наземными препятствиями (деревья, высокие здания, горы, самолеты). Влияние испарения, адвекции и вертикальных токов также негативно сказывается на радиолокационных измерениях. И еще один

	в котором происходит их движение.	конвективной ячейки может составлять менее получаса, а изменчивость в процессе развития очень высока.	серьезный недостаток - низкая точность получаемых значений слоя осадков. И, конечно, дороговизна наземных радаров.
Дистанционные: Геостационарные спутники (чаще всего инфракрасные и видимые радиометры)	В технике измерения и расчета осадков, по данным видимого и инфракрасного диапазона, существует три основных направления [48]: 1) Индексирование облачности, (классификация различных типов дождевых облаков), 2) Метод порогового значения (оценка осадков по температуре В.Г. облачности (техника Аркина), 3) Отслеживание жизненного цикла облачных систем, и т.д.	Геостационарные спутники имеют лучшее пространственно - временное разрешение и производят измерение осадков над территорией суши и моря непрерывно (каждые 15-30 мин.). Измерение осадков, используя только инфракрасный спектр, дает хорошие результаты над тропическими районами в больших пространственно-временных масштабах (месяцы, сезоны), которые необходимы для изучения климата.	Геостационарные спутниковые наблюдения на сегодняшний день ограничены в видимом и инфракрасном диапазоне (так как спутники расположены на высоте 36000 км от Земли) и их разрешение не велико. Недостаток техники Аркина заключается в том, что температура В.Г. облачности — это параметр, который имеет достаточно слабую связь с процессом выпадения осадков, так как не всегда осадки выпадают из “холодных” облаков.
Дистанционные: Полярные спутники (чаще всего микроволновые сенсоры)	При помощи пассивных измерений микроволновых частот частицы осадков являются главным источником ослабления (поглощения, рассеяния) восходящей радиации. Так при взаимодействии микроволновой радиации и водных капель происходит излучение электромагнитной радиации с длиной волны от 1 мм до 5 см. (размер облачных капель). Современная микроволновая радиометрия представлена следующими основными методами: 1) Пассивное зондирование на низких и высоких частотах, 2) Моделирование радиационного переноса в атмосфере, 3) Использование активного зондирования в форме радара.	Полярные спутники поставляют регулярную оперативную информацию о вертикальных профилях температуры и влажности. Микроволновый метод измерения осадков является более точным по сравнению с видимым и инфракрасным. Несомненным преимуществом микроволновой радиометрии является то, что зондирование осадков осуществляется “напрямую”, а не по косвенным признакам. Также достоинством микроволнового зондирования является: глобальность, регулярность данных, независимость их от времени суток и условий погоды и сравнительно небольшие габариты, масса и энергопотребление радиометров [86].	Различные радиационные характеристики земной и морской поверхности создают комплекс проблем. Получение данных об осадках при помощи пассивного микроволнового измерения намного точнее, над поверхностью океанов, из-за однородности излучения, по сравнению с земной поверхностью. Погрешность в микроволновых измерениях также может возникнуть, в случае если при формировании облачных капель отсутствует “ледяная фаза”, из-за чего очень сложно корректно определить толщину слоя осадков в атмосфере [47]. Также большим недостатком пассивного микроволнового зондирования является плохое пространственное и временное разрешение (один микроволновый сенсор, установленный на полярном спутнике, может зондировать всего лишь два раза в день для определенного района и с разрешением от 5 до 25 км). Также ограничением являются относительно неустойчивая калибровка и необходимость высокой чувствительности радиометрических приемников.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.2

Таблица П. 2.2 - Технические характеристики основных современных спутников, предназначенных для мониторинга осадков [2, 4, 12, 44, 51-54, 76, 83-86, 88, 103, 106, 117, 122]

<i>Спутник</i>	<i>Тип</i>	<i>Сенсоры, предназначенные для измерения осадков</i>	<i>Высота орбиты, км</i>	<i>Положение/ Наклонение</i>	<i>Дата запуска</i>	<i>Агентство/ страна</i>
TRMM	полярный	TMI, PR, VIRS	402	Не солнечно-синхронное/ Наклонение 35°	27.11.1997	США, Япония
DMSP	полярный	SSM/I	833	Солнечно-синхронное/ наклонение 98.8°/	16.07.1987	NOAA, США
NOAA ATOVS	полярный	AMSU B	833	Наклонение 48.95°	13.05.1998	NOAA, США
ADEOS-II	полярный	AMSR	803	Коническое сканирование/ Наклонение 55°	12.2002	JAXA, Япония
NOAA 18	полярный	AVHRR	854	Солнечно-синхронное/ наклонение 98.7°	05.20.2005	NOAA, США
NOAA 19	полярный	AVHRR/3, HIRS/4 MHS	870	Солнечно-синхронное/ наклонение 99.16°	06.02.2009	NOAA, США
Megha-Tropics	полярный	MADRAS	865	Коническое сканирование/ Наклонение 20°	12.10.2011	Индия, Франция
GPM	полярный	GMI, DPR	407	Коническое сканирование/ Наклонение 65°	27.02.2014	NASA и ESA
Kalpana-1	геостационарный	VHRR	36 000	74° в.д	12.09.2002	ISRO, Индия
Insat-3D	геостационарный	VHRR	36 000	82° в.д	26.07.2013	ISRO, Индия
Серия спутников GOES (14-16)	геостационарный	IR Imagers, Sounders	36 000	GOES 14- 105° з.д GOES 15- 89.5° з.д GOES 16 - 75° з.д	G.14 - 27.06.2009 G.15 - 04.03.2010 G.16- 19.11.2016	NOAA, США
Meteosat-8,9,10,11	геостационарный	SEVIRI	36 000	M8 41.5° в.д M. 9 9.5°E - 3.5°в.д M.10 0°- 9.5°в.д M.11 0° долготы	M8 -28.08.2002 M.9 -12.2005 M.10 -05.07.2012 M.11 -15.07.2015	ESA, EUMETSAT Европа
MTSAT-1R	геостационарный	VISSR	36 000	140° в.д	02.2005	JMA, Япония

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.3

Таблица П. 2.3 - Основные современные сенсоры, предназначенные для измерения осадков [2, 12, 44, 51, 52-54, 76, 84-86, 106, 117, 122]

