

**ГЕОГРАФИЯ ИЛИМДЕРИ**  
**ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ НАУКИ**  
**GEOGRAPHICAL SCIENCES**

**Рыскаль М.О.**

**КЫРГЫЗСТАНДЫН АР ТҮРДҮҮ БИЙИКТИКТЕГИ ЗОНАЛАРЫ  
 ҮЧҮН СПУТНИКАЛЫК ЖАНА ЖЕРДЕГИ МААЛЫМАТТАР АРКЫЛУУ  
 АЛЫНУУЧУ СТАТИСТИКАЛЫК БАЙЛАНЫШТАР ЖАНА ЖААН-  
 ЧАЧЫНДАРДЫН СУММАЛАРЫНЫН КӨЗ КАРАНДЫЛЫГЫ**

**Рыскаль М.О.**

**СТАТИСТИЧЕСКИЕ СВЯЗИ И ЗАВИСИМОСТИ  
 СУММ ОСАДКОВ ПОЛУЧАЕМЫХ ПО СПУТНИКОВЫМ  
 НАЗЕМНЫМ ДАННЫМ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ  
 ВЫСОТНЫХ ЗОН КЫРГЫЗСТАНА**

**M.O. Ryskal**

**STATISTICAL RELATIONS AND  
 DEPENDENCIES OF PRECIPITATION AMOUNTS OBTAINED  
 USING SATELLITE AND GROUND DATA FOR VARIOUS  
 ALTITUDES OF KYRGYZSTAN**

УДК: 551.501.777(23.0) (575.2)

Бул макалада Кыргызстандын ар түрдүү бийиктиктеги аймактары үчүн спутникалык (ТМРА-3В43 модели) жана жердеги маалыматтар боюнча корреляциялык байланыштары жана регрессиялык көз карандылыгы каралган. 1998-2007-жылдарга 0,6-3,6 км аралыктагы бийиктик диапазонунда жайгашкан 35 метеостанциянын маалыматтары колдонулду. Жалпы Кыргызстан боюнча ар түрдүү бийиктик зоналары үчүн жылдык жана сезондук жаан-чачындардын суммалары жана анын 4 климаттык провинциялары боюнча эсептөөлөрдүн жыйынтыгына баалоо жүргүзүлдү. Кыргызстандын тоолуу аймактарында аймактык-бийиктиктери жана жаан-чачындардын убактылуу бөлүштүрүүлөрүнүн айрым мыйзам ченемдери, ошондой эле аларды спутникалык сенсорлор аркылуу кабыл алуудагы айырмачылыктары белгиленген. Бул моделдин жардамы менен алынган жаан-чачындар боюнча келтирилген маалыматтарды прикладдык колдонуу. Төмөндө келтирилген корреляциянын-регрессиялык талдоонун жыйынтыктары ТМРА-3В43 спутникалык моделдин жыйынтыгы менен алынган жаан-чачындар боюнча эсептик маалыматтардын прикладдык колдонуу мүмкүнчүлүктөрү тууралуу оң жообун берет.

**Негизги сөздөр:** Кыргызстан, бийиктик зоналары, жаан-чачындар, спутникалык маалыматтар, жердеги маалыматтар, сезондук суммалары, жылдык суммалары, корреляция.

В работе рассматриваются корреляционные связи и регрессионные зависимости по спутниковым (модель ТМРА-3В43) и наземным данным для различных высотных зон Кыргызстана. Использованы данные 35 метеостанций за 1998-2007 гг., расположенных в диапазоне высот 0,6-3,6 км. Оценка результатов расчётов проводилась для различных высотных зон в целом по Кыргызстану и по 4 его климатическим провинциям для годовых и сезонных сумм осадков. Были установлены некоторые закономерности территориально-высотного и временного распределения осадков в горных районах Кыргызстана и различия в их восприятии спутниковыми сенсорами. Результаты приводимого ниже корреляционно-регрессионного анализа дают положительный ответ о возможности прикладного использования расчетных данных по осадкам, получаемых с помощью спутниковой модели ТМРА-3В43, в каждой высотной зоне Кыргызстана.

