

КРАТКОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАТОПЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА КУРСКА В ПЕРИОД ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ*

©2012 г. М.В. Кумани, А.В. Апухтин

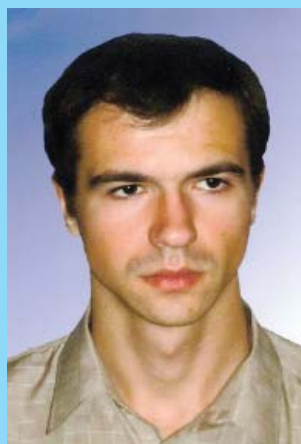
Курский государственный университет, г. Курск

Ключевые слова: краткосрочное прогнозирование стока, максимальные уровни и расходы воды, метод соответственных уровней, прогноз половодья.

В статье рассматривается возможность краткосрочного прогнозирования уровней воды и сроков их наступления в период весеннего половодья и затопления обширных урбанизированных территорий г. Курска. Приведены алгоритм и основные зависимости для краткосрочного прогноза стока в условиях наличия крупного притока и с учетом динамики русловых процессов. Сделаны выводы о возможности применения в данных условиях методов прогноза, описывающих формирование волны половодья в обобщенном виде.



М.В. Кумани



А.В. Апухтин

Введение

Значительные территории г. Курска расположены на пойменных землях, подверженных периодическому затоплению весенними водами [1]. В зону затопления попадают обширные селитебные территории, промышленные объекты, транспортные системы и объекты жизнеобеспечения населения. Учитывая это, большую значимость приобретает надежная информация об

*Работа выполнена в рамках государственного контракта от 29.04.2011 № 16.515.11.5005.

уровня воды и времени их наступления при прохождении максимальных расходов весеннего половодья.

Оценка риска затопления территории весенними водами является многоэтапной задачей. Во-первых, необходимо четко представлять потенциальную опасность затопления в многолетней перспективе. Данная задача решается расчетом вероятностных характеристик, построением кривых обеспеченности максимальных расходов и уровней, расчетом зон затопления. Во-вторых, необходимым этапом является оценка водности предстоящего половодья и прогноз максимальных уровней воды по сложившимся в текущем году стокоформирующим факторам и ее уточнение по мере поступления информации о метеорологических характеристиках предстоящей весны (долго- и среднесрочное прогнозирование максимальных уровней и расчет зон затопления). На основании полученных прогностических зависимостей производится оценка потенциальной опасности для территории и населения конкретного предстоящего половодья.

Результирующим и наиболее ответственным этапом является краткосрочное прогнозирование максимальных, возможно критических уровней воды. Наиболее значимым критерием применения того или иного метода прогноза на этом этапе является надежность и достаточная заблаговременность получаемых результатов. Учитывая высокую изученность гидрологического режима, наличие продолжительных наблюдений и данных по нескольким высоким половодьям, прошедшим в последние годы, становится возможным использовать методы прогноза, основанные на сопоставлении водомерных наблюдений, которые, как утверждают Б.А. Аполов и др. [2], дают результаты, по своей точности нередко превосходящие те, которые получены по уравнениям Буссинеска и Сен-Венана и к тому же не требуют обширных гидрометрических исследований.

Одним из наиболее простых методов, используемых для краткосрочного прогнозирования уровней воды на реках, является метод соответственных уровней (либо расходов). Его основанием является установление эмпирических связей при условии отсутствия значительной трансформации волны половодья [3].

Таким образом, целью работы является разработка алгоритма и основных зависимостей для краткосрочного прогнозирования расходов и уровней воды, а также времени их наступления для гидрологического объекта, формирование уровенного режима которого обусловлено разновременным прохождением волн половодий по основной реке и крупному притоку. Отличительной особенностью рассматриваемого объекта является активное проявление русловых процессов, что обуславливает нестационарность гидравлических характеристик русел и пойм рек.