<i>Спутник, тип</i>	<i>Сенсор</i>	<i>Тип сенсора</i>	<i>Измеряемый параметр</i>	<i>Высота орбиты, км</i>	<i>Положение (Наклонение) / Тип сканирования</i>	<i>Частота сканирования</i>	<i>Горизонтальное разрешение, км</i>	<i>Ширина полосы обзора, в км</i>	<i>Регулярность измерений</i>
TRMM полярный	TMI	Микроволновый сенсор	Количественная информация об интенсивности осадков, водяном паре, жидкой воде в облаках	402	Солнечно-синхронное, Наклонение 35°/ Коническое сканирование	10.7, 19.4, 21.3, 37, 85.5 ГГц	5-45	759	11-12 часов 16 орбит за день
	PR	Радар	Трехмерная информация об интенсивности и распределении осадков, их типов, наличия твердой фазы в облаках и т.д		Солнечно-синхронное, Наклонение 35°/ Сканирование-кросс трек	13.8 ГГц диапазон Ku	4,3	215	
	VIRS	Видимый и инфракрасный сканер	Инфракрасное изображение, видимые снимки, (температура поверхности или верхней границы облаков)		0.63, 1.60, 3.75, 10.8, и 12.0 мкм	2,1	720		
DMSP полярный	SSM/I	Микроволновый радиометр	Температурное зондирование, влажность почвы, осадки, содержание водяного пара в облаках границы льда, снежного покрова	833	Солнечно-синхронное, наклонение 98.8°/Коническое сканирование	19, 22,37, 85 ГГц	15	1400	12 часов
NOAA ATOVS	AMSU B	Микроволновый зондировщик	Вертикальные профили температуры и влажности, осадки, влажность почвы	833	Наклонение 48.95°	5-60, 23.8, 31.4, 50.3, 89,153,183ГГц	16 на 16 до высот 12 км	1650	12 часов

ADEOS-II полярный	AMSR	Микроволно- вый радиометр	Содержание водяного пара, осадки, температура поверхности, морской лед, скорость приземного ветра	803	Коническое сканирование, Наклонение 55°	6.9, 10.6, 18.7, 23.8, 36.5, 50.3, 52.8, 89.0, 89.0 ГГц	5-10	1600	12 часов
GPM полярный	DPR	Двух частотный радар	Интенсивность осадков, размер облачных капель, наличия твердой фазы в облаках и т.д	407	Коническое сканирование/ Наклонение 65°	Ku-band (13,6 ГГц) Ka-band (35,5 ГГц)	55	245 125	12 часов 14 орбит за день
	GMI	Микроволно- вый радиометр	Количественная информация об интенсивности осадков, водяном паре, жидкой воде в облаках			13 каналов от 10 до 183ГГц	5	885	
NOAA 14- 18 полярный	AVHRR /3	Улучшенный радиометр высокого разрешения	Инфракрасное изображение, видимые снимки, снимки водяного пара	833	Солнечно- синхронное, наклонение 55.4°	0.58 - 0.68, 3.55 - 3.93, 10.30 - 11.30, 11.50 - 12.50 мкм	1.1	3000	12 часов
NOAA 19 полярный	MHS	Микроволно- вый зондировщик	Вертикальные профили температуры и влажности, осадки, влажность почвы	870	Солнечно- синхронное/ наклонение 99.16°	89,157, 183.3 ± 1.0, 183.3 ± 3.0, 190.311 ГГц	17	1650	12 часов
	HIRS/4	Инфракрас- ный зондировщик	Температурные профили атмосферы, температура поверхности Земли и океана, водяной пар, озон	870		0.69 мкм, 7 каналов (3.7- 4.6 мкм), и 12 каналов (6.7 – 15 мкм)	20	2160	12 часов
Megha- Tropics полярный	MADRAS	Микроволно- вый радиометр	Мониторинг конвективных систем, цикла воды и энергетического баланса в тропической атмосфере	866	Коническое сканирование, Наклонение 20°	18.7, 23.8, 36.5, 89, 157	6, 10, 40	1700	12 часов
Kalpana-1 геостацио- нарный	VHRR	Радиометр высокого разрешения 3-канальный видеоприбор	Инфракрасное изображение (температура верхней границы облачности), видимые снимки, снимки водяного пара	36 000	74°E	0.5-0.75, 5.7- 7.1, 10.5-12.5,	Vis-2, WV, IR -8		30 минут
Meteosat -8-11 геостацио- нарный	VHRR	Радиометры высокого разрешения	Инфракрасное изображение, видимые снимки, снимки водяного пара	36 000	0-41.5°E	0.5-0.75, 5.7- 7.1, 10.5-12.5,	Vis-2,5, 5 –WV, IR		15 минут

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.1

Таблица П. 3.1 – Статистические характеристики годовых сумм осадков за 1998-2006 гг. для 35 использованных метеостанций по спутниковым (сп.) и наземным (назем.) данным. Обозначения: сумма - \bar{R} , максимальное - R_{max} и минимальное - R_{min} количество осадков за год, СКО - $S(R)$, коэффициент вариации - $C(R)$, стандартные ошибки - Δ

