

УДК: 502.58

СЕЛ ЁҚҚАНДА ШАҲАРНИ СУВ БОСИБ КЕТИШ МАТЕМАТИК МОДЕЛИ

Мягков Сергей Владимирович

тех.ф.н., директор ўринбосари;

Дергачева Ирина Викторовна

геогр.ф.н. катта илмий ходим;

Халбеков Камариддин Абдухалилович

докторант

Гидрометеорологик Илмий-тадқиқот институти

Аннотация. Мақолада нишаблик оқимини шакллантириши гидрологик модели асосида шаҳар ҳудудларини сув босиши таҳлили келтирилган. Гидрологик модель негизини антропоген сифатдаги ландшафт ўзгаришларини кузатишига асосланган назарий тадқиқот ва материаллар ташкил қилади. Шаҳар ҳудудлари инфратузилмаси ўзгариши ва ер сирти асфальтбетон ва сув ўтказмайдиган материаллар билан қопланиши майдонининг ортиши билан сувнинг тупроққа филтрланиши тезлиги пасаяди ва нишаблик оқимининг тезлиги ортади. Бу антропоген ўзгаришлар сув босимининг кескин ўсишига олиб келади ва ҳудудларни сув босишининг асосий сабаби ҳисобланади, айниқса, кучли ёгингарчилик ва фавқулдда вазиятлар хавфи мавжуд бўлган шароитларда. Глобал иқлим ўзгариши оқибатида кучли ёгингарчиликлар кўринишидаги об-ҳаво аномалиялари кўпайиб, Ўзбекистон шаҳарларида фавқулдда ҳолатлар хавфини оширади.

Таянч тушунчалар: шаҳарларни сув босиши, нишаблик оқими, сув тошқини, об-ҳаво аномалияси, рельефнинг рақамли модели.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАТОПЛЕНИЯ ГОРОДА
ПРИ ЛИВНЕВЫХ ОСАДКАХ**Мягков Сергей Владимирович**

д.тех.н., заместитель директора

Дергачева Ирина Викторовна

к.геогр.н. старший научный сотрудник

Халбеков Камариддин Абдухалилович

докторант

Научно-исследовательский гидрометеорологический институт

Аннотация. В статье приводится анализ затопления городских территорий на основе гидрологической модели формирования склонового стока. В основу гидрологической модели положены теоретические исследования и материалы наблюдений за ландшафтными изменениями антропогенного характера. В связи с изменением инфраструктуры городских территорий и увеличением площади покрытия поверхности асфальтобетоном и непроницаемыми материалами снижается скорость фильтрации воды в почву и увеличиваются скорости склонового стока. Данные антропогенные изменения приводят к резкому росту уровня воды в понижениях и являются основной причиной затопления территорий, особенно при сильных ливнях и риску возникновения чрезвычайных ситуаций. В результате глобального изменения климата возрастает количество погодных аномалий в виде сильных ливней, которые увеличивают риск возникновения чрезвычайных ситуаций в городах Узбекистана.

Ключевые слова: затопление городов, склоновый сток, паводки, погодные аномалии, цифровая модель рельефа.

MATHEMATICAL MODEL OF FLOODING IN THE CITY UNDER STRONG RAIN PRECIPITATIONS

Myagkov Sergey Vladimirovich

DSc. in technical sciences, Deputy director

Dergacheva Irina Viktorovna

Doctor of philosophy in geographical sciences, senior researcher

Khalbekov Kamariddin Abdulkhalilovich

Doctoral student

Research Institute of Hydrometeorology

Annotation. *The article provides the analysis of flooding of urban areas on the basis of a hydrological model for the formation of a slope runoff. the hydrological model is based on theoretical studies and materials of observations of landscape changes of anthropogenic characters. due to changes in the infrastructure of urban areas and the increase in the area of surface coverage with asphalt concrete and impermeable materials, the rate of water filtration into the soil decreases and the speed of slope runoff increases. these anthropogenic changes lead to a sharp increase in the water level in the depressions and remain as the main cause of flooding of the territories, especially during heavy rains and the risk of emergency situations. the number of weather anomalies in the form of heavy rains increases due to the global climate change, which in turn causes the risk of emergency situations in the cities of Uzbekistan.*

Key words: city flooding, slope runoff, flash floods, weather anomalies, digital terrain model.

Введение

По материалам гидрометеорологических наблюдений в связи с глобальным изменением климата растет количество экстремальных (опасных) явлений погоды, которые проявляются, в частности, в виде интенсивных ливневых осадков.