Разработка схемы краткосрочного прогнозирования уровня воды в период весеннего половодья

Уровеньный режим р. Сейм в г. Курске (пос. Рышково) во многом зависит от двух основных водотоков – притока р. Тускарь и верхнего течения р. Сейм (рис. 1). Для краткосрочного прогнозирования уровня воды на данном гидрологическом посту необходимо учитывать как прохождение волны половодья по основному руслу р. Сейм, так и по р. Тускарь (табл. 1).

Задачу получения прогностических зависимостей, описывающих движение волны половодья, обуславливающее затопление обширных

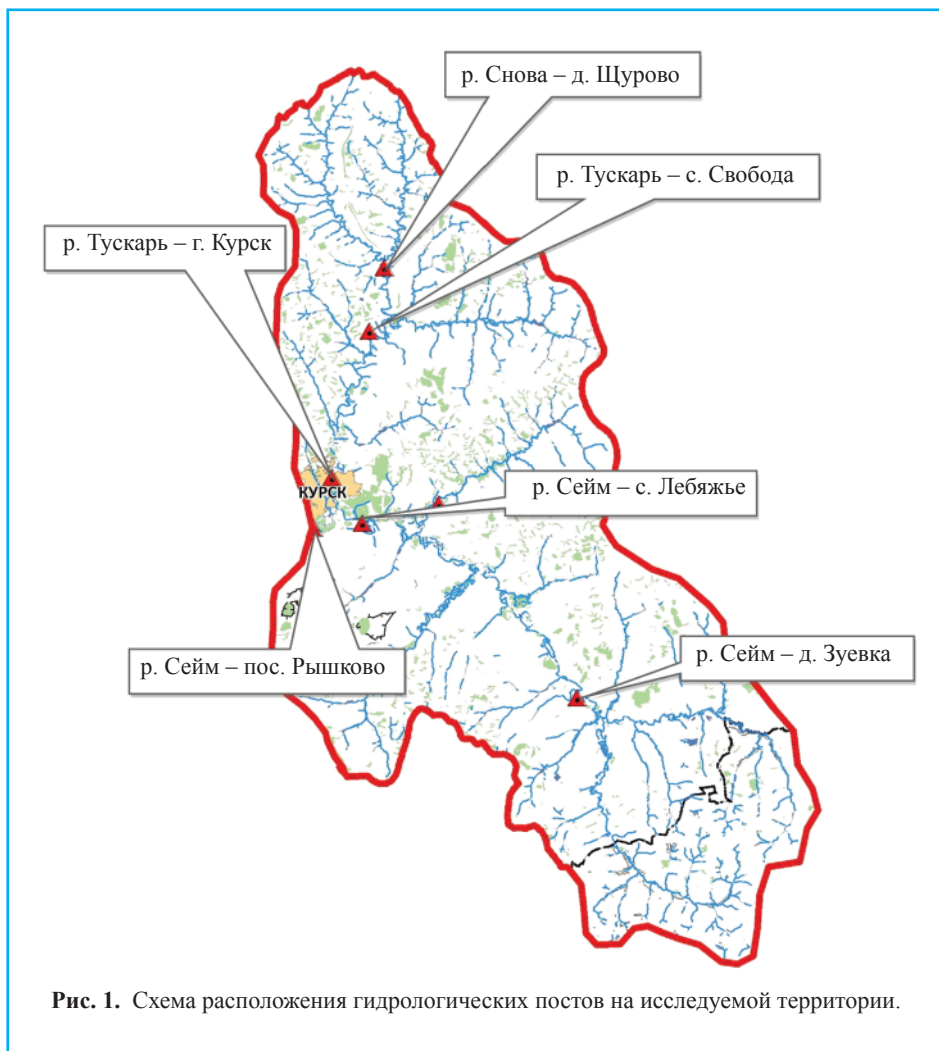


Таблица 1. Общая характеристика рассматриваемых гидрологических постов

Река – пункт наблюдений	Расстояние (км) от		Площадь водосбора, км ²	Отметка нуля поста, м БС	Координаты	
	истока	устья			широта	долгота
р. Сейм – с. Зуевка	89	668	2320	158,87	51°25''	36°48''
р. Сейм – с. Лебяжье	161	595	4870	154,67	51°41''	36°17''
р. Сейм – пос. Рышково	178	578	7460	150,00	51°41''	36°09''
р. Снова – д. Щурово	59	17	781	171,48	52°05''	36°21''
р. Тускарь – с. Свобода	57	51	1690	163,13	51°58''	36°19''
р. Тускарь – г. Курск	100	8,5	2380	153,41	51°45''	36°13''

