

**В. КОРНЕЕВ** (orcid id: 0000-0003-1694-1190), **Л. ГЕРТМАН** (orcid id: 0000-0001-9394-7065)

**И. БУЛАК** (orcid id: 000-0002-8275-3983), **А. ПАХОМОВ** (orcid id: 0000-0002-6095-2682)

Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов» (РУП «ЦНИИКИВР»)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ ОТ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ОСАДКОВ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА МИНСК (БЕЛАРУСЬ)

В статье изложены подходы к определению возможных мест затопления урбанизированных территорий на примере г. Минск (Беларусь). Расчеты проводились по двум направлениям: с точки зрения оценки пропускной способности коллекторов дождевой канализации и формирования бессточных понижений рельефа.

**Ключевые слова:** экстремальные осадки, риск затопления, урбанизированная территория, зона затопления

### ВВЕДЕНИЕ

В процессе развития городов существенным образом меняются условия формирования и отвода поверхностного дождевого стока. Здесь действуют различные факторы, среди которых следует отметить ускорение стока за счет изменения регулирующей и аккумулирующей способности урбанизированных территорий. Строительство зданий, улиц, асфальтирование больших площадей ускоряют поверхностный сток, и пропускная способность систем дождевой канализации оказывается ниже необходимой для катастрофически быстро формирующихся максимальных расходов дождевого стока, возникают подпоры в системе его отвода, что приводит к интенсивному подъему уровней на отдельных участках. Данная ситуация характерна и для работы дождевой канализации в городе Минск (Беларусь).

Кроме того, в условиях изменения климата для Беларуси значительно повысилась вероятность возникновения опасных гидрометеорологических явлений. Особенно существенные изменения гидрологического режима в последнее время характерны при выпадении летних осадков с экстремальными значениями. В условиях низкой фильтрационной способности грунтов и значительной урбанизации это приводит к подтоплению и затоплению отдельных участков, остановке городского транспорта, затоплению нижних этажей зданий.

В связи с этим требует решения проблема оптимизации системы дождевой канализации по основным магистральным коллекторам с учетом наиболее

опасных участков пропуска дождевых вод и разработки мероприятий по минимизации затопления городских территорий с учетом урванного режима основной водной артерии Минска реки Свислочь, как приемника дождевого стока. Исследования для выявления причин возможных проблемных территорий формирования зон затопления и подтопления в Минске проводились по 2 направлениям:

1. Расчет пропускной способности основных коллекторов дождевой канализации и риска затопления территории;
2. Определение возможных мест затоплений с учетом морфологических характеристик территории.

## **1. РАСЧЕТ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ОСНОВНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ДОЖДЕВОЙ КАНАЛИЗАЦИИ И РИСКА ЗАТОПЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ**

В структуре водосборной площади коллекторов и выпусков дождевой канализации в Минске по функциональному назначению выделяются жилая многоквартирная застройка, жилая усадебная застройка, общественные территории, территории производственных объектов, озелененные территории (скверы, парки, внутридомовые зеленые зоны), пашни, территории транспортного назначения. С начала формирования дождевой канализации города произошли существенные изменения в использовании территорий, что привело к значительным отличиям в формировании поверхностного стока от первоначальных проектных условий. В целом в Минске сильно преобразованные территории занимают в балансе территорий 63%, что существенно влияет на скорость формирования гидрографа поверхностного стока. Под жилой многоквартирной застройкой находится порядка 24% территории, в то же время под усадебной - 6%, а озелененные территории занимают 19% площади города.

Для определения риска затопления и подтопления территорий выполнены расчеты с использованием математических моделей количественных характеристик дождевого стока, формирующегося на этих территориях, и пропускной способности коллекторов дождевой канализации, принимающих этот сток.

Количественные характеристики дождевого стока с застроенных (урбанизированных) территорий, включая объем стока, гидрограф его прохождения, продольную скорость и интервал времени его склонового добега определялись с использованием метода предельных интенсивностей стока и морфометрических характеристик территорий его формирования. Затем выполнялся расчет пропускной способности принимающих этот сток трубопроводов с использованием формулы Шези по конкретным характеристикам трубопроводов (его диаметрам, длинам, уклонам), рассчитанным количественным характеристикам стока с территорий, а также с учетом наличия стока в этих трубопроводах от расположенных выше водоприемников и примыкающих коллекторов.