Метеостанция	$\bar{R}_{сп}, мм \pm \Delta(\bar{R}_{сп})$	$\bar{R}_{назем}, мм \pm \Delta(\bar{R}_{назем})$	$R_{max\ сп}, мм(год)$	$R_{max\ назем}, мм(год)$	$R_{min\ сп}, мм(год)$	$R_{min\ назем}, мм(год)$	$S(R)_{сп} \pm \Delta(S(R)_{сп})$	$S(R)_{назем} \pm \Delta(S(R)_{назем})$	$C(R)_{сп} \pm \Delta(C(R)_{сп})$	$C(R)_{назем} \pm \Delta(C(R)_{назем})$
Северный, Северо-Западный Кыргызстан (ССЗК)										
Жаны-Жер	445±32	452±31	603 (2002)	584 (2002)	309 (2000)	349 (2001)	96±23	92±22	0.22±0.05	0.20±0.05
АП Манас	457±39	422±36	636 (2002)	580 (2002)	318 (2000)	310 (2001)	109±28	102±26	0,24±0,06	0,22±0,06
Бишкек	485±28	517±37	610 (2002)	741 (2002)	363 (2000)	377 (2005)	83±20	112±27	0.17±0.04	0.22±0.05
Кара-Балта	456±24	502±31	586 (2002)	645 (2002)	357 (2000)	389 (2005)	72±17	92±22	0.16±0.04	0.18±0.04
Токмок	467±22	512±40	543 (2002)	716 (2003)	368 (2001)	352 (1999)	66±16	120±29	0.14±0.03	0.24±0.06
Кызыл-Адыр	472±28	389±61	63 (2003)	822 (1999)	363 (2000)	242 (2005)	86±21	182±44	0.18±0.04	0.47±0.12
Иссык-Ата	534±26	557±37	625 (2005)	761 (2003)	415 (2001)	445 (1999)	78±19	110±27	0.15±0.03	0.20±0.05
Талас	422±23	353±31	528 (2003)	488 (2002)	322 (2000)	255 (2005)	70±17	94±23	0.17±0.04	0.27±0.06
Байтик	558±31	567±28	694 (2002)	681 (1998)	412 (2000)	465 (2005)	93±22	84±20	0.17±0.04	0.15±0.04
Ала-Арча	631±35	563±28	779 (2002)	665 (2003)	460 (2000)	408 (1999)	107±26	85±21	0.17±0.04	0.15±0.04
Тео-Ашуу	557±32	831±37	708 (2002)	1037 (2003)	403 (2000)	682 (1999)	97±23	111±27	0.17±0.04	0.13±0.03
Среднее	499±29	515±36	631	702	372	388	87±21	108±26	0.18±0.04	0.22±0.05
Иссык-Кульская котловина (ИКК)										
Чолпон-Ата	415±23	290±28	533 (1999)	418 (2005)	321 (2004)	151 (1999)	68±17	86±21	0.17±0.04	0.30±0.07
Балбай	385±23	530±92	470 (2003)	867 (2003)	291 (2001)	478 (2006)	60±17	130±75	0.16±0.04	0.19±0.05
Балыкчы	400±25	133±20	515 (1999)	214 (2005)	291 (2004)	24 (1999)	75±18	60±15	0.19±0.04	0.45±0.12

Каракол	390±22	232±27	486 (2003)	478 (2006)	361 (2005)	340 (2004)	50±17	60±20	0.12±0.04	0.14±0.05
Кызыл-Суу	420±16	417±38	501 (2003)	546 (2005)	341 (2001)	180 (1999)	47±11	115±28	0.11±0.03	0.28±0.07
Чон-Ашуу	456±20	541±51	560 (2003)	680 (2003)	360 (2001)	165 (1999)	61±15	154±37	0.13±0.03	0.28±0.07
Среднее	411±21	357±43	511	534	327	223	60±16	101±32	0.15±0.04	0.27±0.07
Внутренний Тянь-Шань (ВТШ)										
Токтогул	436±33	384±35	604 (1998)	588 (1998)	295 (2001)	243 (1999)	100±24	104±25	0.23±0.06	0.27±0.07
Чаек	439±12	230±22	488 (2003)	337 (1998)	363 (2001)	157 (2000)	36±8	67±16	0.08±0.02	0.29±0.07
Ит-Агар	576±43	660±50	726 (2005)	853 (1999)	382 (2000)	405 (2001)	129±31	149±36	0.22±0.05	0.23±0.05
Нарын	323±15	320±26	418 (2003)	428 (2003)	269 (1999)	198 (2006)	46±11	79±19	0.14±0.03	0.25±0.06
Суусамыр	525±28	289±25	629 (2003)	407 (2000)	403 (2000)	127 (2005)	84±20	76±18	0.16±0.04	0.26±0.06
Кара-Кужур	409±12	255±37	448 (2003)	421 (1998)	367 (2004)	169 (2002)	28±8	92±28	0.07±0.02	0.36±0.11
Тянь-Шань	366±13	380±24	411 (2003)	497 (2000)	302 (2006)	297 (2006)	38±9	71±17	0.10±0.02	0.19±0.04
Среднее	439±22	360±31	532	504	340	228	66±16	91±23	0.15±0.04	0.26±0.07
Юго-Западный Кыргызстан (ЮЗК)										
Жалал-Абад	445±35	474±65	659 (1998)	744 (1998)	333 (2001)	47 (1999)	106±26	195±47	0.24±0.06	0.41±0.11
Кара-Суу	405±35	429±40	624 (1998)	673 (1998)	300 (2001)	272 (1999)	105±26	119±29	0.26±0.06	0.28±0.07
Узген	438±37	673±51	674 (1998)	901 (1998)	307 (2001)	432 (1999)	113±27	153±37	0.26±0.06	0.23±0.06
Ош	385±45	287±51	525 (2003)	432 (2003)	323 (2006)	209 (2005)	91±34	103±39	0.23±0.08	0.36±0.14
Баткен	308±23	242±26	406 (2002)	354 (1999)	235 (2001)	143 (2001)	68±17	78±19	0.22±0.05	0.32±0.08
Исфана	420±42	385±67	582 (2002)	593 (2002)	233 (2000)	40 (1999)	126±30	200±48	0.30±0.07	0.52±0.14
Ноокат	410±24	422±32	537 (1998)	566 (1998)	319 (2000)	332 (2005)	72±17	97±24	0.18±0.04	0.23±0.06
Пача-Ата	432±28	773±61	565 (2003)	1116 (1998)	318 (2001)	490 (2001)	84±20	183±44	0.20±0.05	0.24±0.06
Ак-Терек-Гава	590±51	1039±104	827 (1998)	1506 (1998)	410 (2001)	512 (1999)	152±37	312±76	0.26±0.06	0.30±0.07
Чаткал	504±34	511±34	676 (2003)	706 (1999)	397 (2000)	371 (2000)	101±24	102±25	0.20±0.05	0.20±0.05
Сары-Таш	334±17	396±28	393 (2003)	535 (2005)	261 (2001)	289 (2006)	50±12	85±20	0.15±0.04	0.21±0.05
Среднее	425±34	512±51	588	738	312	285	92±25	148±37	0.23±0.06	0.30±0.08

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.2

Таблица П. 3.2 – Рассчитанные абсолютные СКО - $S_{\Delta R}$ (мм) и относительные СКО_{отн.} - $S_{\Delta R(\%)}$, значения ошибок для сезонных сумм осадков по 35 метеостанциям Кыргызстана