урбанизированных территорий в г. Курске и ряде сельских поселений, целесообразно разделить на несколько подзадач. В первой определяют особенности и выявляются основные закономерности прохождения половодья по р. Тускарь до г. Курска, во второй – по р. Сейм до с. Лебяжье и, наконец, результирующий этап – определение характера взаимодействия двух потоков при их слиянии и определение прогностических зависимостей для гидрологического поста на р. Сейм в г. Курске (пос. Рышково).

Для разработки прогностических зависимостей и вывода эмпирических формул использовались срочные уровни и измеренные расходы воды, а также их среднесуточные значения за годы, когда наблюдались высокие половодья (1970, 1979, 1988, 2003 гг.).

Общая прогнозная схема основывается на сопоставлении характерных расходов в верхнем и нижнем гидрологических постах, на основе чего строятся кривые соответственных расходов и определяется кривая добегаания. Исследование рядов характерных расходов, а не уровней, и как следствие усложнение всей прогнозных схемы обусловлено неустойчивостью зависимостей $Q = f(H)$ (где Q и H , соответственно, расходы и уровни воды) в условиях равнинных рек лесостепной зоны и в т. ч. р. Сейм. В отдельных пунктах наблюдения кривые $Q = f(H)$ могут существенно менять свою форму, в зависимости от динамики русловых процессов в легкоразмываемых грунтах речных пойм [1, 4].

Зависимость расхода воды на г/п (гидрологический пост) р. Тускарь – г. Курск ($Q_{\text{Тускарь – Курск}}$) от соответственных расходов на г/п р. Тускарь – с. Свобода ($Q_{\text{Тускарь – Свобода}}$), а также расчетная зависимость времени добегаания от расхода воды представлены на рис. 2.

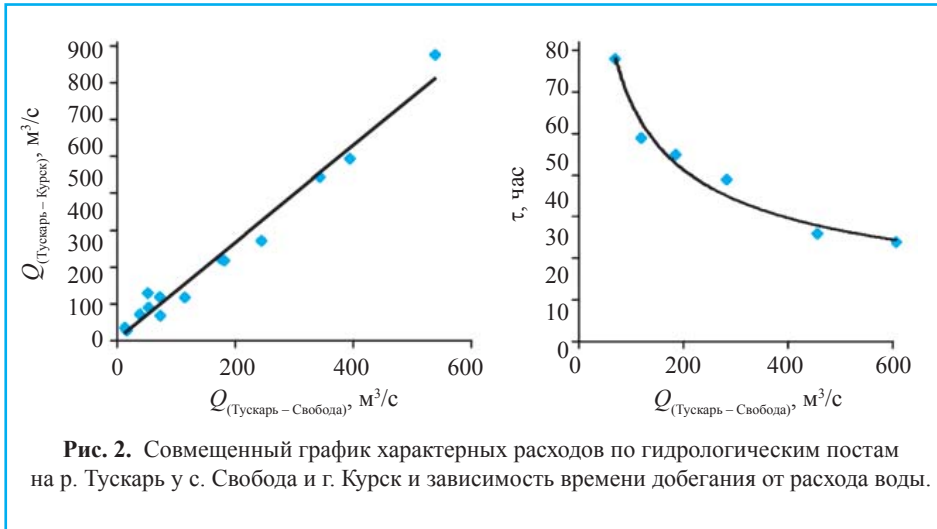


Рис. 2. Совмещенный график характерных расходов по гидрологическим постам на р. Тускарь у с. Свобода и г. Курск и зависимость времени добегания от расхода воды.