Совершенствование и развитие городской инфраструктуры – строительство автодорог, зданий, мостов, асфальтирование тротуаров и возведение других объектов социально-экономического направления – приводит к сокращению площади поверхности для фильтрации осадков в почву и увеличивает скорость поверхностного ливневого потока к участкам понижения рельефа (впадинам), что приводит к повышенным уровням воды в зонах затопления и росту скорости повышения самого уровня воды, что в дальнейшем вызывает риск возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС).

Весной 2019 года в результате выпадения ливневых осадков произошло затопление территорий в крупных городах Узбекистана – Ташкенте, Самарканде, Бухаре. Данные затопления вызвали угрозу возникновения чрезвычайных ситуаций, которые привели бы

не только к значительным экономическим потерям, но и к возникновению реальной угрозы жизни людей. Например, во время начала дождя многие люди укрываются в подземных переходах, а быстрый приток воды к переходу может затопить переход и привести к человеческим жертвам.

Практически во всех частях земного шара наблюдаются не только затопления, но и ливневые наводнения (Австралия, Германия, Франция, Италия, США, Япония). Например, в Киото (Япония) ливни часто приводят к затоплению метрополитена. Особенно подвергаются наводнениям страны с муссонными дождями и тайфунами – Индия, Пакистан, Индонезия, Япония и другие страны Азии, а иногда даже Африки.

К настоящему времени накоплен мировой опыт решения проблемы затопления городов, однако в каждом случае этот опыт имеет свой конкретный характер, связанный с уникальными особенностями образования наводнений, географическим положением, климатическими характеристиками, своеобразным ландшафтом, городской инфраструктурой и

другими особенностями формирования поверхностного (склонового) стока.

Общей характеристикой в данном вопросе для городов мира являются понижение площади фильтрационной поверхности и рост скоростей поверхностного потока на асфальтобетонных покрытиях, связанные с расширением зон непроницаемого покрытия почвы.

Ташкент расположен на террасе реки Чирчик, ландшафт – холмистый, территория города прорезана многочисленными каналами, параллельными р. Чирчик. Однако на территории «старого города» имеются древние промоины (водосборные временные водотоки), к примеру, начинавшиеся на территории современной площади Чорсу.

Имеющиеся модели расчета движения склонового потока в зависимости от подстилающей поверхности, рельефа местности и интенсивности осадков требуют адаптации к уникальным объектам. Данные модели используются для расчетов зон характеристик затопления: площадь и глубина зон затопления, интенсивность роста уровня воды в зоне затопления и других.

Основная часть

Моделированию склонового стока для гидрологических моделей посвящено множество исследований, в частности, склоновый сток моделируется эмпирическими уравнениями для различных поверхностей ландшафта. Как правило, водосборный бассейн рассматривается в качестве самостоятельной расчетной единицы, в которой время добегания от верхней точки бассейна до створа рассчитывается в зависимости от типа подстилающей поверхности и уклонов.

Математическому моделированию склонового стока в естественных водосборах посвящено множество работ, в которых моделирование формирования паводка в речных бассейнах рассматривается в основном как поток воды по руслу реки с условием времени добегания «основных» струй воды по частным бассейнам, слагающим основной водо-

сбор. В работе «Flood inundation modelling of flash floods in steep river basins and catchments («Моделирование паводковых наводнений в обрывистых бассейнах и водосборах») [4] методы расчета формирования ливневого паводка рассматриваются как интегральный метод, с учетом формирования частных паводков.

В условиях городов бассейновый тип расчета времени добегания воды до точки необходимо рассчитывать не только по длине потока, но и с условием разделения или слияния линий токов на некоторой поверхности в пределах замкнутой территории.

Представим некоторую территорию в виде единичных емкостей, для каждой из которых уравнение водного баланса записывается в виде:

$$S_i \frac{dh_i}{dt} = S_i * \theta_i - \mu F_i + \sum_{j \in A} Q_{ji}, \quad (1)$$

где: S_i – площадь некоторого i -го элемента из матрицы цифровой модели рельефа; h_i – уровень (слой) воды в i -том элементе; θ_i – интенсивность осадков на i -тый элемент (мм/сек); μF_i – фильтрация в почву; μ – коэффициент фильтрации; $\sum_{j \in A} Q_{ji}$ – сумма склоновых потоков воды по поверхности с соседними с i -тыми элементами j из множества $\{A\}$ граничных элементов.

Поток воды по поверхности записывается в виде:

$$Q_{ij} = v_{ij} * \omega_{ij}, \quad (2)$$

где: ω_{ij} – площадь поперечного сечения потока; v_{ij} – скорость течения, которая определяется формулами Шези или Гангилье-Куттера при установившемся равномерном турбулентном движении жидкости для безнапорного потока.

Значения коэффициента шероховатости в формуле скорости потока принимались от 0,011 для асфальтобетонного покрытия поверхности, до 0,025 – для поверхностей лессовых и травянистых грунтов.

