

УДК 502/504 : 556.535, 556.536

А. А. САЗОНОВ, И. Н. КРЫЛЕНКО, П. П. ГОЛОВЛЕВ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», г. Москва

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТИВОПАВОДКОВЫХ ДАМБ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ТОМЬ У ГОРОДА МЕЖДУРЕЧЕНСКА)*

В статье приводится оценка количественных характеристик наводнений при различных условиях с применением методов математического моделирования совместно с ГИС-технологиями. Объект исследования – город Междуреченск Кемеровской области, расположенный в узле слияния рек Томь и Уса и подверженный частым наводнениям. Наиболее масштабным стало наводнение в 1977 г., начавшееся вследствие интенсивных дождей в ночь с 9 на 10 мая на фоне пика половодья, что обусловило прохождение по р. Томи расхода воды обеспеченностью менее 1 %. После этого события защитные дамбы вокруг города наращивались несколько раз. Именно наводнение 1977 г. было выбрано в качестве основного сценария при проведении моделирования. Моделирование проводилось с использованием программного комплекса «River» (авт. Беликов В. В. и др.), в основу которого положено решение двумерных уравнений Сен-Венана. По результатам моделирования для г. Междуреченск проведено сопоставление уровней воды, скоростей течения и продолжительности затопления при наличии и отсутствии противопаводковых дамб. Показано, что при оценке эффективности защитных сооружений следует учитывать возможное увеличение уровней воды и скоростей течения за счет стеснения потока. Выявлен эффект подпорного повышения уровней воды за счет стеснения потока дамбами в узле слияния рек Томь и Уса на 0,5 м и более. Подтверждено, что при современной высоте дамб город Междуреченск достаточно защищен от затопления при половодьях 1 % и даже более низкой обеспеченности.

Опасные гидрологические явления, затопление, противопаводковые мероприятия.

The article gives an assessment of quantitative characteristics of floods under different conditions using methods of mathematical simulation together with GIS-technologies. The object of investigation is a town of Mezhdurechensk of the Kemerovo area situated in the confluence point of rivers Tom and Usa and undergoing frequent floods. The largest flood was in 1977 resulting from intensive raining at night from the 9th to 10th of May with the simultaneous peak of flooding which caused passing of water consumption on Tom with provision of less than 1 %. After this event flood dams around the town were developed several times. Exactly the flood of 1977 was chosen as a main scenario for carrying out a simulation. Modeling was fulfilled with the usage of the software complex «River» (authors Belikov V. V. and others) the basis of which is the decision of 2-D equations of Saint Venant. According to the simulation results for Mezhdurechensk there was made a comparison of water levels, speeds of current and duration of flooding under the availability or absence of flood dams. It is shown that when assessing the effectiveness of protective structures it is necessary to take into account possible rising of water levels and current speeds due to the constraint of the flow. There is revealed an effect of retaining water level rising due to the flow constraint by dams in the merging point of rivers Tom and Usa by 0.5 m and more. It is confirmed that under the present height of dams the town Mezhdurechensk is enough protected from flooding under floods of 1 % and even lower provision.

Dangerous hydrological phenomena, flooding, flood protection measures.

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-17-00155).

Применение методов математического моделирования совместно с геоинформационными (ГИС) технологиями позволяет оценить количественные характеристики наводнений и проанализировать их изменение при различных условиях. При помощи математического моделирования возможно оценить эффективность таких противопаводковых объектов, как дамбы.

Целью проведения моделирования в данном исследовании являлась оценка характеристик затопления участков пойм в узле слияния рек Томь и Уса в районе г. Междуреченск и пос. Чебалсу, окруженных защитными дамбами, и анализ воздействия дамб на затопление местности.

Для расчетов использовался отечественный программный комплекс «River» (авторы В. В. Беликов, А. Н. Милитев), в основу которого положено решение двумерных уравнений Сен-Венана на основе численных методов. Для оценки продолжительности затопления была дополнительно разработана подпрограмма «Flooding time», выполняющая подсчет продолжительности стояния воды в каждой ячейке расчетной сетки.

Река Томь – правый приток реки Оби, является наиболее крупной и полноводной рекой Кемеровской области. Основным источником питания Томи являются зимние осадки, которые формируют 60...65 % годового стока. Остальные 35...40 % стока приходятся на дождевые и грунтовые воды. Подъем уровней весной начинается в конце марта – начале апреля и продолжается в течение 30–40 дней. Максимальных значений уровень воды р. Томь достигает в среднем в конце первой декады мая, хотя в некоторые годы это происходило в середине апреля и в начале июня, когда на волну половодья накладывались дождевые паводки. Высшие уровни воды, формирующиеся за счет стоковой составляющей в период половодья, в большинстве случаев (около 85 %) являются наивысшими за год и значительно на 1,5...2 м превышают максимальные уровни воды во время весеннего ледохода.

