

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

УДК 625.042:551.501.777(575.2) DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-4-147-158

*В.Н. ЕФИМЕНКО¹, С.В. ЕФИМЕНКО¹,
Э.М. КАРИМОВ², Г.Т. МАМАЖАКЫПОВА²,*

¹Томский государственный архитектурно-строительный университет,

²Ошский технологический университет

ПРИКЛАДНОЕ ЗНАЧЕНИЕ СПУТНИКОВОЙ МОДЕЛИ ТМРА ПРИ УСТАНОВЛЕНИИ НОРМЫ ГОДОВОГО КОЛИЧЕСТВА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ ПО ДОРОЖНО-КЛИМАТИЧЕСКИМ ЗОНАМ НА ТЕРРИТОРИИ ЮГО-ЗАПАДНОГО КЫРГЫЗСТАНА

В статье рассмотрено прикладное значение спутниковой модели ТМРА при установлении нормы годового количества атмосферных осадков по дорожно-климатическим зонам на территории Республики Кыргызстан.

Увлажнение земляного полотна в регионе исследования в значительной мере зависит от количества атмосферных осадков. Уровень грунтовых вод на территории исследования преимущественно находится глубоко и не оказывает влияния на процессы влагонакопления в грунтах рабочего слоя земляного полотна. С учетом того, что прочность и устойчивость грунтов рабочего слоя земляного полотна подвержены влиянию водно-тепловых процессов, в статье приведены результаты оценки влагонакопления в дорожных конструкциях на основе спутниковых данных изучения выпадения осадков на территории Кыргызстана.

Ключевые слова: спутниковая модель ТМРА; атмосферные осадки; испарение с поверхности суши; уровень грунтовых вод; водный баланс; автомобильная дорога; земляное полотно; дорожно-климатическая зона.

Для цитирования: Ефименко В.Н., Ефименко С.В., Каримов Э.М., Мамажакыпова Г.Т. Прикладное значение спутниковой модели ТМРА при установлении нормы годового количества атмосферных осадков по дорожно-климатическим зонам на территории Юго-Западного Кыргызстана // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 4. С. 147–158. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-4-147-158

V.N. EFIMENKO¹, S.V. EFIMENKO¹,
E.M. KARIMOV², G.T. MAMAGAKIPOVA²,

¹*Tomsk State University of Architecture and Building,*

²*Osh Technological University*

TMPA SATELLITE MODEL APPLIED FOR DETERMINATION OF ANNUAL PRECIPITATIONS IN ROAD BUILDING CLIMATIC ZONES IN SOUTHWEST KYRGYZSTAN

The article deals with the TMPA satellite model applied for determination of the annual quantity of precipitations in road building climatic zones on the territory of the Republic of Kyrgyzstan. The subgrade humidification in this region largely depends on the precipitation quantity. The ground water level is rather low and does not affect the moisture accumulation in subgrade soils. The strength and stability of subgrade soils are subject to the influence of water and heat balance of the road pavement. The results of the moisture accumulation analysis in the road structures are obtained by using the data obtained from the TMPA satellite on the annual quantity precipitation in the territory of the Republic of Kyrgyzstan.

Keywords: TMPA satellite model; precipitation; ground water level; water balance; automobile road; subgrade; road building climatic zone.

For citation: Efimenko V.N., Efimenko S.V., Karimov E.M., Mamagakipova G.T. Prikladnoe znachenie sputnikovoi modeli TMPA pri ustanovlenii normy godovogo kolichestva atmosferynykh osadkov po dorozhno-klimaticheskim zonam na territorii yugo-zapadnogo Kyrgyzstana [TMPA satellite model applied for determination of annual precipitations in road-building climatic zones in southwest Kyrgyzstan]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 4. Pp. 147–158.
DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-4-147-158

Введение

В зависимости от гидрогеологических условий местности, типа покрытия и условий водоотвода земляное полотно в районе исследования может увлажняться за счет следующих источников [1]:

– атмосферных осадков, выпадающих на протяжении осени, зимы и весны, которые просачиваются через обочины и откосы к грунтовому основанию, а также в места неудовлетворительного состояния водонепроницаемого покрытия (выбоины, трещины, места необеспеченного водоотвода);

– поверхностных вод, которые вследствие затрудненного водоотвода могут увлажнять грунтовое основание путем капиллярного и плёночного передвижения воды;

– грунтовых вод или верховодок. При близком залегании грунтовых вод (осенний уровень находится на глубине, меньшей, чем глубина промерзания, плюс высота капиллярного поднятия воды в грунте) и в глинистых или пылеватых грунтах происходит постоянное капиллярно-восходящее увлажнение грунтов земляного полотна;

– плёночной воды, которая в промерзающих грунтах перемещается в зоне фазовых температур за счет миграции влаги из нижележащих талых слоев;

– парообразной воды, которая может перемещаться в порах грунта под влиянием даже незначительных температурных градиентов в область пониженного давления. Увлажнение грунтов земляного полотна происходит за счет конденсации паров.