**Ключевые слова:** Кыргызстан, высотные зоны, осадки, спутниковые данные, наземные данные, сезонные суммы, годовые суммы, корреляция.

The paper discusses correlations and regression dependencies on satellite (ТМРА-3В43 model) and ground data for various altitudes of Kyrgyzstan. The data of 35 weather stations for 1998-2007, located in the altitude range of 0.6–3.6 km, were used. The evaluation of the calculation results was carried out for various altitudinal zones in general for Kyrgyzstan and for 4 of its climatic provinces for annual and seasonal precipitation amounts. Some regularities of the

*territorial-altitude and temporal distribution of precipitation in the mountainous regions of Kyrgyzstan and differences in their perception by satellite sensors were established. The results of the correlation-regression analysis given below give a positive answer about the possibility of the applied use of the calculated data on precipitation obtained using the satellite model TMPA-3B43 in each high-altitude zone of Kyrgyzstan.*

**Key words:** *Kyrgyzstan, high-altitude zones, precipitation, satellite data, ground data, seasonal sum, annual sum, correlation.*

### 1. Введение.

Горная территория Кыргызстана занимает большой диапазон высотных отметок от 0,6 до 7,44 км (Пик Победы) со следующим распределением ее площади по различным высотным зонам:

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

Поэтому представляется весьма важным получить статистические зависимости различных сумм осадков по спутнику и наземным данным для его основных высотных зон. В качестве таких зон нами были использованы:

|            |              |                 |                 |               |
|------------|--------------|-----------------|-----------------|---------------|
| высота, км | до 1         | 1-1,5           | 1,5-2,5         | более 2,5     |
| зоны       | низко-горная | средне-горная 1 | средне-горная 2 | высоко-горная |
| число МС   | 8            | 8               | 14              | 5             |

Как видно в каждой высотной зоне находилось от 5 до 14 станций из их общего числа 35. Расположение этих станций по территории показано на рисунке 1 в нашей статье [10]. В качестве исходных спутниковых данных использовались полученные суммы осадков за месяц по модели TMPA-3B43 (Tropical Rainfall Measuring Mission Multi-satellite Precipitation Analysis), которые сопоставлялись с соответствующими суммами наземных осадков для станций названных высотных зон, за период с 1998 по 2007 гг. Спутниковые данные модели TMPA-3B43, представляющие собой сумму осадков за месяц, были взяты с официального сайта НАСА – [12]. Модель TMPA-3B43 - квазиглобальная модель, предназначенная для оценки осадков в зоне от 45° с.ш. до 45° ю.ш., получаемых с большого количества современных сенсоров, установленных на различных спутниках. Расчетные данные по модели представляют собой оценки сумм осадков за

каждый месяц в узлах сетки 0,25×0,25°, так что территорию Кыргызстана покрывают около 350 узлов [9]. Вопросом высотного распределения осадков посвящено множество работ [1,2,5-8], однако все они базировались лишь на наземных измерениях. Современные спутниковые данные по осадкам уже использовались в Кыргызстане для изучения снежного покрова и прогноза стока рек [3,4], однако данные об осадках модели TMPA-3B43 используются нами впервые. Целью настоящей работы является оценка корреляционных связей и регрессионных зависимостей годовых и сезонных сумм осадков, для различных высотных зон в целом по Кыргызстану и по 4 его климатическим провинциям. При этом использовалась следующая последовательность анализа по различным высотным зонам: территория Кыргызстана в целом, 4 климатические провинции, анализ проводился для годовых, а затем и для сезонных сумм осадков. По уравнениям регрессии вида:

$$y(\text{наз., мм}) = b_0 + b_1 * x(\text{сп., мм}) \pm s,$$

находились следующие параметры: угловой коэффициент -  $b_1$ , остаточный член -  $b_0$ , абсолютная -  $S$  (мм) и относительная -  $S$  (%) средняя квадратическая ошибка регрессии,  $n$  – объем выборки. Также определялась сила связи – коэффициент корреляции –  $r$  и оценивалась значимость каждого уравнения регрессии на уровне доверительной вероятности 0,90 и 0,95. Для качественной характеристики силы корреляционной связи, условно были приняты следующие градации коэффициентов корреляции  $r$  (по модулю): 1) очень слабая  $r < 0,25$ ; 2) слабая  $r = 0,25-0,5$ ; 3) средняя  $r = 0,5-0,7$ ; 4) высокая  $r = 0,7-0,9$ ; 5) очень высокая  $r = 0,9-1,0$ . Для повышения эффективности статистического анализа все станции и спутниковые данные были дифференцированы по 4 общепринятым климатическим провинциям Кыргызстана [1,5-8], характеризующимся, как это установлено всеми предшествующими исследованиями, значительным единством местных климатических условий: 1) Северный и Северо-Западный Кыргызстан (ССЗК), 2) Иссык-Кульская котловина (ИКК), 3) Юго-Западный Кыргызстан (ЮЗК) и 4) Внутренний Тянь-Шань (ВТШ).

**2. Корреляционно-регрессионный анализ зависимостей годовых и сезонных сумм**

осадков для территории Кыргызстана в целом.

**Годовые суммы осадков.** Рассмотрим параметры регрессии и корреляцию для годовых сумм осадков по различным высотным зонам в целом для территории Кыргызстана, по 35 его метеостанциям.

На рисунке 2 приведены 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. 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 (рис. 1), выполненные для годовых осадков по каждой из 4 высотных зон Кыргызстана приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Статистики корреляции и уравнений регрессии для годовых сумм осадков по спутниковым и наземным данным для ССЗК, ЮЗК, ИКК и ВТШ по различным высотным зонам. Обозначения смотрите в тексте.**

| 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              |
| ≥2,5       | 1,4981     | -140,7 | 165 | 33            | 0,68 | 42  | значима              |

Из рисунка 1 и таблицы 1 прежде всего видно, что для всех высотных зон – коэффициенты корреляции r спутниковых и наземных данных меняются незначительно от 0,57 до 0,68, что соответствует средней по силе связи, а уравнения регрессий статистически значимы на уровне доверительной вероятности  $p=0,95$  и имеют относительные погрешности в пределах от 23 до 35%. Ошибки регрессии 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.

Уравнения регрессии позволяют 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» или «расчетными» спутниковыми значениями осадков.

Оказалось (табл. 2), что до высоты 1 км при значениях исходных сумм осадков до 500 мм приведенные оказываются больше, в среднем на 12%, затем наоборот ниже, в среднем на 3%. В 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%.

Результаты расчета по уравнениям регрессии (табл. 1) приведенных годовых сумм осадков (мм) по заданным спутниковым данным.

|                                     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |
|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| Спутниковые исходные                | 150 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800  | 900  |
| Приведенные для $z \leq 1$ км       | 194 | 238 | 326 | 413 | 501 | 588 | 676 | 763  | 851  |
| Приведенные для $z \leq 1-1,5$ км   | 115 | 171 | 284 | 397 | 510 | 623 | 736 | 849  | 962  |
| Приведенные для $z \leq 1,5-2,5$ км | 139 | 198 | 316 | 433 | 551 | 669 | 786 | 904  | 1021 |
| Приведенные для $z \geq 2,5$ км     | 84  | 159 | 309 | 459 | 608 | 758 | 908 | 1058 | 1208 |