Северный, Северо-Западный Кыргызстан (ССЗК)													
Сезон/ МС		МС Жаны-Жер	АП Манас	МС Бишкек	МС Кара-Балта	МС Токмок	МС Кызыл-Адыр	МС Иссык-Ата	МС Талас	МС Байтик	МС Ала-Арча	МС Тео-Ашуу	<i>среднее</i>
зима	$S_{\Delta R}$, мм	25	30	24	27	28	37	25	23	23	21	30	27
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	26	30	22	26	29	58	23	40	28	29	24	30
весна	$S_{\Delta R}$, мм	21	36	50	35	36	41	72	27	64	68	41	44
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	12	21	25	18	17	28	33	19	31	34	18	23
лето	$S_{\Delta R}$, мм	24	18	22	18	22	71	27	16	43	38	68	33
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	34	27	26	21	25	88	28	23	27	22	24	31
осень	$S_{\Delta R}$, мм	24	22	23	19	35	45	24	20	16	60	59	32
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	22	19	20	16	33	50	18	27	15	50	30	27
<i>среднее</i>	$S_{\Delta R}$, мм	23	26	30	25	30	49	37	22	36	47	49	
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	24	24	23	20	26	56	26	27	25	34	24	
Южный, Юго-Западный Кыргызстан (ЮЗК)													
Сезон/ МС		МС Джалал-Абад	МС Кара-Суу	МС Узген	МС Ош	МС Баткен	МС Исфана	МС Ноокат	МС Пача-Ата	МС Ак-Терек	МС Чаткал	МС Сары-Таш	<i>среднее</i>
зима	$S_{\Delta R}$, мм	23	16	29	51	33	53	36	39	48	35	23	35
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	17	12	16	87	65	66	44	24	19	24	30	37
весна	$S_{\Delta R}$, мм	68	39	59	34	45	81	39	82	125	54	26	59
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	40	24	22	23	48	49	22	27	31	31	18	31
лето	$S_{\Delta R}$, мм	26	26	21	9	24	49	34	64	35	52	45	35
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	59	52	30	23	48	86	36	38	22	69	38	46
осень	$S_{\Delta R}$, мм	54	35	45	13	23	63	27	43	54	24	39	38

	$S_{\Delta R(\%)}$, %	54	46	33	22	56	123	36	32	26	23	63	47			
<i>среднее</i>	$S_{\Delta R}$, мм	43	29	39	27	31	61	34	57	65	42	33				
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	42	34	25	39	54	81	35	30	24	37	38				
Иссык-Кульская котловина (ИКК)								Внутренний Тянь-Шань (ВТШ)								
Сезон/ МС		МС Чолпон-Ата	МС Балбай	МС Балыкчы	МС Каракол	МС Кызыл-Суу	МС Чон-Ашуу	<i>среднее</i>	МС Токтогул	МС Ит-Агар	МС Нарын	МС Сууса-мыр	МС Кара-Кужур	МС Тянь-Шань	МС Чаек	<i>среднее</i>
зима	$S_{\Delta R}$	35	30	34	21	21	18	26	18	14	14	31	9	13	22	17
	$S_{\Delta R(\%)}$	114	48	302	50	35	40	98	22	13	46	67	51	68	61	47
весна	$S_{\Delta R}$	34	63	36	18	48	67	44	22	108	34	69	50	41	35	51
	$S_{\Delta R(\%)}$	46	38	88	15	47	44	46	16	48	29	71	62	38	56	46
лето	$S_{\Delta R}$	49	26	40	27	37	86	44	40	40	16	57	34	36	39	37
	$S_{\Delta R(\%)}$	42	11	58	19	26	38	32	37	20	14	64	30	21	38	32
осень	$S_{\Delta R}$	54	64	38	35	41	42	45	31	50	14	26	20	42	33	31
	$S_{\Delta R(\%)}$	75	33	209	31	36	33	70	40	27	53	43	54	45	121	56
<i>среднее</i>	$S_{\Delta R}$	43	46	37	26	37	53		28	53	19	46	28	33	32	
	$S_{\Delta R(\%)}$	69	32	164	29	36	39		33	30	29	64	46	45	69	

Примечание – по МС Кара-Кужур был исключен зимний сезон, ввиду выброса (пика) значений зима 2005-2006.