Закон сохранения материи применительно к процессу влагообмена между деятельным слоем земли и атмосферой для некоторого промежутка времени принято записывать в виде уравнения водного баланса участка суши [2]:

$$r = q_c - q_u + q_v, \quad (1)$$

где r – сумма осадков за рассматриваемый период времени; q_c ; q_u ; q_v – соответственно сток, испарение и впитывание влаги для единичной поверхности.

Увеличение влажности грунта земляного полотна за счет инфильтрации атмосферных осадков может наступать с момента выполнения условия [1]:

$$r - q_u > 0. \quad (2)$$

Испарение с поверхности суши наряду с атмосферными осадками оказывает существенное влияние на влагонакопление в грунтах транспортных сооружений. Учитывая ограниченное число метеостанций, которые ведут систематические наблюдения за испарением, проф. И.А. Золотарь, исходя из положений теории турбулентной диффузии, предложил следующую зависимость для расчёта величины среднемесячного испарения с поверхности дорожного полотна [3]:

$$J = \frac{25,5(1 - f_{200})U_\Phi \left(1 + 1,8 \frac{Q'_R - 1,8J}{U_\Phi^{2,5}}\right) \exp(0,063\Theta_{200}) \exp\left(0,063 \frac{Q'_R - 1,8J}{U_\Phi^{0,5}}\right)}{7,49 + \ln\left[\left(1 + 1,8 \frac{Q'_R - 1,8J}{U_\Phi^{2,5}}\right)U_\Phi\right]}, \quad (3)$$

где f_{200} – относительная влажность воздуха на высоте 200 см, д. ед.; U_Φ – скорость ветра на высоте флюгера, м/с²; Θ_{200} – среднемесячная температура воздуха на высоте 200 см, °С.

Величину Q'_R можно вычислить по формуле [3]:

$$Q'_R = 3,34\{S_o[1 - (1 - k)n](1 - \gamma) - I_o(1 - C_on^2)\}, \quad (4)$$

где S_o – суммарная радиация при безоблачном небе, ккал/см²месяц; k – коэффициент, показывающий, какая доля солнечной радиации, поступающей на верхнюю границу облаков, доходит до земной поверхности при наличии полной облачности; n – средняя облачность, д. ед. (по метеоданным); γ – альбедо поверхности, д. ед; I_o – эффективное излучение при безоблачном небе, ккал/см²месяц; C_o – коэффициент, зависящий от географической широты местности.

Отметим, что ранее, из-за ограниченных вычислительных возможностей при решении трансцендентного уравнения (3), исследователи оперировали приближёнными методами. Соответственно, обеспечить требуемую достоверность результатов расчётов не представлялось возможным. При определении величины J для ряда опорных пунктов на территории Западной Сибири нами применён метод Ньютона [4]. Суть метода заключается в том, что поиск результатов

решения осуществляют путём построения последовательных приближений (принципа простой итерации) [5].

Методы

Наряду с испарением с поверхности суши инфильтрация атмосферных осадков является одним из определяющих климатических факторов географического комплекса в Республике Кыргызстан. Территория Кыргызстана характеризуется значительными перепадами высотных отметок, рельеф преимущественно горный. По этой причине прогнозирование и изучение закономерностей изменения сумм атмосферных осадков является сложной задачей. В этом направлении трудились такие ученые, как П.Н. Пономаренко, В.А. Бугаев, А.А. Григорьев, В.А. Кузьмиченко, С.У. Умурзаков, О.А. Подрезов, С.К. Аламанов, Чен Хи, О.Ю. Калашников, М.Т. Баканов, А.Н. Диких, И.А. Павлова, М.О. Рыскаль и др.

При проектировании, строительстве и эксплуатации линейных объектов транспортной инфраструктуры необходимо учитывать количество и характер атмосферных осадков. Однако достоверность информации о них для территории Республики Кыргызстан сомнительна, а иногда неправильно используется в гидрологических моделях. Основной причиной такого положения является отсутствие системного мониторинга, необходимого для оценки сведений о количестве атмосферных осадков, величине поверхностного стока, влагонакоплении в рабочем слое земляного полотна и пополнении информационных запасов для заинтересованных организаций [6–11]. Следует учесть, что модели, позволяющие вести детальный учёт увлажнённости территорий, необходимы в том числе при корректировке действующих в республике строительных норм и правил.

Достижения в области дистанционного зондирования [12] показали многообещающие результаты, в том числе при оценке влагонакопления в грунтах земляного полотна.