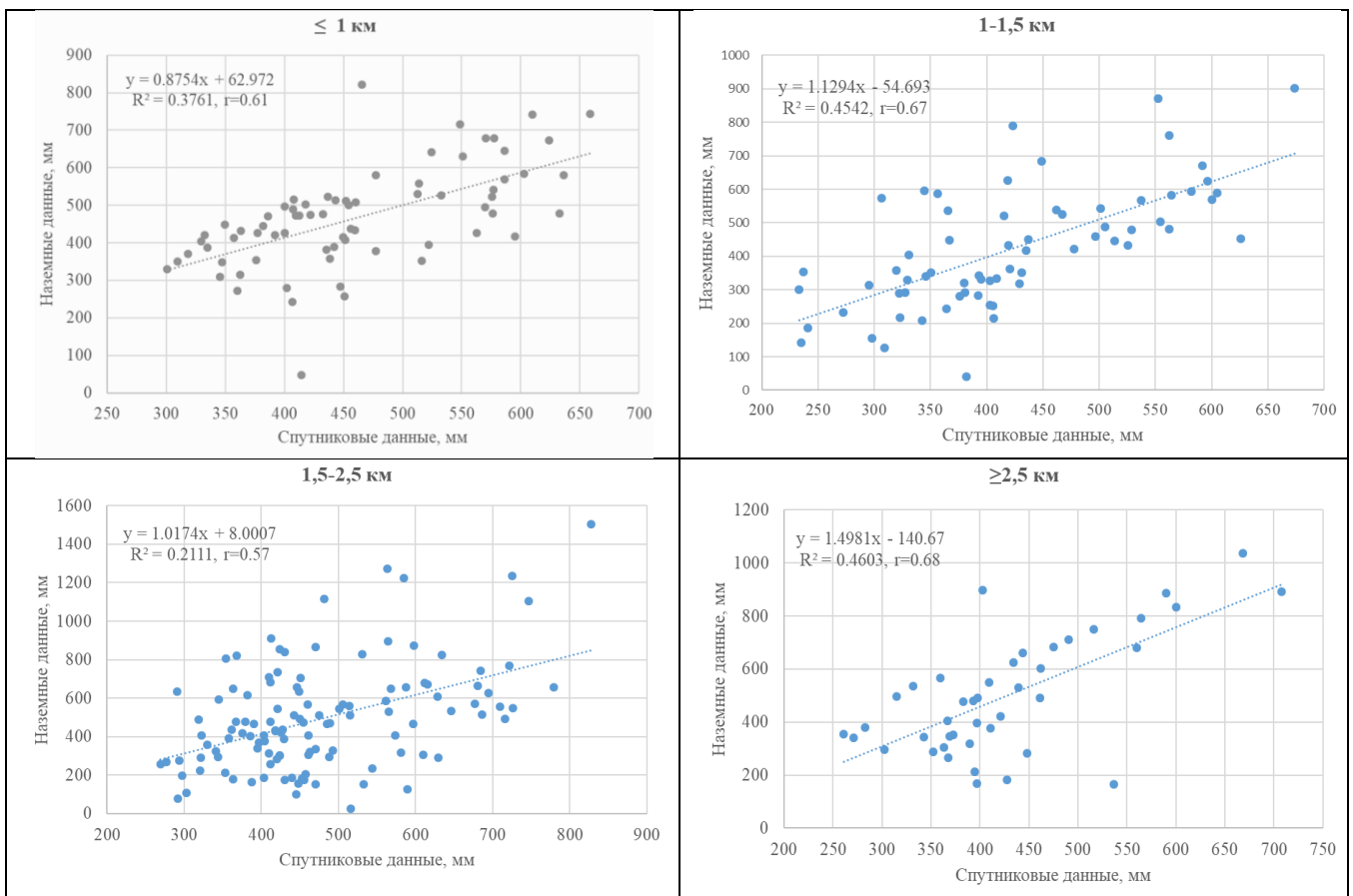


Рис. 1. Графики корреляционной зависимости годового количества осадков между спутниковыми и наземными данным для 35 метеостанций, по различным высотным зонам Кыргызстана за период 1998-2007 гг.