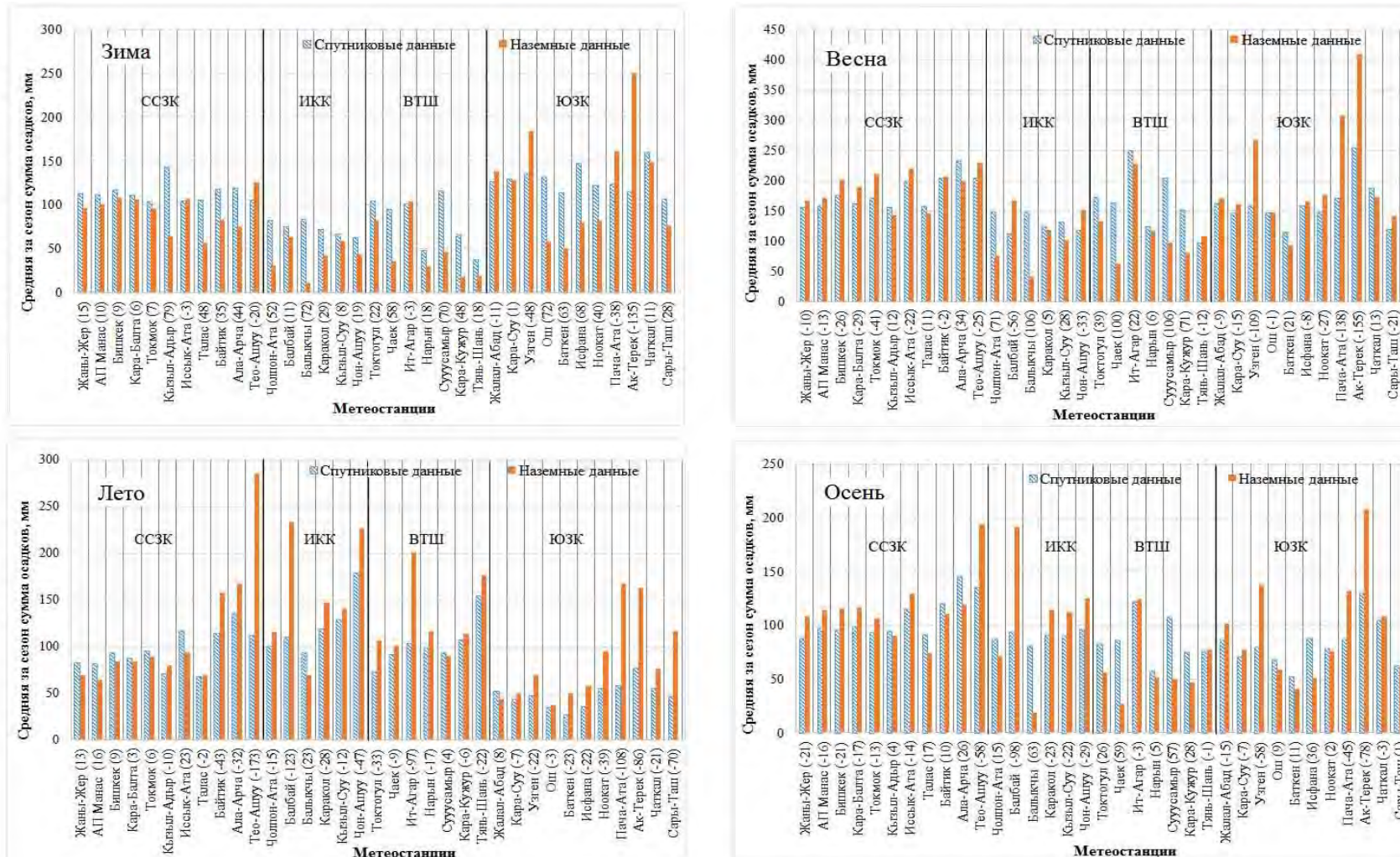


Рис. П.3.3. Средние за сезон суммы осадков и их разность (числа в скобках) по спутниковым и наземным наблюдениям

для 35 МС Кыргызстана

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.4

Таблица П. 3.4 – Рассчитанные абсолютные СКО - $S_{\Delta R}$ (мм) и относительные СКО_{отн.} - $S_{\Delta R(\%)}$ (%) значения ошибок для месячных сумм осадков по 35 метеостанциям Кыргызстана

МС	Северный, Северо-Западный Кыргызстан (ССЗК)													
	месяц	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Среднее
Жаны-Жер	$S_{\Delta R}$, мм	12	10	14	14	12	12	17	13	8	15	14	11	13
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	41	31	30	24	19	39	55	169	45	33	32	31	46
АП Манас	$S_{\Delta R}$, мм	10	9	7	20	24	10	12	14	13	24	19	23	16
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	34	31	13	38	38	43	44	103	70	56	39	54	47
Бишкек	$S_{\Delta R}$, мм	15	8	24	11	31	11	19	5	10	13	11	11	14
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	47	20	43	14	46	27	68	33	53	30	22	31	36
Кара-Балта	$S_{\Delta R}$, мм	13	12	23	11	14	13	9	8	7	13	11	11	12
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	46	33	45	16	21	36	27	54	34	28	23	27	32
Токмок	$S_{\Delta R}$, мм	14	9	18	20	17	12	10	9	6	17	20	19	14
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	50	28	32	25	21	30	29	57	36	35	52	50	37
Кызыл-Адыр	$S_{\Delta R}$, мм	16	17	13	24	16	32	30	13	18	17	14	11	18
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	78	74	36	41	32	79	106	112	90	54	38	47	66
Иссык-Ата	$S_{\Delta R}$, мм	16	13	21	32	39	18	14	11	5	19	15	8	18
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	55	33	37	39	47	45	45	52	25	37	28	20	39
Талас	$S_{\Delta R}$, мм	8	9	11	9	14	11	11	9	6	7	15	12	10
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	49	51	35	16	24	34	45	57	48	24	44	53	40
Байтик	$S_{\Delta R}$, мм	14	15	22	28	29	22	27	19	8	13	11	10	18
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	60	49	51	33	37	37	43	55	29	30	31	34	41
Ала-Арча	$S_{\Delta R}$, мм	12	14	18	32	39	32	26	16	32	30	22	16	24
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	53	52	54	44	42	45	39	51	99	61	64	64	56
МС Тео-Ашуу	$S_{\Delta R}$, мм	13	19	24	25	39	34	33	35	21	34	23	21	27
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	35	42	43	30	43	31	29	54	35	45	43	44	39
среднее	$S_{\Delta R}$, мм	13	12	18	20	25	19	19	14	12	18	16	14	
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	50	40	38	29	34	41	48	72	51	39	38	41	