В настоящее время на территории Кыргызстана выполняют свои функции 35 метеорологических станций. Такое количество пунктов наблюдения за метеорологическими показателями не покрывает всю территорию Республики Кыргызстан и является явно недостаточным, поскольку для качественного решения задач прогноза сеть станций должна включать пункты, расположенные на расстоянии 7 км один от другого. Кыргызстан – горная страна, расположенная в сложных геоклиматических условиях, поэтому процедура изучения увлажнённости территории является важной задачей.

С развитием научно-технического прогресса и применением данных, полученных при помощи спутников, выполняющих наблюдения за метеорологическими и гидрогеологическими параметрами, изучение увлажнённости горных территорий становится решаемой задачей.

Современные спутниковые наблюдения за осадками широко используются во многих странах и характеризуются положительными результатами. Однако их применение в горных районах требует решения ряда дополнительных задач по адаптации сведений по орографическим условиям конкретных регионов. М.О. Рыскаль впервые для горной территории Кыргызстана исполь-

зовал мультиспутниковую модель ТМРА-3В43 (Tropical Rainfall Measuring Mission Multi-satellite Precipitation Analysis) для расчета годовых и сезонных сумм осадков в его различных орографических и высотных зонах [13, 14].

Для климатической провинции Юго-Западного Кыргызстана (ЮЗК) по отмеченному методу за период с 1990 по 2015 г. получено 138 точек узлов регулярной сетки. Некоторые корреляционные связи и регрессионные зависимости спутниковых и наземных данных для годовых осадков ЮЗК провинции представлены в табл. 1 [15–17].

Таблица 1

**Некоторые результаты спутниковых наблюдений за осадками в 2015 г.
для территории ЮЗК**

№ п/п	Долгота	Широта	Исходные спутниковые значения годовых сумм осадков X (сп., мм)	Приведенное значение годовых сумм осадков Y (прив., мм)
1	71,625	42,125	674,744568	919,653936
2	71,875	42,125	754,528687	1047,268634
3	72,375	42,125	770,254272	1072,421708
4	72,625	42,125	931,585022	1330,470242
5	70,875	41,875	817,976318	1148,753120
6	71,125	41,875	648,231079	877,245610
7	71,375	41,875	606,95459	811,223866
...
...
132	73,625	39,625	255,559921	249,168094
133	73,875	39,625	258,809021	254,365029
134	71,875	39,375	514,543762	663,412747
135	72,125	39,375	450,933167	561,667601
136	72,375	39,375	417,784943	508,647016
137	72,875	39,375	358,647888	414,057297
138	73,125	39,375	276,039642	258,925407

Приведенные спутниковые суммы атмосферных осадков являются репрезентативными (показательными) величинами для дальнейшего анализа поля осадков, для этой сложной и недостаточно изученной сотрудниками метеостанций горной территории. Это позволяет открыть широкие возможности для практического применения спутниковых наблюдений в прикладной климатологии, в том числе для других территорий, характеризующихся сложными показателями географического комплекса.

Одновременно установление таких зависимостей является еще одним методом валидации спутниковых данных [15]. Расчет корреляции и регрессии для

годовых осадков по климатическим провинциям Республики Кыргызстан выполнен с применением следующей зависимости (5):

$$Y = b_1 \cdot X - b_0, \quad (5)$$

где Y (прив., мм) – приведенное значение годовых сумм осадков после корреляции и регрессии; b_1 – угловой коэффициент; X (сп., мм) – исходные спутниковые значения годовых сумм осадков в мм; b_0 (мм) – остаточный член. На следующем этапе исследований выделено 138 точек на сетке спутниковых точек. В настоящее время в программном комплексе ArcMap создана карта-схема, отражающая сетку спутниковых точек модели ТМРА-3В43, покрывающую территорию Юго-Западного Кыргызстана (ЮЗК) (рис. 1) [14].