Приведем теперь общие результаты расчетов статистик корреляционных связей для годовых сумм осадков по всем 35 использованным метеостанциям для различных высотных зон (табл. 3).

Таблица 3

**Повторяемости градаций коэффициентов корреляции  $r$  с характеристикой силы связи для 35 метеостанций Кыргызстана по различным высотным зонам (в скобках дано число станций в %).**

| Сила связи и градация, $r$ | Высотная зона, км | 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              | $\leq 1$          | 0 (0)                   | 1 (3)                 | 2 (6)                 | 5 (14)                | 0 (0)                       |
| число станций              | 1-1,5             | 1 (3)                   | 1 (3)                 | 1 (3)                 | 3 (9)                 | 2 (6)                       |
| число станций              | 1,5-2,5           | 4 (11)                  | 6 (17)                | 2 (6)                 | 2 (6)                 | 0 (0)                       |
| число станций              | $\geq 2,5$        | 2 (6)                   | 2 (6)                 | 1 (3)                 | 0 (0)                 | 0 (0)                       |
| число станций              | <b>Сумма</b>      | <b>7 (20)</b>           | <b>10 (29)</b>        | <b>6 (17)</b>         | <b>10 (29)</b>        | <b>2 (6)</b>                |

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 МС, 5 из них (Чолпон-Ата, Балыкчи, Балбай, Кызыл-Суу, Каракол) относятся к ИКК, где наблюдается погрешности в спутниковых измерениях, вызванные наличием резкой границе в типе подстилающей поверхности «зеркало озера – склоны гор» [10,11]. 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 (Тоо-Ашуу).

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.** Перейдем теперь к рассмотрению статистических связей и зависимостей для сезонных сумм осадков по различным высотным зонам. В таблице 4 приведены статистические параметры уравнений регрессии для сезонных сумм осадков по различным высотным зонам Кыргызстана.

Таблица 4

Статистики корреляции и уравнений регрессии для сезонных сумм осадков по спутниковым и наземным данным в целом по Кыргызстану по различным высотным зонам. Обозначения: см в тексте.

| 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)       |
|       | ≥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)       |
|       | ≥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)       |
|       | ≥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)       |
|       | ≥2,5       | 1,3460     | -16,0 | 49 | 47            | 0,71 | 42  | значима (0,95)       |

Как видно из таблицы 4, в целом по Кыргызстану по всем высотным зонам регрессия оказалась значима для всех сезонов. Летом и зимой r практически совпадает и составляет в среднем 0,56, а зимой и осенью, во время активации фронтальных процессов коэффициент увеличивается до 0,65. Для высотных зон распределение выглядит следующим образом. Для высот менее 1 км коэффициент корреляции достигает своего

наибольшего значения – в среднем по зоне r меняется от 0,51 до 0,81. Для высоты 1-1,5 и 1,5-2,5 км коэффициент корреляции находится 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 высотной зоны 1,5-2,5 км.

Таблица 5

Результаты расчета по уравнениям регрессии (табл. 4) приведенных сезонных сумм осадков (мм) по заданным спутниковым данным и отношения данных  $\lambda$  = исходные спутниковые/приведенные по каждой высотной зоне.

| Сезон | Высота, км | Приведенные суммы, мм |    |     |     |     |     | $\lambda$ |      |      |      |      |      | Тип |
|-------|------------|-----------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----------|------|------|------|------|------|-----|
|       |            | 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   |
|       | ≥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   |
|       | ≥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 |
|       | ≥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 |
|       | ≥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  $\lambda$  можно условно представить следующими 4 типами: 1 - примерное «равенство» значений по всему диапазону сумм осадков близкое к коэффициенту  $\lambda = 1$ , 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. Благодаря такой типизации, картина расхождений наглядно представлена в таблице 5. Видно, что в большинстве случаев наблюдается тип 2, а значит спутниковые данные чаще занижают фактические наземные. И лишь весной и зимой для зоны 1,5-2,5 км и летом для высот менее 1 км наблюдается тип 3. Это может быть связано с тем что в это время активизируются синоптические процессы,

связанные с длительным стационарированием облачности, особенно на склонах передовых хребтов. Спутниковые сенсоры, в силу несовершенства методик, фиксируя эту облачность переоценивают количество осадков, которые по факту могут и не выпасть [11].