Уклон и направление потока рассчитывается по уравнению:

$$\gamma_{ji} = (H_j + h_j - H_i - h_i) / L_{ji}, \quad (3)$$

где: H – отметка поверхности земли для каждого элемента; h – уровень (слой) воды в элементе.

Фильтрация воды из конечного элемента в почву определяется коэффициентом фильтрации, μ , значение которого принималось в зависимости от проницаемости: $\mu = 0$ – непроницаемые крыши зданий, $\mu = 0,0001$ – для асфальтобетона, $\mu = 0,01$ – для лёссовых пород (основные подстилающие грунты первого горизонта для г. Ташкент [1]).

Как указывается в работе российских авторов «Переходы через водотоки» [1], в засушливых районах (Астраханские степи, степи Средней Азии и т.д.) категорию почв можно понижать на единицу, в районах муссонного климата – повышать на единицу. При выполнении расчетов ливневого стока кривые хода расчетного ливня и хода впитывания стока в почву совмещают в узловой точке графика, правее которой, собственно, и начинается поверхностный сток, таким образом используемые для расчетов данные были скорректированы для условий подстилающих почв города Ташкент.

Матрица цифровой модели рельефа представляется конечным множеством элементов и потоков между ними и сводится к решению системы обыкновенных дифференциальных уравнений при известных краевых условиях разностными методами [2, 3].

Начальные условия и граничные значения задаются равными нулю до начала ливня. Для решения системы уравнений используется яв-

ная разностная схема Эйлера, с шагом интегрирования τ , для которого условием устойчивости является [7]:

$$\tau \leq \frac{2}{\frac{df}{dU}} \quad (4)$$

Интенсивность осадков зависит от времени и распределяется равномерно по всей площади водосборного бассейна.

В качестве примера для расчета принималась топографическая основа территории площади Чорсу (Ташкент). Основу для расчетной модели составляет цифровая модель рельефа. Входными данными для расчетов использовались метеорологические наблюдения Узгидромета.

В качестве исходных данных по интенсивности осадков принимались материалы метеорологических наблюдений, трансформированные по площади согласно предположению равномерности распределения по равномерной сетке с привязкой к станции наблюдений [5, 6].

На рисунке 1 приведена цифровая 3D-модель рельефа территории г. Ташкент в районе площади Чорсу (между медресе Кукельдаш и бывших зданий гостиницы Чорсу и ГУМа). Вертикальный масштаб изображения увеличен для наглядности. Размер стрелок отражает уклон (потенциальную скорость) потоков, сами стрелки – направление струй в узлах сетки.

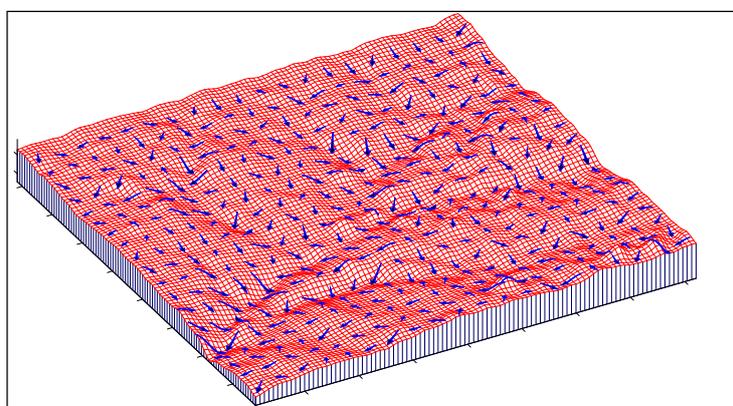


Рис. 1. Схема струйных водотоков на цифровой модели рельефа территории Ташкента в районе площади Чорсу