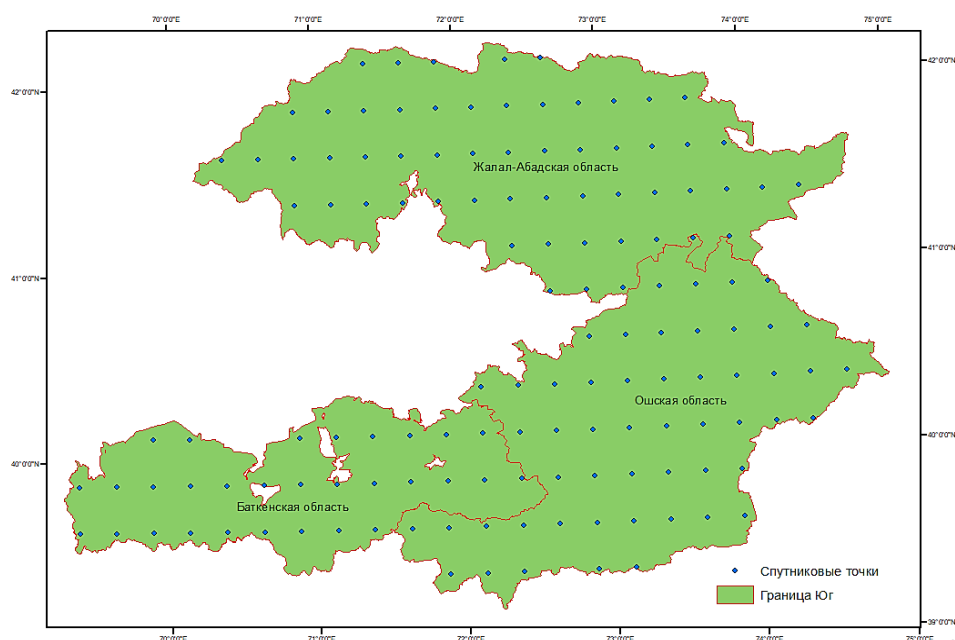


Рис. 1. Сетка спутниковых точек модели ТМРА-3В43, покрывающая территорию ЮЗК (размер ячейки $0,25 \times 0,25^\circ$)

В анализируемой работе интерполирование выполнялось методом обратных взвешенных расстояний (IDW) и кригинга (Kriging).

Метод обратных взвешенных расстояний (IDW) является одним из наиболее распространенных методов интерполяции. IDW определяет значения ячеек с помощью линейно-взвешенного набора опорных точек. Определенный вес является функцией расстояния от точки ввода до вывода ячейки. Чем больше расстояние, тем меньше влияние ячейки на значения выходной величины. Основная идея метода IDW заключается в том, что величины значений точек, близких друг к другу по расстоянию, как правило, более похожи, чем значения точек, расположенных дальше друг от друга [18].

Другой метод, Kriging, относится по классификации к методам нелинейной интерполяции и является синонимом «оптимального прогноза».

ния». Этот метод определяет неизвестные значения по данным наблюдений с известным пространственным положением, используя вариограммы для передачи изменений и минимизации ошибок, определяемых значений. В методе Kriging предполагают, что расстояние или направление между опорными точками отражает пространственную корреляцию, которая может использоваться для объяснения изменения на поверхности.

Результаты

Таким образом, с помощью мультиспутниковой модели ТМРА-3В43 можно определить величину годовых и сезонных осадков для решения задач, связанных с прогнозом влагонакопления в рабочем слое земляного полотна. На рис. 2 отражена карта-схема сумм атмосферных осадков на территории ЮЗК, полученных за период с 1990 по 2015 г.

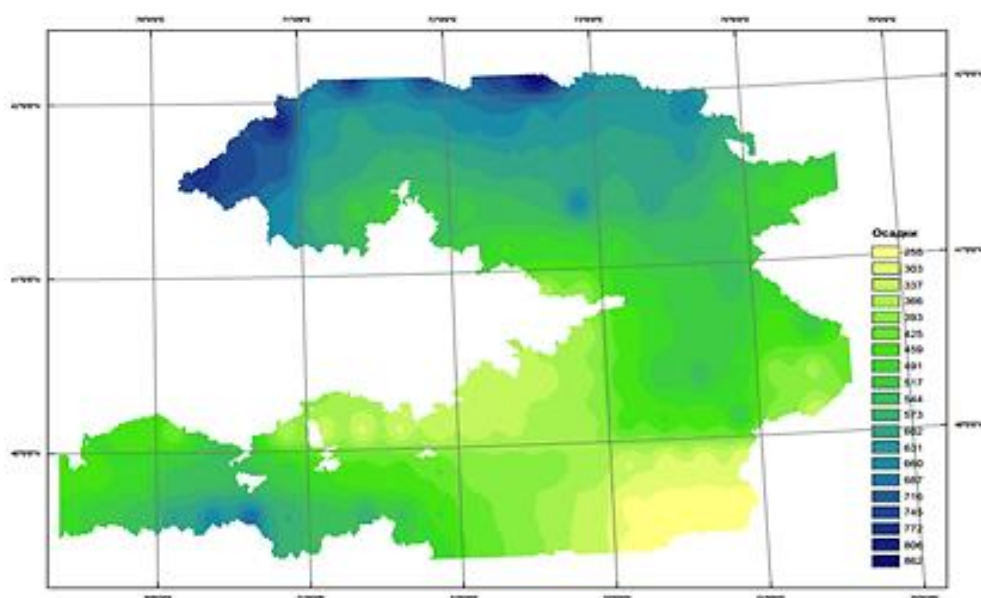


Рис. 2. Карта-схема сумм атмосферных осадков климатической провинции ЮЗК за период наблюдений с 1990 по 2015 г.