ИКК														
Чолпон-Ата	$S_{\Delta R}$, мм	11	15	22	21	12	23	25	27	18	34	18	18	20
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	97	168	123	85	36	75	50	77	67	130	119	176	100
Балбай	$S_{\Delta R}$, мм	7	26	14	33	40	25	25	25	37	27	38	8	25
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	27	94	52	52	52	32	26	45	62	34	81	35	49
Балыкчы	$S_{\Delta R}$, мм	8	16	19	17	20	22	24	10	12	23	14	16	17
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	301	409	275	168	83	92	103	47	131	318	985	370	274
Каракол	$S_{\Delta R}$, мм	13	7	12	21	24	28	18	20	17	19	13	7	17
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	96	52	48	51	46	46	40	48	43	46	42	49	51
Кызыл-Суу	$S_{\Delta R}$, мм	10	11	22	20	19	24	19	16	20	12	17	10	17
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	49	69	94	54	45	47	35	47	46	29	71	43	52
Чон-Ашуу	$S_{\Delta R}$, мм	9	12	15	29	31	41	45	38	21	21	13	13	24
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	51	100	81	50	42	51	59	55	40	51	43	78	59
среднее	$S_{\Delta R}$, мм	10	15	17	23	24	27	26	23	21	23	19	12	
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	104	149	112	77	51	57	52	53	65	102	223	125	
ВТШ														
Токтогул	$S_{\Delta R}$, мм	15	14	25	23	15	18	20	16	7	19	20	11	17
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	48	54	61	54	31	41	52	64	107	60	117	39	61
Чаяк	$S_{\Delta R}$, мм	8	16	8	9	32	22	17	21	10	17	15	11	15
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	73	143	43	58	112	53	48	89	167	143	168	64	97
Ит-Агар	$S_{\Delta R}$, мм	13	16	26	57	37	22	33	22	17	23	26	12	25
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	37	41	57	67	38	29	44	42	47	50	65	34	46
Нарын	$S_{\Delta R}$, мм	4	11	13	15	12	12	14	8	4	6	7	4	9
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	37	143	55	34	24	25	31	37	40	29	36	36	44
Суусамыр	$S_{\Delta R}$, мм	12	16	17	26	45	36	16	17	16	11	17	20	21
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	66	129	69	78	115	103	47	83	134	49	120	101	91
Кара-Кужур	$S_{\Delta R}$, мм	6	5	13	19	22	16	32	17	6	12	9	6	14
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	143	81	83	69	60	43	74	51	46	70	76	64	72
Тянь-Шань	$S_{\Delta R}$, мм	6	11	43	17	22	22	18	21	23	15	8	8	18
	$S_{\Delta R(\%)}$, %	121	117	180	44	50	36	25	48	64	52	79	152	81
среднее	$S_{\Delta R}$, мм	9	13	21	24	26	21	21	17	12	15	15	10	

	$S_{\Delta R}(\%), \%$	75	101	78	58	61	47	46	59	86	65	94	70	
ЮЗК														
Джала-Абад	$S_{\Delta R}, \text{мм}$	14	14	27	34	28	15	11	16	3	9	45	16	19
	$S_{\Delta R}(\%), \%$	26	32	50	53	53	56	87	358	47	22	89	35	76
Кара-Суу	$S_{\Delta R}, \text{мм}$	14	9	18	20	21	9	17	13	5	18	23	10	15
	$S_{\Delta R}(\%), \%$	30	23	37	33	42	40	108	114	75	50	70	19	53
Узген	$S_{\Delta R}, \text{мм}$	23	13	18	40	33	26	12	12	5	25	26	17	21
	$S_{\Delta R}(\%), \%$	38	23	22	37	43	62	58	148	49	43	39	25	49
Ош	$S_{\Delta R}, \text{мм}$	40	27	28	17	20	14	7	10	4	6	12	17	17
	$S_{\Delta R}(\%), \%$	301	153	67	27	49	167	49	70	102	22	45	81	95
Баткен	$S_{\Delta R}, \text{мм}$	19	16	14	21	15	14	5	3	3	11	16	24	13
	$S_{\Delta R}(\%), \%$	130	120	61	71	37	56	26	36	41	77	87	95	70
Исфана	$S_{\Delta R}, \text{мм}$	23	31	38	30	33	25	29	13	8	33	29	19	26
	$S_{\Delta R}(\%), \%$	88	100	79	47	61	98	150	110	253	199	94	69	112
Ноокат	$S_{\Delta R}, \text{мм}$	15	18	17	17	24	29	28	13	7	17	17	18	18
	$S_{\Delta R}(\%), \%$	63	72	42	23	37	63	86	77	76	44	61	52	58
Пача-Ата	$S_{\Delta R}, \text{мм}$	28	16	24	34	67	36	38	19	16	34	18	22	29
	$S_{\Delta R}(\%), \%$	58	26	28	35	54	49	57	71	63	66	35	40	48
Ак-Терек	$S_{\Delta R}, \text{мм}$	24	31	40	68	69	32	35	17	11	41	42	39	37
	$S_{\Delta R}(\%), \%$	32	34	34	49	46	42	58	63	45	48	45	44	45
Чаткал	$S_{\Delta R}, \text{мм}$	21	21	21	19	34	33	26	6	21	20	18	15	21
	$S_{\Delta R}(\%), \%$	50	37	34	33	62	85	88	70	116	46	40	28	58
Сары-Таш	$S_{\Delta R}, \text{мм}$	15	13	15	16	14	26	21	15	16	13	18	12	16
	$S_{\Delta R}(\%), \%$	73	50	45	29	27	60	45	61	109	45	106	40	57
среднее	$S_{\Delta R}, \text{мм}$	21	19	24	29	33	24	21	12	9	21	24	19	
	$S_{\Delta R}(\%), \%$	81	61	45	40	46	71	74	107	89	60	65	48	

Примечание – по МС Кара-Кужур был исключен зимний сезон, ввиду выброса (пика) значений зима 2005-2006.



Рис. П. 3.5. Разности среднемесячных сумм осадков ΔR по спутниковым и наземным наблюдениям для 35 МС Кыргызстана