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.

### 3. Корреляционно-регрессионный анализ зависимостей годовых и сезонных сумм осадков для различных климатических провинций Кыргызстана.

Далее рассмотрим параметры уравнений регрессии для 4 климатических провинций Кыргызстана по различным высотным зонам.

Таблица 6

Статистики корреляции и уравнений регрессии для годовых сумм осадков по спутниковым и наземным данным для ССЗК, ЮЗК, ИКК и ВТШ по различным высотным зонам. Обозначения: см. в тексте.

| Провинция | Высота, км | Статистика |        |     |                      |      |    | Значимость регрессии |
|-----------|------------|------------|--------|-----|----------------------|------|----|----------------------|
|           |            | $b_1$      | $b_0$  | s   | S <sub>отн</sub> , % | 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)       |
|           | ≥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)       |
|           | ≥2,5       | -0,6283    | 571,0  | 100 | 30                   | 0,25 | 15 | не значима           |

По отдельным климатическим провинциям, в 11 случаях из 13 (85%) 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 7 случаев или 54%. 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. 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  $r=0,73$ . Абсолютные значения средних квадратических ошибок (СКО) статистически значимых регрессий (табл. 4) 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».

В таблице 6 представлены параметры уравнений регрессии для сезонных сумм осадки по каждой провинции и по каждой высотной зоне.

Таблица 7

Статистики корреляции и уравнений регрессии для сезонных сумм осадков по спутниковым и наземным данным для ССЗК, ЮЗК, ИКК и ВТШ по различным высотным зонам. Обозначения: см. в тексте.

| Сезон       | Высота, км | Статистика |       |    |                      |      |    | Значимость регрессии |
|-------------|------------|------------|-------|----|----------------------|------|----|----------------------|
|             |            | $b_1$      | $b_0$ | s  | S <sub>отн</sub> , % | r    | n  |                      |
| <b>ССЗК</b> |            |            |       |    |                      |      |    |                      |
| 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)       |
|             | ≥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)       |
|             | ≥2,5       | 0,7163     | 82,7  | 38 | 17                   | 0,81 | 10 | значима (0,95)       |
| Лето        | ≤1         | 1,1345     | -17,4 | 34 | 43                   | 0,73 | 59 | значима (0,95)       |
|             | 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)       |
|             | ≥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)       |
|             | ≥2,5       | 1,4189     | 2,2   | 61 | 32                   | 0,63 | 9  | значима (0,90)       |
| <b>ИКК</b>  |            |            |       |    |                      |      |    |                      |
| Зима        | 1,5-2,5    | -0,0585    | 45,9  | 30 | 72                   | 0,05 | 39 | не значима           |
|             | ≥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           |
|             | ≥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              |
|             | ≥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)       |
|             | ≥2,5       | -0,0854    | 133,4 | 37 | 29                   | 0,05 | 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     |
|       | ≥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) |
|       | ≥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) |
|       | ≥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) |
|       | ≥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) |
|       | ≥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) |
|       | ≥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) |
|       | ≥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) |
|       | ≥2,5    | 1,5882  | -70,4 | 35  | 54 | 0,90 | 15 | значима (0,95) |

Регрессия оказалась не значима в 17 случаях из 52, то есть в 32% (см. табл. 7). Коэффициент корреляции  $r$  в среднем по ССЗК, ЮЗК и ВТШ близок и составляет в среднем 0,6, но для ИКК он оказался довольно низким - 0,19. Также по этой провинции в 7 случаях из 8 регрессия оказалась не значима при уровне доверительной вероятности  $p=0,95$ , и в 5 случаях при уровне  $p=0,90$ . Такой результат в очередной раз свидетельствует о том, что спутниковые данные не отражают реальную картину пространственно-временного распределения осадков в этой климатической провинции. И лишь летом, когда выпадают значительные конвективные осадки, регрессия становится значима. В ССЗК незначима регрессия оказалась лишь зимой для высот менее 1,5 км, а также летом для высоты более 2,5 км.