Высотная климатическая зональность является главной чертой, присущей горному климату. В горной местности высотные зависимости годовых и, соответственно, сезонных сумм осадков прослеживаются довольно четко, при этом осадки считаются важнейшим элементом горного климата. Согласно ранее выполненным исследованиям [19], осадки (табл. 2) и высотные отметки (рис. 3) считаются главными факторами, характеризующими территории дорожно-климатических зон в Кыргызской Республике (СНиП КР 32-01:2004 Проектирование автомобильных дорог).

Однако высотные зависимости большинства метеорологических величин сильно искажены и замаскированы влиянием макро-, мезо- и микрорельефных условий местности [20, 21]. С учетом высотных зависимостей осадков

в Юго-Западном Кыргызстане с помощью результатов мультиспутниковой модели ТМРА-3В43 составлена карта фактической годовой нормы атмосферных осадков ЮЗК за период с 1990 по 2015 г., на которой рельеф местности представлен как доминанта (рис. 3).

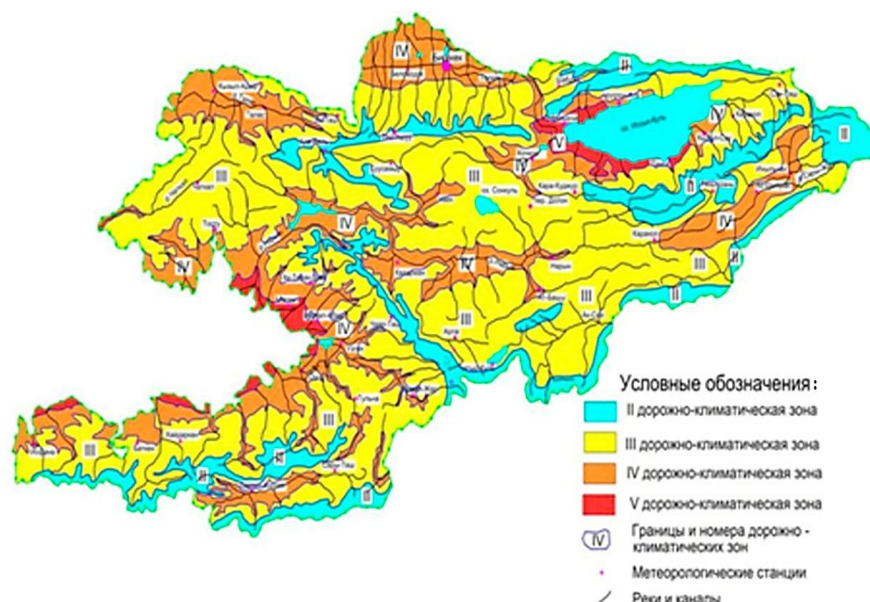


Рис. 3. Карта-схема дорожно-климатического районирования Республики Кыргызстан

Таблица 2

Характеристика дорожно-климатических зон территории Республики Кыргызстан

Дорожно-климатическая зона	Абсолютные высоты зоны над уровнем моря, м	Годовое количество осадков, мм
II	Свыше 2800	Свыше 800
III	1600–2800	От 500 до 800
IV	700–2500	От 300 до 500
V	500–1700	От 120 до 300

Обсуждение

Анализируя в целом распределение среднегодовых сумм осадков по всей территории Кыргызстана (см. рис. 2), можно заметить, что основные зоны максимумов и минимумов осадков представлены достаточно чётко. Однако как по очертанию и площади выделенных территорий, так и по количеству осадков, выпадающих на них, имеются заметные различия, не совпадающие по значениям величин осадков с высотными отметками, приведёнными в табл. 2. Можно,

например, отметить, что по большей части Ошской области годовые суммы осадков (рис. 2) лежат в пределах 450–550 мм и лишь вблизи наземных станций имеют порядок 800–1000 мм. При этом, по данным многолетних климатических наблюдений, известно, что здесь повсеместно количество выпадающих осадков составляет 700–800 мм. Устранение выявленных недостатков при уточнении дорожно-климатического районирования территории Республики Кыргызстан – предмет наших дальнейших исследований.

Заключение

Полученные результаты коренным образом меняют сложившиеся представления о технологических аспектах дорожно-климатического районирования Республики Кыргызстан.

При уточнении дорожно-климатического районирования горных территорий с помощью спутниковой модели ТМРА-3В43 можно получить карты-схемы, характеризующие количество атмосферных осадков, участвующих в увлажнении рабочего слоя земляного полотна автомобильных дорог Республики Кыргызстан.