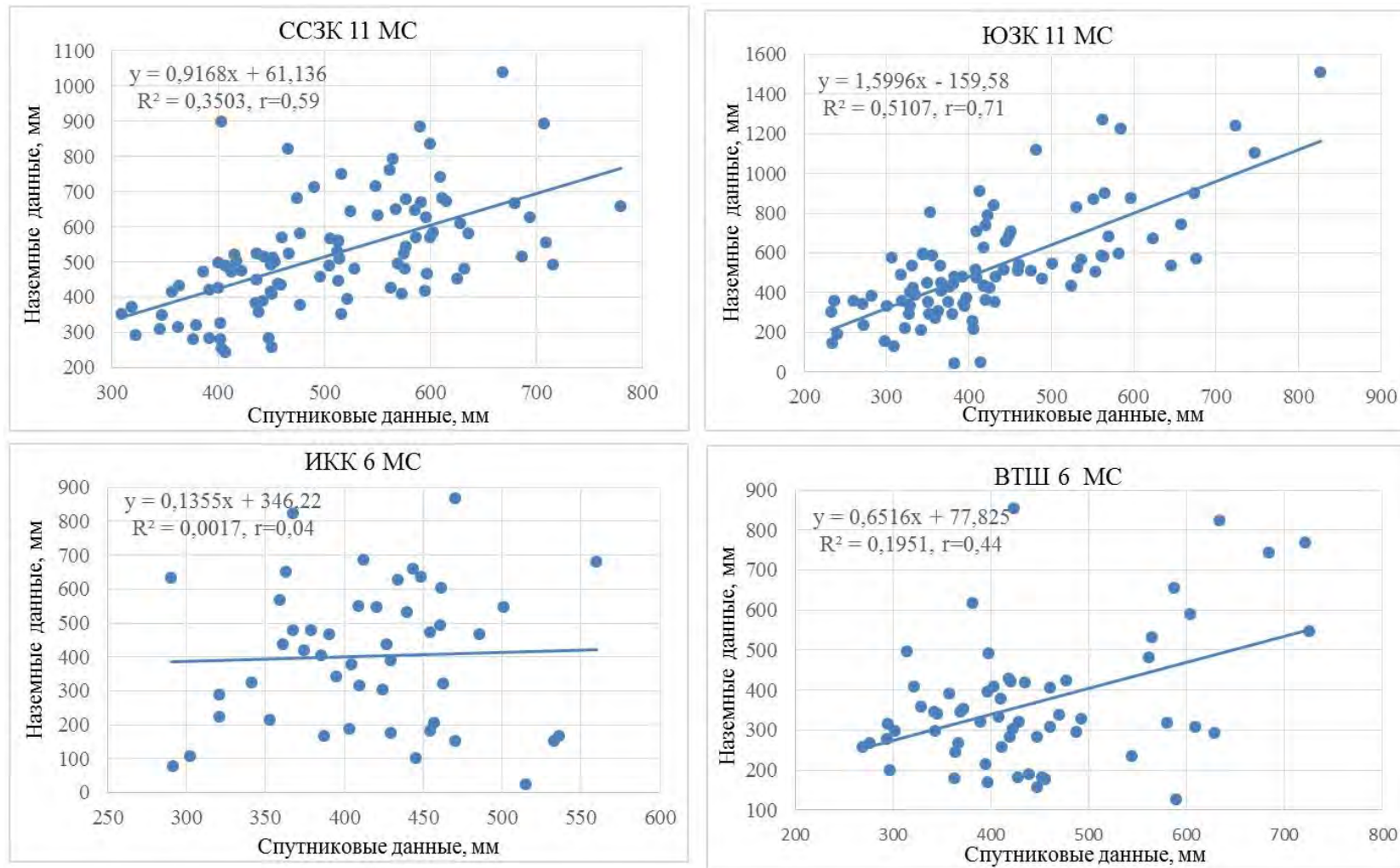


Рис. П. 4.1. Графики зависимостей годового количества осадков между спутниковыми и наземными данным для 35 метеостанций, по различным климатическим провинциям Кыргызстана

ПРИЛОЖЕНИЕ 4.2

Таблица П. 4.2 – Характеристики уравнений регрессии годовых сумм осадков по спутниковым и наземным наблюдениям для 35 МС Кыргызстана за период 1998-2006 гг.: b_1 – угловой коэффициент регрессии мм/км; b_0 – остаточный член, мм; $\pm S$ – средняя квадратическая ошибка регрессии, мм; r – коэффициент корреляции

№	МС	Высота, км	Параметры регрессии				Значимость $p=0.95$	Значимость $p=0.90$
			b_1	b_0	S	r		
1	Жаны-Жер	0,596	0,799	96,2	54,0	0,84	значима	значима
2	АП Манас	0,633	0,761	109,1	63,1	0,82	значима	значима
3	Бишкек	0,756	0,964	49,0	84,0	0,71	значима	значима
4	Жалал-Абад	0,763	1,184	-52,9	159,9	0,64	не значима	значима
5	Кара-Балта	0,770	1,103	-1,1	50,2	0,86	значима	значима
6	Токмок	0,817	1,069	13,1	104,4	0,58	не значима	значима
7	Кара-Суу	0,860	1,012	18,4	56,7	0,90	значима	значима
8	КЫЗЫЛ-АДЫР	0,924	0,789	16,2	180,6	0,37	не значима	не значима
9	Узген	1,012	1,050	212,9	103,7	0,77	значима	значима
10	Ош	1,016	1,114	-150,5	21,0	0,99	значима	значима
11	Иссык-Ата	1,028	0,552	262,6	107,9	0,39	не значима	не значима
12	Баткен	1,050	0,218	175,3	81,7	0,19	не значима	не значима
13	Исфана	1,180	1,134	-91,9	150,0	0,71	значима	значима
14	Токтогул	1,082	0,927	-20,0	51,5	0,89	значима	значима
15	Талас	1,217	1,221	-162,8	41,6	0,91	значима	значима
16	Ноокат	1,325	0,761	109,1	85,4	0,57	не значима	не значима

17	Пача-Ата	1,537	1,460	141,6	145,5	0,67	значима	значима
18	Байтик	1,579	0,619	221,1	65,3	0,69	значима	значима
19	Балбай	1,645	0,884	337,8	129,6	0,41	не значима	не значима
20	Чолпон-Ата	1,645	-0,422	465,3	86,2	0,34	не значима	не значима
21	Чаяк	1,651	0,590	-28,7	68,4	0,32	не значима	не значима
22	Балыкчы	1,660	-0,152	194,1	63,6	0,19	не значима	не значима
23	Каракол	1,716	0,248	329,5	74,7	0,22	не значима	не значима
24	Кызыл-Суу	1,740	0,652	143,2	118,6	0,27	не значима	не значима
25	Ак-Терек-Гава	1,748	1,613	86,7	206,2	0,79	значима	значима
26	Чаткал	1,937	0,448	285,2	97,4	0,45	не значима	не значима
27	Ит-Агар	2,011	0,200	544,9	157,2	0,17	не значима	не значима
28	Нарын	2,040	1,309	-102,9	53,7	0,77	значима	значима
29	Суусамыр	2,061	-0,426	513,0	71,4	0,47	не значима	не значима
30	Ала-Арча	2,130	0,141	473,8	89,4	0,18	не значима	не значима
31	Чон-Ашуу	2,800	-0,729	873,6	157,3	0,29	не значима	не значима
32	Кара-Кужур	2,800	2,471	-775,5	98,9	0,72	значима	значима
33	Сары-Таш	3,155	0,568	206,8	85,4	0,34	не значима	не значима
34	Тео-Ашуу	3,225	0,629	480,7	98,9	0,55	не значима	не значима
35	Тянь-Шань	3,635	0,193	309,1	75,5	0,10	не значима	не значима

Примечание – многие уравнения не значимы, возможно в связи с коротким периодом наблюдений исходных данных. При $p=0.95$ значима для 15 из 35 станций. При $p=0.90$ значима для 17 станций из 35.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4.3

Таблица П. 4.3 – Коэффициент корреляции для сезонных сумм осадков по спутниковым и наземным наблюдениям для 35 МС Кыргызстана за период 1998-2007 гг.

