

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ СЕЛЕВОГО ПОТОКА В РЕЗУЛЬТАТЕ СЕРИИ ЛИВНЕЙ

Мягков С.В., Дергачева И.В., Мягков С.С.

*Научно-исследовательский гидрометеорологический институт,
г. Ташкент, Республика Узбекистан, e-mail: Dergacheva_iv@mail.ru*

По результатам научных исследований в глобальном масштабе наблюдается рост числа экстремальных явлений, в том числе в долинах рек отмечается рост количества селей и наводнений, вызываемых паводками. Большая часть экстремальных паводков и селей, возникающих на территории Ташкентской области, происходит в результате выпадения ливневых осадков. В статье рассматривается процесс образования паводков в долинах горных рек по материалам метеорологической станции Сукок. Предлагается аналитический метод оценки риска возникновения экстремальных паводков в бассейнах горных рек, на территории которых отсутствуют метеорологические станции наблюдений, однако происходят экстремальные паводки и сели, наносящие экономический и социальный ущерб, иногда сопровождающийся человеческими жертвами. Предлагаемый метод может использоваться для аналитического прогнозирования риска селевой и паводковой опасности в системе раннего предупреждения.

Ключевые слова: сели; наводнения; экстремальные паводки; изменение климата; ливень; дождь; бассейн реки; множественная регрессия; серия дождей.

ANALITICAL MODEL OF FORMATION OF A MUDFLOW AS A RESULT OF SERIES HEAVY RAINFALL

Myagkov S.V., Dergacheva I.V., Myagkov S.S.

*Research Hydrometeorological Institute,
Tashkent, Republic of Uzbekistan, e-mail: Dergacheva_iv@mail.ru*

According to the results of scientific research on a global scale there is an increase of the number of extreme events including an increase in the number of mudflows and extremal floods caused by floods in river valleys. Most of the extreme floods and mudflows that occur on the territory of the Tashkent region occur as a result of heavy rainfall. The article examines the process of flood formation in the valleys of mountain rivers based on materials from the Sukok meteorological station. An analytical method is proposed for assessing the risk of extreme floods in mountain river basins on the territory of which there are have no meteorological observation stations but extreme floods and mudflows occur, causing economic and social damage, sometimes accompanied by human casualties. The proposed method can be used for analytical forecasting of the risk of mudflow and flood hazard in the early warning system.

Keywords: mudflows; floods; extreme floods; climate change; heavy rainfall; rain; river basin; multiple regression; series of rains.

Введение. В докладе Всемирной Метеорологической организации (ВМО) [1] отмечается, что во всем мире миллиарды людей ощущают на себе воздействие изменения климата через воду. Частота связанных с водой стихийных бедствий возрастает в связи с увеличением интенсивности таких природных явлений, как ураганы, сильные ветры, сильные осадки. Наводнения, оползни, прорывы ледниковых озер влияют на жизнь и инфраструктуру в горах, на равнинах, вдоль берегов рек и в поймах рек.

В работах [5,8] рассматриваются процессы, происходящие в атмосфере, которые приводят к возникновению ливневых осадков в результате изменения климатических характеристик над территорией Центральной Азии, в том числе и над Узбекистаном.

Сильные ливни являются основной причиной естественных наводнений во всем мире. По материалам исследований Дергачевой И.В. [3] в Узбекистане причиной возникновения селей 84 % приходится на ливневые дожди.

В некоторых случаях наводнения происходят в результате продолжительных дождей [6]. *В результате продолжительных (2-3 суток) дождей малой интенсивности происходит насыщение водой зоны аэрации, вода перестает фильтроваться в почву и грунт, и начинается образование склонового стока на всей площади водосборного бассейна практически одновременно, что приводит к образованию паводка и наводнению в нижней части речной долины. Этот подход используется при моделировании формирования внезапных паводков в системе прогнозирования Flash Flood Guidance System with Global Coverage (FFGS) Hydrologic Research Center (HRC) [10].*

Наводнения являются причиной гибели большого количества людей и несут огромную разрушительную силу. Исследования показывают, что ливневые наводнения приводят к самой высокой средней смертности на одно событие (количество погибших, деленное на количество пострадавших). Перекрестный анализ по типу наводнения и местоположению показывает, что средняя смертность относительно постоянна для разных типов на разных континентах, в то время как масштабы воздействий (количество погибших) и пострадавших для определенного типа варьируются между разными континентами. В мировом масштабе наводнения азиатских рек являются наиболее значительными с точки зрения числа погибших и пострадавших [11]. Наконец, сравнение с цифрами по другим типам стихийных бедствий показывает, что наводнения являются наиболее значительным типом стихийных бедствий с точки зрения количества пострадавших. [7].