Влияние климатических условий на дорожные конструкции в сложных в инженерно-геологическом плане районах горной местности очень велико. Поэтому определение значений, характеризующих количество атмосферных осадков в научно-практическом направлении, упрощает решение инженерных задач в дорожной отрасли.

С помощью спутниковой модели ТМРА-3В43 установлено несоответствие норм годового количества атмосферных осадков (мм) по дорожно-климатическим зонам Кыргызстана относительно абсолютной высоты ДКЗ над уровнем моря (м).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд* / под ред. И.А. Золотаря, Н.А. Пузакова, В.М. Сиденко. Москва : Транспорт, 1971. 416 с.
2. *Мезенцев В.С., Карнацевич И.В.* Гидролого-климатическая характеристика Западно-Сибирской равнины // Тепловой и водный режим некоторых районов Сибири. Ленинград : Наука, 1970. С. 23–42.
3. *Золотарь И.А.* Расчет испарения с поверхности грунтовых оснований в связи с прогнозом их влажностного состояния // Экспериментальные исследования процессов теплообмена в мерзлых горных породах. Новосибирск : Наука, 1972. С. 119–137.
4. *Zakharov A.A., Hazewinkel M.* Borel summation method // Encyclopedia of mathematics, springer, 2001. URL: https://www.encyclopediaofmath.org/index.php/Borel_summation_method
5. *Ефименко С.В., Сухоруков А.В., Ефименко В.Н.* Уточнение схемы расчёта величины испарения с поверхности грунтовых оснований автомобильных дорог при формировании информационной базы для прогнозирования их влажности // Транспорт и дороги Казахстана. 2013. № 4 (54). С. 21–24.
6. *Puca S., Porcu F., Rinollo A., Vulpiani G., Baguis P., Balabanova S., Campione E., Ertürk A., Gabellani S., Iwanski R., et al.* The validation service of the hydrological SAF geostationary and polar satellite precipitation products // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2014. 14 P. 871–889.
7. *Ricciardelli E., Cimini D., di Paola F., Romano F., Viggiano M.* A statistical approach for rain intensity differentiation using Meteosat Second Generation –Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager observations // Hydrol. Earth Syst. Sci. 2014. 18. 2559–2576.

8. Casella D., Panegrossi G., Sano P., Dietrich S., Mugnai A., Smith E.A., Tripoli G.J., Formen-ton M., di Paola F., Leung W.-Y. Transitioning from CRD to CDRD in Bayesian retrieval of rainfall from satellite passive microwave measurements: Part 2. Overcoming database profile selection ambiguity by consideration of meteorological control on microphysics // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2013. 51. 4650–4671.
9. Mugnai A., Smith E., Tripoli G., Bizzarri B., Casella D., Dietrich S., di Paola F., Panegros-si G., Sanò P. CDRD and PNPR satellite passive microwave precipitation retrieval algorithms: Eurotrmm/Eurainsat origins and H-SAF operations // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2013. 13. 887–912.
10. Sahoo A.K., Sheffield J., Pan M., Wood E.F. Evaluation of the tropical rainfall measuring mis-sion multi-satellite precipitation analysis (TMPA) for assessment of large-scale meteorological drought // Remote Sens. Environ. 2015. 159. 181–193.
11. Ghajarnia N., Liaghat A., DaneshkarArasteh P. Comparison and evaluation of high resolution precipitation Estimation products in Urmia Basin, Iran // Atmos. Res. 2015. 158–159. 50–65.
12. Giovanni // EarthDATA. URL: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>
13. Рыскаль М.О. Оценка сумм осадков на территории Кыргызстана по данным спутнико-вых наблюдений : диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук. Бишкек, 2020. 150 с.
14. Рыскаль М.О. Спутниковые карты годовых и сезонных сумм осадков для территории Кыргызстана // Дистанционные и наземные исследования Земли в Центральной Азии : ма-териалы Междунар. научной конф. посвящ. 15-летию ЦАИИЗ. Бишкек, 2019. С. 206–213.
15. Подрезов О.А. Горная климатология и высотная климатическая зональность Кыргызста-на. Бишкек, 2014. 169 с.
16. Подрезов О.А., Рыскаль М.О. Статистические связи и зависимости годовых и сезонных сумм осадков, получаемых по мультиспутниковой модели TMPA и наземным данным метеостанций для различных климатических провинций Кыргызстана // Научные иссле-дования в Кыргызской Республике. 2018. 3 квартал. С. 10–20. URL: journal.vak.kg/
17. Подрезов О.А., Рыскаль М.О. Сравнительный анализ спутниковых (TMPA 3B43) и наземных данных для годовых сумм осадков над горной территорией Кыргызстана // Сахаровские чтения 2019 года: экологические проблемы XXI века : сб. материалов 19-й Междунар. научн. конф. / МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ. Минск, 2019. С. 96–98.
18. Как работает инструмент Кригинг (Kriging) // ArcGIS for Desktop. URL: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-kriging-works.htm>
19. Маданбеков Н.Ж., Турдубай С. уулу, Исаков Р.Б., Омурбек Р. уулу. Характеристики до-рожно-климатического районирования // Вестник КГУСТА. 2015. № 2. С. 6–11.
20. Рыскаль М.О. Статические связи и зависимости сумм осадков, получаемых по мульти-спутниковой модели и наземным данным метеостанций для различных высотных зон Кыргызстана // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2018. № 10. С. 29–38.
21. Рыскаль М.О. Оценка годовых и сезонных сумм осадков для горных районов Кыргыз-стана, полученных по мультиспутниковой модели TMPA // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета. 2018. Т. 18. № 12. С. 141–145.