Полученные зависимости с достаточной надежностью аппроксимируются линейными и степенными функциями:

$$Q_{\text{Тускарь-Курск}} = 1,2 Q_{\text{Тускарь-Свобода}}, R^2 = 0,9741, \quad (1)$$

$$\tau_{\text{Свобода-Курск}} = 513,95 Q_{\text{Тускарь-Свобода}}^{-0,476}, R^2 = 0,9684. \quad (2)$$

Определение времени добегания производилось по разнице времени наступления характерных расходов (уровней). Для его уточнения использовались не только среднесуточные уровни и расходы, но и срочные измерения уровней воды, которые в период половодья производились от 2 до 12 раз в сутки. Переход от измеренных уровней к расходам осуществлялся при помощи фактической кривой $Q=f(H)$, сложившейся в каждый конкретный год. Это позволило использовать уточненные данные о времени добегания и при этом оперировать более устойчивой характеристикой – расходами воды.

Аналогично определялись параметры связей характерных расходов и времени руслового добегания для других гидрологических постов. В результате были получены серии зависимостей для краткосрочного прогнозирования расхода и уровня воды в замыкающем створе (р. Сейм – пос. Рышково) и времени их наступления. Общая схема краткосрочного прогноза (рис. 3) имеет заблаговременность (минимальное прогнозируемое время добегания) около 42 часов.

Для оценки надежности и точности предлагаемой прогнозной схемам выполнены расчеты для независимых периодов наблюдения. Результаты моделирования представлены на рис. 4.