Город Междуреченск Кемеровской

области с населением около 100 тыс. человек, расположенный в узле слияния рек Томь и Уса, является крупным центром добывающей промышленности Кузбасса. В истории города, основанного в 1950-х годах, уже случались крупные наводнения. Наиболее масштабным явилось наводнение в 1977 г., начавшееся вследствие интенсивных дождей в ночь с 9 на 10 мая на фоне прохождения пика половодья. По словам очевидцев, вода прибывала по 10...15 см в час. В 1977 году по реке Томи прошел расход обеспеченностью менее 1 %. Вода стояла вровень с дамбами, а кое-где и перетекала их. После этого события защитные дамбы вокруг города наращивались несколько раз. Именно наводнение 1977 г. было выбрано в качестве основного сценария при проведении моделирования.

В качестве исходных данных в работе были использованы материалы, полученные лабораторией эрозии почв и русловых процессов географического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова в ходе полевых исследований, проведенных в данном районе в июне 2013 г., и крупномасштабные топографические карты.

Калибровка модели проводилась на основе данных об измеренных расходах воды и отметках урезов водной поверхности за период 20–21.06.2013 путем уточнения коэффициентов шероховатости. При коэффициентах шероховатости русел, равных 0,025, пойм и островов – 0,06, застроенных территорий – 0,1 было достигнуто хорошее соответствие измеренных и рассчитанных отметок водной поверхности в контрольных точках. Измеренные и рассчитанные уровни воды различаются не более чем на 0,32 м (таблица).

На основе данных о расходах воды в период исторического наводнения 1977 г. (рис. 1) было рассмотрено две ситуации: затопление территории при наличии противопаводковых дамб в их современном состоянии и при полном их отсутствии. Для р. Томи использовался максимальный наблюдаемый 10 мая 1977 г. расход 4340 м³/с вместо соответствующего среднесуточного (рис. 1).

Таблица 1

Сопоставление измеренных $H_{\text{факт}}$ при одновременной связке уровней 20–21.06.2013 и смоделированных $H_{\text{мод.}}$ отметок водной поверхности рек Томи и Усы

№ точки	Местоположение	$H_{\text{факт}}$, м	$H_{\text{мод.}}$, м	ΔH , м
1	слияние рек Томи и Усы	233,98	234,3	0,32
2	мост через р.Уса	240,02	239,76	-0,26
3	р.Уса в верхней части г. Междуреченск	245,76	245,60	-0,16
4	р. Томь в нижней части г. Междуреченск	237,49	237,32	-0,17
5	р. Томь, гидрост	239,46	239,44	-0,02
6	р. Томь, верхняя часть г. Междуреченск	243,65	243,44	-0,21

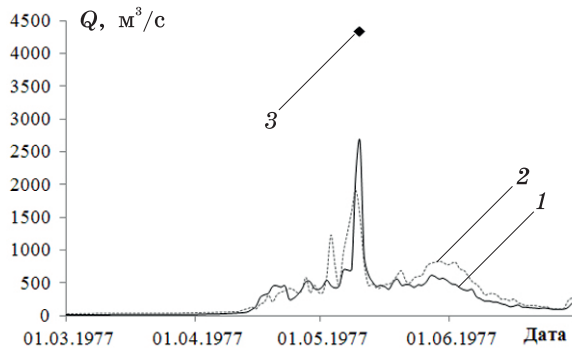


Рис. 1 Расходы воды в узле слияния рек Томь и Уса в половодье 1977 года: 1 – среднесуточные р. Томи; 2 – среднесуточные р. Усы; 3 – максимальный мгновенный р. Томи 10.05.1977

Результаты моделирования показали, что при современном состоянии дамб город Междуреченск в настоящее время полностью защищен от затопления, при условиях, аналогичных 1977г., однако наблюдается перелив Чебалсинской дамбы и незначительное подтопление поселка.

По результатам моделирования в руслах рек глубины составляют от 2 до 8,5 м, а в местах стеснения потока дамбами до 11 м. На пойме в районе подтопления посёлка Чебалсу глубины могут достигать 1,5 м.

По результатам проведенного моделирования прохождения половодья 1977 г. при условии полного отсутствия защитных дамб, 3/4 территории, где сейчас находится город Междуреченск, ранее затапливалось (рис. 2), причем глубина затопления в отдельных частях поймы при прохождении пика половодья могла достигать 4 м, скорости течения до 0,5 м/с. Участки пойм, расположенные в непосредственной близости от рек, находятся под водой на протяжении всего времени прохождения пика половодья, возвышенные области, затапливаются не сразу, поэтому они под водой находятся от 1 до 2 суток. Отдельные участки территории, где расположена современная застройка, в силу своих высотных отметок не затапливаются вовсе.