Стан-ция	Ала-Арча	Байтик	Бишкек	Жаны-Жер	Иссык-Ата	Кара-Балта	Кызыл-Адыр	Манас	Талас	Тео-Ашуу	Токмок	Среднее
Сезон	Северный, Северо-Западный Кыргызстан (ССЗК)											
зима	0,60	0,53	0,59	0,52	0,40	0,27	0,56	0,42	0,26	0,76	0,40	0,48
весна	0,51	0,51	0,81	0,95	0,61	0,89	0,76	0,87	0,90	0,81	0,88	0,77
лето	0,37	0,51	0,83	0,84	0,72	0,85	0,71	0,89	0,97	0,45	0,81	0,72
осень	0,19	0,89	0,89	0,81	0,92	0,91	0,67	0,95	0,82	0,63	0,76	0,77
	Иссык-Кульская котловина (ИКК)											
	Балбай	Балык-чы	Каракол	Кызыл-Суу	Чолпон-Ата	Чон-Ашуу						
зима	0,51	-0,54	0,52	0,56	-0,42	0,56						0,20
весна	0,24	0,11	0,64	0,42	0,40	-0,02						0,30
лето	0,47	0,24	0,63	-0,04	0,16	-0,12						0,22
осень	0,76	-0,18	0,33	0,47	-0,03	-0,05						0,22
	Юго-Западный Кыргызстан (ЮЗК)											
	Ак-Терек	Баткен	Джалал-Абад	Исфана	Кара-Суу	Ноокат	Ош	Пача-Ата	Сары-Таш	Узген	Чаткал	
зима	0,92	0,49	0,94	0,11	0,96	0,57	0,36	0,67	0,80	0,92	0,74	0,68
весна	0,74	0,57	0,73	0,74	0,83	0,79	0,76	0,57	0,80	0,87	0,77	0,74
лето	0,90	0,48	0,75	0,40	0,72	0,62	0,57	0,44	0,40	0,90	0,49	0,61
осень	0,82	0,49	0,53	0,00	0,78	0,83	0,91	0,73	0,29	0,77	0,83	0,63
	Внутренний Тянь-Шань (ВТШ)											
	Ит-Агар	Кара-Кужур	Нарын	Суусамыр	Токтогул	Тянь-Шань	Чаек					
зима	0,86	0,03	0,88	0,31	0,89	0,14	0,66					0,54
весна	0,29	-0,42	0,49	0,04	0,92	0,26	0,25					0,26
лето	0,68	0,67	0,88	0,04	0,81	0,54	0,45					0,58
осень	0,46	0,69	0,94	0,67	0,69	0,24	0,39					0,58

Гриф
Экз. № 1

УТВЕРЖДАЮ
Со-директор ЦАИИЗ
К.Ф.-м.н. Молдобжов Б.Д.



«18» октября 2019 г.

А К Т

о реализации научных результатов, полученных в диссертации Рыскаль Марины Олеговны на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.30 – метеорология, климатология, агрометеорология на тему: «Оценка сумм осадков на территории Кыргызстана по данным спутниковых наблюдений»

Комиссия в составе: председателя – руководителя отдела «Климат, вода и природные ресурсы», к.г.н., Усубалиева Р.А., членов комиссии - с.н.с., к.г.-м.н. Мандычева А.Н., м.н.с., PhD. Осмонова А.Т., инженер, PhD. Шайдылдаева Н. свидетельствует о том, что при выполнении научных исследований по проблеме деградации оледенения на востоке Кыргызстана в условиях изменения климата были использованы следующие научные результаты, полученные в кандидатской диссертации Рыскаль М.О.

1. Технология приведения спутниковых данных и полученные в процессе ее реализации, приведенные к наблюдениям метеостанций оценки годовых сумм осадков, для территории в районе ледника Южный Еньюльчек,
2. Карты годовых сумм осадков, полученные по модели «ТМРА», по приведенным суммам осадков для высокогорной территории в районе ледника Южный Еньюльчек.

Реализация материалов диссертации Рыскаль М.О. позволила:

1. Восполнить недостающие ряды данных наземных измерений атмосферных осадков за те периоды, когда, в рассматриваемом районе, стационарные метеостанции Кыргызгидромета прекратили работу, а автоматические станции не производили измерения из-за технических сбоев.

2. Благодаря непрерывному ряду полученных приведенных сумм осадков для территории ледника Южный Еньюльчек была получена возможность оценки многолетней тенденции изменения баланса массы ледника.

Материалы диссертации использованы в следующих документах, материалах и разработках:

1. Тематический проект: Изучение опорных ледников Кыргызстана.

По результатам реализации получен следующий положительный эффект:

1. Предлагаемая в диссертационном исследовании методика приведения современных спутниковых данных по осадкам, получаемых по модели «ТМРА», позволила использовать адаптированные оценки сумм осадков для прикладного гляцио-климатического исследования для территории в районе ледника Южный Еньюльчек.
2. Полученные по спутниковым данным оценки величин атмосферных осадков могут быть использованы как для сравнительного анализа с данными автоматических метеостанций, установленных в высокогорной зоне на леднике Южный Еньюльчек так и для восполнения недостающих данных наземных измерений в любой точке Кыргызстана, в период наличия спутниковых наблюдений.
3. В результате использования адаптированных спутниковых данных для территории в районе ледника Южный Еньюльчек, удалось уточнить закономерности влияния основных климатических факторов, в частности атмосферных осадков, на режим деградации ледника.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ КОМИССИИ

Усубалиев Р.А.

ЧЛЕНЫ КОМИССИИ:

Мандычев А.Н.

Осмонов А.Т.

Шайдылдаева Н.М.

Забегено
Кар. Огулжолбо
Шайдылова Н.Н.



Рис. П. 4.4. Акт внедрения результатов диссертационной работы