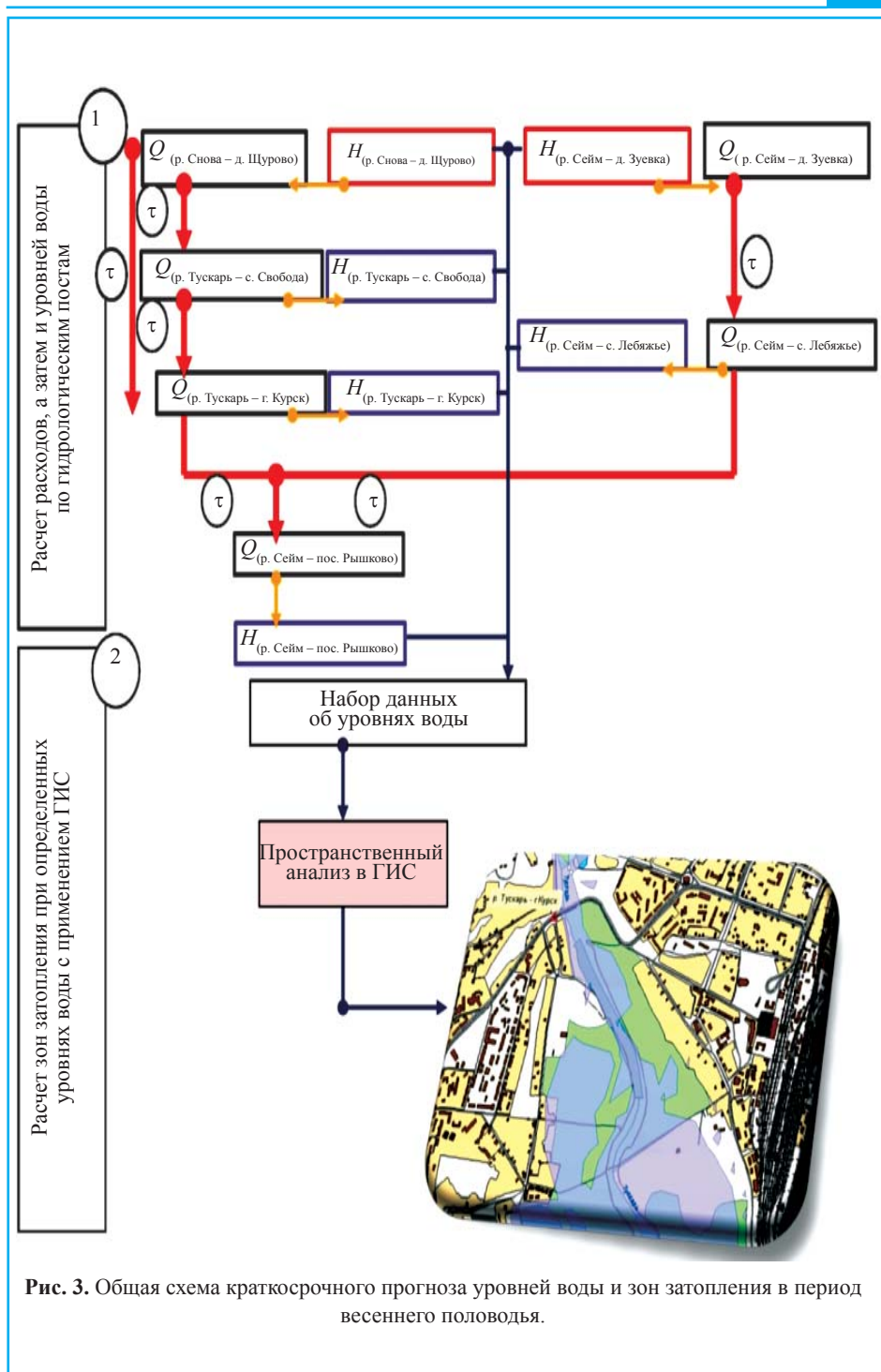