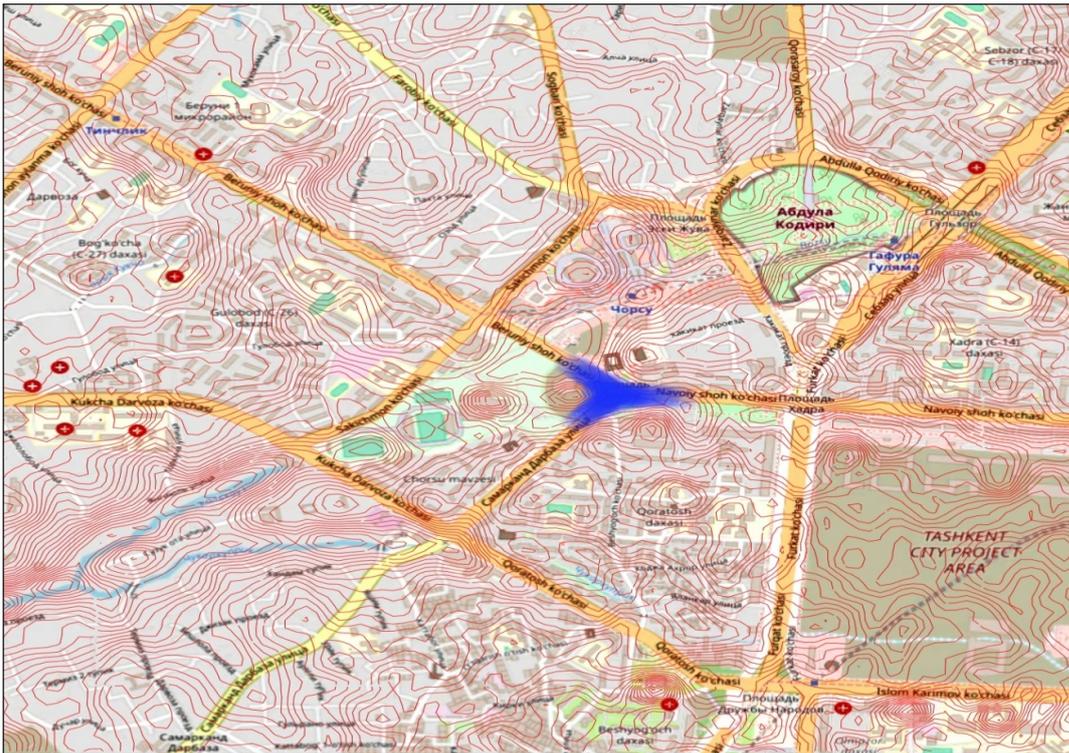


Рис. 2. Карта-схема района площади Чорсу с нанесенными зонами затоплений в результате сильного ливня

Выводы

Предлагаемая расчетная схема позволяет рассчитать зону и интенсивность затоплений городской территории с распределенным неравномерным покрытием ландшафта. В расчетах принимаются во внимание фильтрационная способность покрытия, скорость водного потока от типа покрытия, различная интенсивность выпадающих осадков.

Разработанная методика позволяет провести расчеты площади и скорости зоны затопления. В связи с тем, что для отработки расчетной схемы использовалась цифровая модель рельефа, полученная с помощью программы Global Mapper по геопространственным данным геологической службы США (U.S. Geological Survey National Geospatial Technical Operations Center) [8], по спутниковой информации относительно низкого разрешения, в которой на измерение рельефа оказывают влияние строения, а при измерении высот возникают ошибки, для практической реализации и разработки проектных мероприятий необходимо провести натурные измерения скорости потоков по покрытиям,

коэффициенты фильтрации и уточнить топографические параметры рельефа и ландшафта, проведя геодезические измерения.

В зависимости от антропогенного изменения ландшафта и интенсивности ливневых осадков возможно рассчитать не только зону затопления, но и интенсивность заполнения впадины, что позволит разработать экономически обоснованные мероприятия для снижения риска возникновения чрезвычайной ситуации.

В результате изменения городского ландшафта значительно увеличивается не только площадь зон затоплений, но и скорость накопления воды во впадине, что значительно повышает риск возникновения чрезвычайной ситуации с возможными угрозами здоровью человека.

Таким образом, неисправность или засорение дренажных систем является частичным обоснованием возникающих наводнений в городах во время интенсивных ливней, основной же причиной является изменение фильтрационных и скоростных показателей водосборного покрытия.

Источники и литература

1. Бегам Л.Г., Болдаков Е.В. и др. Переходы через водотоки. –М.: Транспорт, 1973. – С. 456.
2. Дистель Р. Теория графов / Пер. с англ. – Новосибирск: Из-во института математики, 2002. – С. 336. – с. ISBN 5-86134-101-X.
3. Зайцев В.Ф., Полянин А.Д. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. – М.: Физматлит, 2001. – С. 576.
4. Kvočka D., Ahmadian R., Falconer R.A. Flood inundation modelling of flash floods in steep river basins and catchments water, 2017, – №9, – С. 705.
5. McGuire Thomas. Weather Hazards and the Changing Atmosphere. Earth Science: The Physical Setting. Amsco School Pubns Inc. 2004, – p. 571. – ISBN 0-87720-196-X.
6. Rodriguez-Iturbe I. and Eagleson P. S. Mathematical Models of Rainstorm Events in Space and Time / Water Resources Research 1987. – № 23. – p. 181–190.
7. Zwillinger D. Handbook of Differential Equations. -3rd ed. – Academic Press, 1997. – P. 120.
8. <https://www.usgs.gov/core-science-systems/ngp/ngtoc/>

Рецензент:

Самаджанов Б.М., д.г.н., кафедра «Физика атмосферы», Национальный университет Узбекистана