Цель и задачи работы. Целью работы является исследование процесса образования селей и паводков в результате режима выпадения осадков на территории водосборных бассейнов.

В связи с тем, что не все водосборные бассейны имеют на своей территории станции метеорологических наблюдений, необходимо решить задачу о возможности использования данных метеорологических наблюдений на станциях, расположенных в соседних речных бассейнах.

На основе материалов метеорологических наблюдений, проведенных на метеостанции Сукок, удалось решить задачу репрезентативности единичной станции при оценке процесса образования селей для соседних речных водосборов, расположенных на удалении.

В работе решена задача по установлению зависимости образования экстремальных паводков и селей от режима выпадения осадков, регистрируемых на метеорологической станции и возможности прогнозирования риска возникновения внезапного паводка, часто сопровождающимся образованием селевого потока.

Основная часть. В Ташкентской области находятся бассейны горных рек, на территории которых развиты процессы проявления селевой активности, часто происходит возникновение экстремальных и катастрофических паводков, приводящих к разрушению технических объектов, каналов, мостов, жилых строений. Происходит затопление пойменных территорий с расположенными на них сельскохозяйственными угодьями, а иногда и дачных поселков. На рис. 1 представлены бассейны рек отрогов западного Тянь-Шаня: Аксаката, Самарексай, Паркентсай, Кызылсай и другие. В долинах этих рек часто наблюдаются экстремально высокие паводки и проявления селевой активности (таблица).

Причиной формирования селей являются продолжительные или ливневые дожди. Бассейны рек, указанных в таблице, расположены рядом (до 50 км), то есть возможно определить метеорологическую станцию, которая окажется репрезентативной для указанного географического района (рис.1). Для проведения анализа выбрана метеорологическая станция Сукок ($41^{\circ}14'38.87''\text{С}$, $69^{\circ}49'6.44''\text{В}$, 1355 м).

На рис. 2 отображено распределение количества селей по бассейнам рек. Заметно что распределение селевой активности практически одинаково, то есть одного порядка. Более повышенные значения для реки Ахангаран объясняются сравнительно большим размером водосборной площади и наличием большего числа притоков, которые в конечном итоге приносят селевые массы в основной ствол реки.

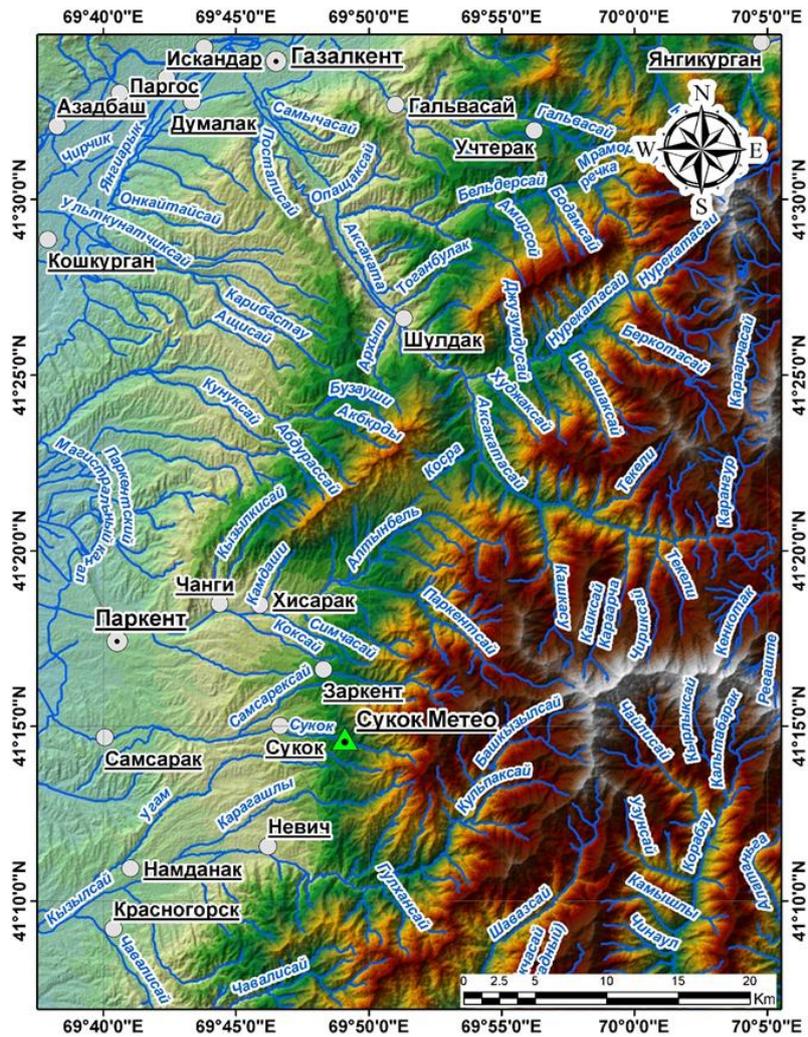


Рис. 1. Бассейны рек Западного Тянь-Шаня, для которых возможно использовать наблюдения на метеостанции Сукок при анализе селевой опасности.