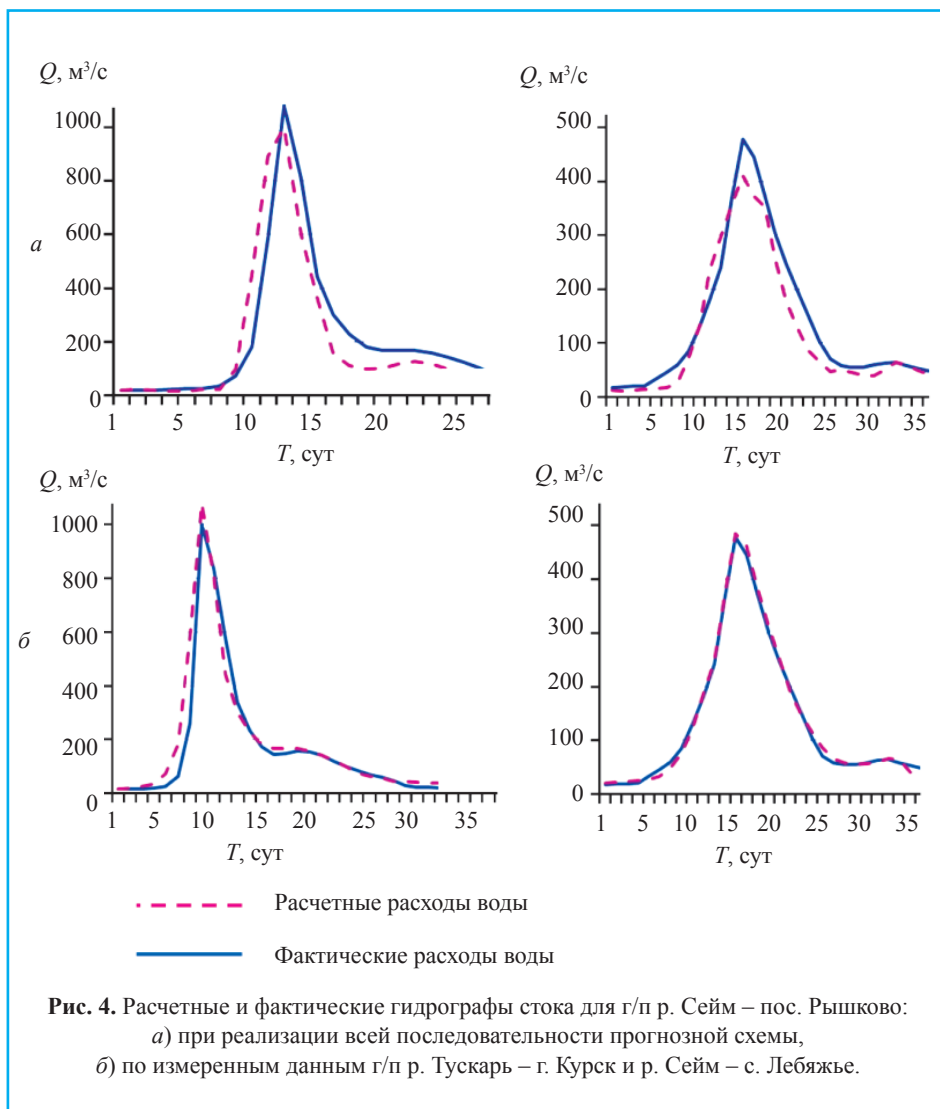