В качестве основных исходных показателей для расчета количественных характеристик дождевого стока с субводосборов приняты площадь водосбора, средний уклон водосбора, площадь водонепроницаемых поверхностей, расстояние от принимающего коллектора до наиболее удаленной точки субводосбора.

Расчет пропускной способности выполнен для основных 13 коллекторов дождевой канализации города.

Выявлено 6 участков на территории города, где существует риск подтоплений, возникающих за счет подпора от магистрального трубопровода в случае превышения накопленного расхода над пропускной способностью трубопровода.

Риски затоплений, возникающих за счет подпора от трубопроводов, непосредственно принимающих стоки с субводосборов в случае превышения максимальных расходов дождевых вод с субводосборов над пропускной способностью принимающих трубопроводов возникают на 20 участках.

Расчеты показали, что максимальный сток дождевых паводков существенно ниже максимального стока весеннего половодья р. Свислочь, которая является основным приемником дождевых вод, и превышает значения среднесезонного стока. Такая ситуация свидетельствует о практически бесподпорных (со стороны реки Свислочь) условиях отвода дождевого стока в реку.

## **2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНЫХ МЕСТ ЗАТОПЛЕНИЙ Г. МИНСК С УЧЕТОМ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРРИТОРИИ**

Для определения возможных мест затоплений Минска с учетом морфологических характеристик территории применена географическая информационная система (ГИС) поддержки принятия решений при управлении инженерными сетями. Для построения цифровой модели рельефа (ЦМР) Минска и последующего анализа водосборных площадей ливневых коллекторов Минска были использованы спутниковые данные дистанционного зондирования Земли ASTER GDEM2 и цифровые слои горизонталей и отметок высот для территории Минска, которые были получены путем оцифровки топоосновы масштаба 1:10000.

Совместное использование слоев локальных понижений и анализ бессточных зон позволило дать оценку возможных потенциальных зон для затопления в Минске на основании данных подготовленной ЦМР.

Установлено, что некоторые жилые районы города расположены в таких местах, где понижения рельефа в сухую погоду не заметны - всё обнаруживается только тогда, когда дождя выпадает настолько много, что почва не в состоянии его впитать, а канализационная система - отвести его. Уязвимыми оказываются также дороги и прочие объекты инфраструктуры, например пути и станции.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных расчетов определены характеристики трубопроводов, где имеются риски затоплений от превышения максимального расхода с водосбора над пропускной способностью трубопровода.

Установлены дополнительные проблемные территории, где в силу орографических особенностей формируются дополнительные бессточные зоны. Для них необходимо проведение детальных исследований по уточнению параметров поверхностного стока с целью проектирования дождевой канализации с целью снижения риска их затопления.

По результатам проведенных работ установлено, что причинами подтопления и затопления территорий в период выпадения экстремальных осадков в Минске являются:

- 1) недостаточная пропускная способность коллекторов дождевой канализации на отдельных их участках;
- 2) скопление дождевой воды в понижениях рельефа с высоким коэффициентом стока.

В результате совмещения расчетов пропускной способности основных коллекторов дождевой канализации города с учетом количественных характеристик формирования стока с субводосборов и модели возможных мест затоплений Минска с учетом морфологических характеристик территории построена карта с возможными проблемными территориями по формированию зон затопления и подтоплений. Подготовлена карта зон риска затоплений.

Полученные в результате работ возможные зоны затопления и подтоплений коррелируют с имеющимися данными о наиболее проблемных участках Минска по результатам многолетних наблюдений.

Возможные проблемные территории по формированию зон затоплений и подтоплений предложены для использования при перспективном развитии города при организации системы отвода поверхностного стока и функциональном зонировании территории.

## DETERMINATION OF FLOOD WATER ZONES CAUSED BY STORM WATER USING THE EXAMPLE OF MINSK (BELARUS)

The article describes approaches to the determination of possible flooding locations of urbanized areas using the example of Minsk city (Belarus). Calculations were carried out in two directions: from the point of view of estimating the throughput capacity of runoff water collectors and the formation of drainless depressions of the relief.

**Keywords:** storm water, flood risk, urbanized area, flood water zone