Рис. 2. Распределение числа зарегистрированных селей по соседним бассейнам рек.

Общая характеристика селевой активности по некоторым водотокам Ташкентской области за период наблюдений

№№	Название бассейна реки	Общее количество зарегистрированных селей	Условная повторяемость, количество селей в год
1	Ахангаран	38	0,27
2	Паркентсай	35	0,31
3	Каранкульсай	14	0,01
4	Башкызылсай	13	0,13
5	Аксакатасай	10	0,10
6	Шавазсай	9	0,11
7	Нишбаш	5	0,10
8	Акчасай	4	0,07
9	Шаугазсай	4	0,07
10	Карабау	3	0,05
11	Чимгансай	2	0,02
12	Аксай	4	0,10
13	Тутсай	2	0,04

Рассмотрим по отдельным датам образования селей в соседних бассейнах рек от режима осадков (дождей) на метеорологической станции Сукок.

В бассейнах рек Аксакатасай, Угам, Паркентсай, Заркентсай, Наувалисай 24 апреля 1987 года прошли селевые потоки с нанесением ущерба гидрологическим постам. 16 апреля 1996 года сели с нанесением ущерба прошли по рекам Башкизилсай, Акташсай, Шавазсай, Паркентсай, Дукантсай, Наувалисай. 13 июля 1999 года прошли сели с нанесением значительного материального ущерба: в поселке Абджасай смыт мост на 22 км автодороги Алмалык -Ангрен, размыв участок автодороги длиной 20 метров, в поселке Ташарык подтоплено 9 подсобных участков, забит водозабор, вода пошла на п. Каранкуль, подтоплено 27 домов п. Енбек, у двух из них разрушены подсобные сооружения.

На рис. 3 отображен ход температуры воздуха и осадков (дождь) на метеорологической станции Сукок по дням июля 1999 года. Сели прошли по шести бассейнам рек 13 июля 1999 года. Заметно, что дата прохождения селей и ливневых осадков (47 мм в сутки) совпадают.

Но 6, 8 и 9-го июля наблюдались дожди до 5 мм в сутки, которые способствовали фильтрации воды в почву, тем самым подготавливая грунт к размыванию, превращая его в легко размываемую массу. В летнее время снега в указанных бассейнах рек практически нет, к тому же температурный режим за этот период понижался, что способствовало снижению транспирации растительностью и испарению с поверхности почвы.

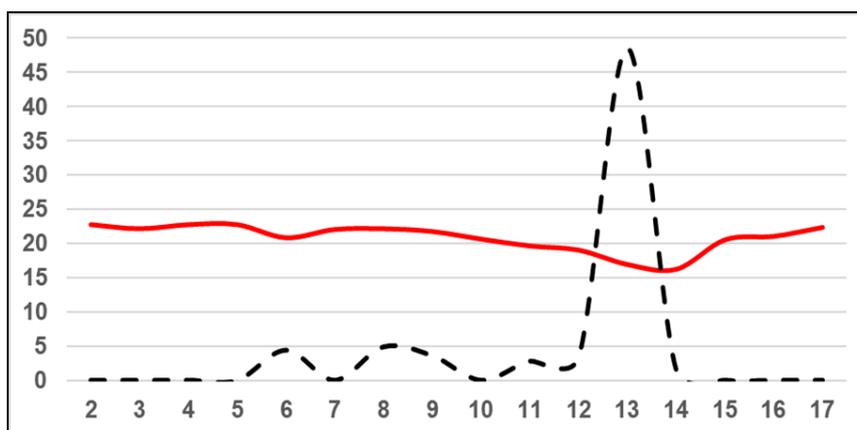


Рис. 3. Ход температуры воздуха (сплошная линия) и осадков (пунктирная линия) на метеорологической станции Сукок. Вертикальная шкала – для осадков (мм), для температуры воздуха градусы Цельсия, горизонтальная шкала – дата июля 1999 года.

Процесс накопления влажности в слоях почвы по глубине можно описать уравнением [2, 9], зависящим от влажности почвы по глубине:

$$\varphi(h) = \frac{1}{\sqrt{h}} \int_0^h \frac{e^{-t^2}}{t-ih} dt, \quad (1)$$

где φ – влажность почвы, h - глубина почвы.