Для осени с высоты более 1,5 км регрессия не значима при уровне доверительной вероятности  $p=0,95$ , но значима 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 регрессия незначима для высоты более 2,5 км зимой и весной. В среднем  $S_{09n}$  для ССЗК составляет 28%, а по остальным провинциям меняется незначительно от 42 до 48%. В целом, можно сделать следующий вывод: чаще всего очень хорошая согласованность данных наблюдается в средних высотных поясах в период весна-осень во всех провинциях, за исключением ИКК.

Таким образом результаты корреляционно-регрессионного анализа дают положительный

ответ о возможности прикладного использования расчетных данных по осадкам, получаемых с помощью спутниковой модели TMPA-3B43, в каждой высотной зоне Кыргызстана, за исключением ИКК, где наблюдается искажение отраженного электромагнитного сигнала за счет наличия резкой границы в подстилающей поверхности «зеркало озера-склоны хребтов» и в целом наблюдается самая низкая взаимосвязь данных.

#### Литература:

1. Атлас Киргизской ССР. Том 1. Природные условия и ресурсы. - М.: ГУГК СССР, 1987. - 157 с.
2. Бажанова Л.В. Влияние изменений климата на гидрологический режим рек высокогорной зоны (на примере р.Кашка-Тор в бассейне озера Иссык-Куль). / Республиканский научно-теоретический журнал «Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана», №3. - Бишкек, 2018. - С. 186-191.
3. Калашникова О. К разработке методов долгосрочного прогноза стока горных рек и притока воды в водохранилища на примере реки Нарын. Республиканский научно-теоретический журнал «Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана», №5. - Бишкек, 2015. - С. 100-103.
4. Карасева М.О. Подрезов О.А. Максимальный водозапас и высота снежного покрова на северном склоне Алайского хребта. / Метеорология и гидрология в Кыргызстане. Вып. 10. / Под ред. О.М. Стрижанцевой. - Бишкек: Изд-во КРСУ, 2017. - С. 108-119.
5. Климат Киргизской ССР. / Под редакцией З.А. Рязанцевой. - Фрунзе: Илим, 1965. - 292 с.
6. Кузьмичонок В.А. Цифровые модели характеристик увлажнения Кыргызстана. - Бишкек: Изд-во КРСУ, 2008. - 229 с.
7. Пономаренко П.Н. Атмосферные осадки Киргизии/ Под редакцией О.А. Дроздова. - Л.: Гидрометеоздат, 1976. - 134 с.
8. Подрезов О.А. Горная климатология и высотная климатическая зональность Кыргызстана. - Бишкек: Изд-во КРСУ, 2014. - 170 с.
9. Рыскаль М.О., Павлова И.А. Методика подбора точек сетки ГРИД для анализа осадков модели TMPA по данным спутника TRMM на территории Кыргызстана. / Вестник КРСУ. - 2018. - Т.18. - №18. - С. 181-186.
10. Рыскаль М.О. Оценка годовых и сезонных сумм осадков, полученных по мультиспутниковой модели TRMM для горных районов Кыргызстана. / Вестник КРСУ. - 2018. - Том 18. - №12. - С. 141-145.
11. Karaseva M.O. Validation of high-resolution TRMM - 3B43 precipitation product using rain gauge measurements over Kyrgyzstan. / M.O. Karaseva, S.Prakash, R.M. Gairola / Theoretical and Applied Climatology. 2011. Vol. 108. №1-2. - PP. 147-157.
12. URL:<http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/> (дата обращения: 11.10.2018).

Рецензент: к.геогр.н., доцент Павлова И.А.