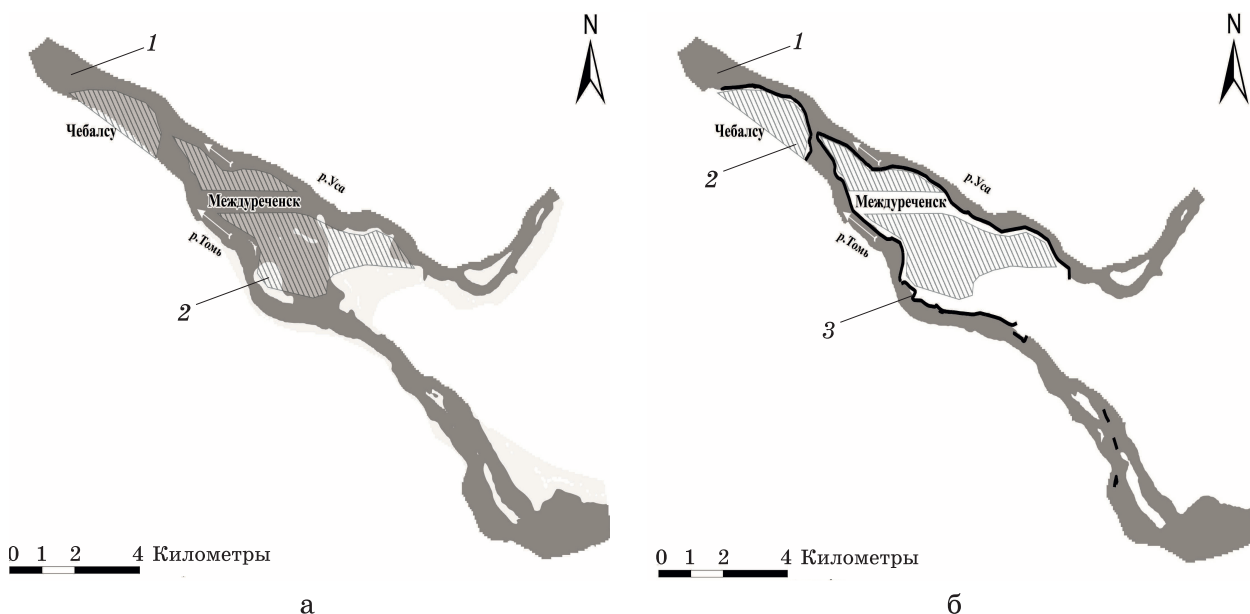


Рис. 2 Затопление пойм в узле слияния рек Томь и Уса при прохождении половодья 1977 года при отсутствии (а) и наличии (б) защитных дамб у г. Междуреченск и пос. Чебалсу: 1 – граница затопления; 2 – застроенные территории; 3 – дамбы

Таких районов на карте можно выделить два: на возвышении в юго-восточной окраине Междуреченска и локальном возвышении близ реки Томь, но их площадь невелика по сравнению с затопленными участками. В районе поселка Чебалсу пойма полностью подвергается затоплению.

Также на основе расчетов согласно сценарию прохождения половодья 1977г. была проведена оценка влияния дамб на уровни воды и скорости течения. Такое сравнение показало, что дамбы за счет стеснения потока увеличивают отметки водной поверхности в пределах затопляемых участков русел и пойм. На рассматриваемом участке в основном отметки водной поверхности увеличились на 0,5 м. Однако в районе сужения русла реки Томь, вдоль защитной дамбы у города Междуреченск отметки водной поверхности возрастают на 1...1,5 м, а в отдельных случаях – до 2,5 м. Также стоит отметить, что наличие дамб существенно увеличивает скорость течения потока. В условиях прохождения пика половодья 1977 г. при наличии дамб скорость течения на реках Томь и Уса на рассматриваемом участке будет превышать 3 м/с, при отсутствии дамб поток будет «распластываться» по ширине и выходить на пойму, и в связи с этим будут наблюдаться меньшие

скорости течения, так в руслах рек Томь и Уса скорость будет изменяться в пределах 2,5...3 м/с.

Заключение

На основе результатов моделирования затопления пойм в узле слияния рек Томь и Уса было показано, что при оценке эффективности того или иного сооружения следует учитывать не только выполнение его защитных функций, но и возможное увеличение уровней воды и скоростей течения за счет стеснения потока. Несмотря на выявленный эффект завышения уровней воды за счет стеснения потока дамбами на 0,5 м и более, город Междуреченск в настоящее время достаточно защищен от затопления при половодьях 1 % и даже более низкой обеспеченности.

Материал поступил в редакцию 06.11.2014.

Сазонов Алексей Александрович,
студент

E-mail: sazonov.lesha@gmail.com

Крыленко Инна Николаевна, кандидат
географических наук, старший научный
сотрудник

E-mail: krylenko-i@yandex.ru

Головлев Павел Петрович, младший
научный сотрудник

E-mail: pavel_golovlev@list.ru