Связь между каркасно-капиллярным потенциалом и влажностью почвы имеет вид [4]:

$$\omega = \frac{\omega-n}{m-\omega} = \exp \left[- \left(\frac{|\psi|}{vh} \right) n \right], \quad (2)$$

где h_k – максимальная высота капиллярного поднятия, m ; ψ – потенциал почвенной влаги; ω – каркасно-капиллярный потенциал; n и m – эмпирические безразмерные коэффициенты.

Уравнения (1) и (2) описывают процесс накопления влажности в почве, который приводит к накоплению влажности в слое почвы, лежащей на твердых скальных непроницаемых для воды породах.

За предшествующее основному ливню время происходит насыщение почвы влагой до состояния полного насыщения и таким образом при сильном ливне происходит образование селевого потока. В связи с тем, что режим осадков на территории бассейна реки практически одинаков, образовавшиеся на отдельных участках «малые» объемы грунтовых смывов срывающиеся со склонов в основное русло реки приводят к образованию значительного селевого потока.

Выводы. Формирование селевых потоков происходит в результате полного насыщения влагой почво-грунтов и обливания слоя почвы в русло основной реки. Насыщение верхнего слоя почвы может происходить в ре-

зультате серии дождей малой интенсивности, но основной прорыв удерживающих связей происходит в результате осадков значительной интенсивности.

Репрезентативной метеорологической станцией может являться станция, расположенная в одном районе с селеопасными реками. Например, наблюдения на метеорологической станции Сукок, могут служить для оценки угрозы образования селей в соседних речных бассейнах, расположенных на удалении до 50 км.

Математическая модель насыщения почвы влагой описывает процесс повышения содержания влаги в почве и может служить для разработки модели формирования селевого смыва грунта в результате выпадения осадков различной интенсивности, при котором высокая интенсивность осадков является импульсом для образования селя в бассейне реки.

Нормативные документы строительства гидротехнических сооружений в селеопасной зоне необходимо пересмотреть, так как связи с изменением климата наблюдаются тренды роста опасных погодных явлений, включая сильные ливни на территории Средней Азии, что повышает угрозу селевой опасности.

В связи с тем, что для развития инфраструктуры каждого речного бассейна необходима оценка и прогноз воздействия региональных изменений климата на гидрологический режим, необходимо также пересмотреть систему оценки селевой опасности при строительстве различных технических сооружений и особенно возведение жилых строений.

Полученные результаты и развитие данного направления исследований позволят разработать научно обоснованные рекомендации и актуализировать существующие нормативы, регламентирующие антропогенную деятельность и проектирование инфраструктурных объектов, приведя их в соответствие с современными условиями, с учетом происходящих и ожидаемых в перспективе изменений климата.

Библиографические ссылки

1. Всемирная Метеорологическая организация (ВМО). <https://public.wmo.int/ru/>
2. Денисов Ю. М. Математическая модель переноса влаги, тепла и соли в почвогрунтах // Метеорология и гидрология. 1978. -№3.-С. 71-79.
3. Дергачева И.В. Использование информационно-диагностической системы для оценки риска возникновения быстроразвивающихся паводков в Узбекистане. Известия Географического общества Узбекистана, №56, 2019 (с. 187-191) ISSN 0135-9614
4. Плюснин И.И., Голованов А.И. Мелиоративное почвоведение. - Москва: Колос, 1983. - 318 с.

5. Guniya G.S., Tskvitinidze Z.I., Kholmatzhanov B.M. and Fatkhullaeva Z.N. (2010) Foehn Influence on Air Pollution Processes in the Mountain Regions. ISSN 1068-3739, Russian Meteorology and Hydrology, Vol. 35, No. 6, pp. 406–410. doi: 10.3103/S1068373910060075
6. Hjalmarson, Hjalmar W. Flash Flood in Tanque Verde Creek, Tucson, Arizona. Journal of Hydraulic Engineering. 1984. 110 (12): 1841–1852. [doi:10.1061/\(ASCE\) 0733-9429\(1984\)110:12\(1841\]](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1984)110:12(1841)).
7. Jonkman, SN. Global perspectives on loss of human life caused by floods. Natural Hazards. 2005; 34(2): 151-175.]
8. Khikmatov F., Frolova N., Turgunov D., Khikmatov B., Ziyayev R. (2020). Hydro-meteorological Conditions of Low-Water Years in The Mountain Rivers of Central Asia. IJSTR, Vol. 9 (02), ISSN 2277-8616 2880 www.ijstr.org
9. Myagkov S.V., A model of water and salt exchange between a river and groundwater. IAHS Publ. no. 229, 1995.-249-254p.
10. Stewart B. Implementation of a flash flood guidance system with global coverage. WMO Commission for Hydrology and WMO Commission for Basic Systems, Geneve, 2007.
11. Water and Climate Change. ISBN 978-92-3-100371-4. UNESCO, 2020, 236 p. www.unesco.org/water/wwap