REFERENCES

1. Zolotar' I.A., Puzakov N.A., Sidenko V.M. (Eds.) Vodno-teplovoy rezhim zemlyanogo polotna i dorozhnykh odezhd [Water and thermal balance of road subgrades and pavements]. Moscow: Transport, 1971. 416 p. (rus)
2. Mezencev V.S., Karnacevich I.V. Gidrologo-klimaticheskaya harakteristika Zapadno-Sibirskoy ravniny [Hydrological and climatic characteristics of the West Siberian Plain]. In: Thermal and water regime of some regions of Siberia. Leningrad: Nauka, 1970. Pp. 23–42. (rus)
3. Zolotar' I.A. Raschet ispareniya s poverhnosti gruntovykh osnovanij v svyazi s prognozom ih vlazhnostnogo sostoyaniya Evaporation analysis of subgrade soil based on predicted humidity]. In: Experimental studies of heat transfer processes in frozen rocks. Novosibirsk: Nauka, 1972. Pp. 119–137. (rus).
4. Zakharov A.A., Hazewinkel M. Borel summation method. Encyclopedia of Mathematics. Springer, 2001.

5. Efimenko S.V., Suhorukov A.V., Efimenko V.N. Utochnenie skhemy raschyota velichiny ispareniya s poverhnosti gruntovykh osnovanij avtomobil'nyh dorog pri formirovanii informacionnoj bazy dlya prognozirovaniya ih vlazhnosti [Analysis of evaporation from subgrade soil for the information base for humidity prediction]. *Transport i dorogi Kazakhstana*. 2013. No. 4 (54). Pp. 21–24 (rus).
6. Puca S., Porcu F., Rinollo A., Vulpiani G., et al. The validation service of the hydrological SAF geostationary and polar satellite precipitation products. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2014. V. 14. Pp. 871–889.
7. Ricciardelli E., Cimini D., di Paola F., Romano F., Viggiano M. A Statistical approach for rain intensity differentiation using Meteosat Second Generation–Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager observations. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2014. V. 18. Pp. 2559–2576.
8. Casella D., Panegrossi G., Sano P., Dietrich S., Mugnai A., Smith E.A., Tripoli G.J., Formenton M., di Paola F., Leung W.-Y. Transitioning from CRD to CDRD in Bayesian retrieval of rainfall from satellite passive microwave measurements: Part 2. Overcoming database profile selection ambiguity by consideration of meteorological control on microphysics. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2013. V. 51. Pp. 4650–4671.
9. Mugnai A., Smith E., Tripoli G., Bizzarri B., Casella D., Dietrich S., di Paola F., Panegrossi G., Sanò P. CDRD and PNPR satellite passive microwave precipitation retrieval algorithms: Eurotrmm/Eurainsat origins and H-SAF operations. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2013. V. 13. Pp. 887–912.
10. Sahoo A.K., Sheffield J., Pan M., Wood E.F. Evaluation of the tropical rainfall measuring mission multi-satellite precipitation analysis (TMPA) for assessment of large-scale meteorological drought. *Remote Sensing of Environment*. 2015. V. 159. Pp. 181–193.
11. Ghajarnia N., Liaghat A., DaneshkarArasteh P. Comparison and evaluation of high resolution precipitation. Estimation products in Urmia Basin. *Atmospheric Research*. 2015. V. 158–159. Pp. 50–65.
12. Giovanni. EarthDATA. Available: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni>
13. Ryskal' M.O. Ocenka summ osadkov na territorii Kyrgyzstana po dannym sputnikovyh nablyudenij. Dis. ... cand. geograph. sciences. [Estimation of the precipitation quantity in Kyrgyzstan based on satellite observations. PhD Thesis]. Bishkek, 2020. 150 p. (rus)
14. Ryskal' M.O. Sputnikovye karty godovyh i sezonnyh summ osadkov dlya territorii Kyrgyzstana [Satellite maps of annual and seasonal precipitations in Kyrgyzstan]. In: materialy Mezhdunar. nauchnoi konf. posvyashch. 15-letiyu TsAIIZ “Distsionnye i nazemnye issledovaniya Zemli v Tsentral'noi Azii” (Proc. Int. Sci. Conf. ‘Remote and Terrestrial Earth Studies in Central Asia’). Bishkek, 2019. Pp. 206–213. (rus)
15. Podrezov O.A. Gornaya klimatologiya i vysotnaya klimaticheskaya zonal'nost' Kyrgyzstana [Mountain climatology and vertical zonation of Kyrgyzstan]. Bishkek, 2014. 169 p. (rus)
16. Podrezov O.A., Ryskal' M.O. Statisticheskie svyazi i zavisimosti godovyh i sezonnyh summ osadkov, poluchaemyh po mul'ti sputnikovoj modeli TMPA i nazemnym dannym meteostancij dlya razlichnyh klimaticheskikh provincij Kyrgyzstana [Statistical relations and dependencies of annual and seasonal precipitations obtained from the TMPA satellite model and meteorological stations for various climatic provinces of Kyrgyzstan]. In: Scientific Report, 2018. Pp. 10–20. Available: joynal.vak.kg
17. Podrezov O.A., Ryskal' M.O. Sravnitel'nyj analiz sputnikovyh (TMPA 3V43) i nazemnyh dannyh dlya godovyh summ osadkov nad gornoj territoriej Kyrgyzstana [Comparative analysis of data from TMPA 3B43 satellite on annual precipitation in mountainous Kyrgyzstan]. In: Sakharovskie chteniya 2019 goda: ekologicheskie problemy XXI veka: sb. materialov 19-i Mezhdunar. nauchn. konf. (Proc. 19th Int. Sci. Conf. ‘Sakharov Readings-2019’). 2019. Pp. 96–98 (rus)
18. Kak rabotaet instrument Kriging [How the Kriging tool works]. ArcGIS for Desktop. Available: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-kriging-works.htm>
19. Madanbekov N.Zh., Turdubaj S., uulu, Isakov R.B., Omurbek R., uulu. Harakteristiki dorozhno-klimaticheskogo rajonirovaniya [Characteristics of road building climatic zoning]. *Vestnik KGUSTA*. 2015. No. 2. Pp. 6–11. (rus)
20. Ryskal' M.O. Sticheskie svyazi i zavisimosti summ osadkov, poluchaemyh po mul'ti sputnikovoj modeli i nazemnym dannym meteostancij dlya razlichnyh vysotnyh zon Kyrgyzstana [Statistical relations and dependencies of annual and seasonal precipitations obtained from the

- TMPA satellite model and meteorological stations for high-level territories of Kyrgyzstan]. *Nauka, novye tekhnologii i innovatsii Kyrgyzstana*. 2018. No. 10. Pp. 29–38. (rus)
21. *Ryskal' M.O.* Ocenka godovyh i sezonnyh summ osadkov dlya gornyh rajonov Kyrgyzstana, poluchennyh po mul'tisputnikovoj modeli TMPA [Estimation of annual and seasonal precipitations for mountainous regions of Kyrgyzstan obtained from TMPA satellite model]. *Vestnik Kyrgyzsko-Rossiiskogo slavyanskogo universiteta*. 2018. V. 18. No. 12. Pp. 141–145. (rus)

Сведения об авторах

Ефименко Владимир Николаевич, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, svefimenko_80@mail.ru

Ефименко Сергей Владимирович, докт. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, svefimenko80@gmail.com

Каримов Эркинбек Машанович, канд. техн. наук, доцент, Ошский технологический университет, 723503, Кыргызская Республика, г. Ош, ул. Н. Исанова, 81, erkin.karimov.71@mail.ru

Мамажакыпова Гулзара Турдубаевна, ст. преподаватель, Ошский технологический университет, 723503, Кыргызская Республика, г. Ош, ул. Н. Исанова, 81, gulzara.mamazhakypova@mail.ru

Authors Details

Vladimir N. Efimenko, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, svefimenko_80@mail.ru

Sergei V. Efimenko, DSc, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, svefimenko80@gmail.com

Erkinbek M. Karimov, PhD, A/Professor, Osh Technological University, 81, Isanov Str., 723503, Osh, Kyrgyz Republic, erkin.karimov.71@mail.ru

Gulzara T. Mamagakypova, Senior Lecturer, Osh Technological University, 81, Isanov Str., 723503, Osh, Kyrgyz Republic, gulzara.mamazhakypova@mail.ru