Рис. 3. Общая схема краткосрочного прогноза уровней воды и зон затопления в период весеннего половодья.



В результате проведения всей последовательности расчетов получаем набор отметок уровней воды над «0» гидрологических постов. Учитывая, что волны половодий относятся к категории длинных волн, т. е. их высота значительно меньше длины, то можно принять допущение о том, что между расчетными точками, расположенными по движению волны половодья, уровни воды будут меняться равномерно.

Задача расчета зоны затопления при известных уровнях воды решается с использованием инструментария ГИС. Для этого используется ЦМР (цифровая модель рельефа) местности и рассчитанные в резуль-

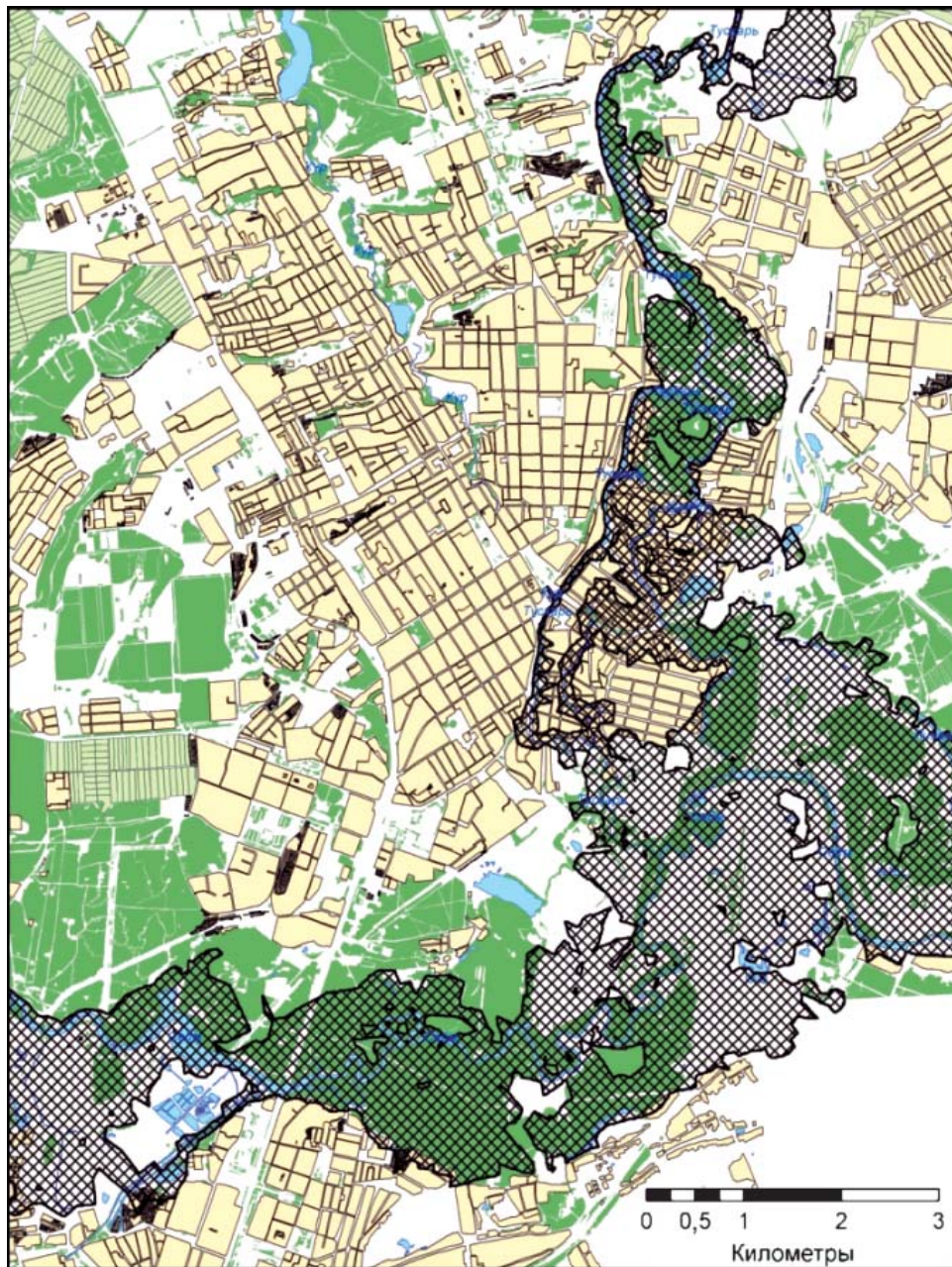


Рис. 5. Пример расчета зоны затопления водами весеннего половодья территории г. Курска.

тате моделирования абсолютные отметки уровня воды, по которым определяется превышение уровня воды над поверхностью земли в любом расчетном створе.

Нами было проведено построение зон затопления территории г. Курска водами весеннего половодья (рис. 5) в среде ArcGis 9.3 с применением модулей Spatial Analyst, 3D Analyst, а также ряда других инструментов, входящих в дистрибутив ArcGis, которые для удобства и оперативности выполнения операций пространственного анализа были объединены в алгоритм последовательного выполнения элементарных математических операций над пространственными объектами (shp-файлы, TIN, GRID) при помощи ArcToolbox. Результатом расчетов с использованием разработанной модели является расчет превышения уровня воды над поверхностью земли в предполагаемых зонах затопления.

Выводы

Таким образом, для исследуемой территории были рассчитаны зависимости для прогнозирования максимальных расходов и уровней воды, а также времени их наступления в контрольном замыкающем створе во время весеннего половодья. Основой для прогностических зависимостей являются данные гидрологических наблюдений в верхних створах. Несмотря на простоту используемых методов, их применение позволяет достичь значительной надежности и точности получаемых прогнозных значений, т. к. в обобщенной эмпирической форме учитываются условия формирования волны половодья, сложившиеся в каждом конкретном случае. Прямое непосредственное использование в качестве расчетных величин соответственных уровней на изученных реках приводит к значительным ошибкам из-за неустойчивости во времени связей расходов и уровней воды в гидрометрических створах, вызванных особенностями динамика русловых процессов. Использование в качестве основы для прогноза характерных расходов воды позволяет избежать подобных ошибок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчинникова Т.С., Смольянинов В.М., Федянин В.И., Фролова Н.Н. Условия возникновения и особенности чрезвычайных ситуаций в Центрально-Черноземном регионе. Воронеж: Изд-во «Истоки», 2007. 230 с.
2. Аполов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 421 с.
3. Георгиевский Ю.М., Шаночкин С.В. Гидрологические прогнозы. Учебник. СПб: Изд-во РГГМУ, 2007. 436 с.

4. Кумани М.В. Влияние природных факторов и хозяйственной деятельности на русловые процессы рек Курской области // Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях. Материалы VII междунар. симпозиума. Белгород: ВИОГЕМ, 2003. С. 469–473.

Сведения об авторах:

Кумани Михаил Владимирович, д. с.-х. н., профессор, кафедра физической географии и геоэкологии, Курский государственный университет, 305000, Курск, ул. Радищева, д. 33; e-mail: kumanim@yandex.ru

Апухтин Александр Валерьевич, аспирант, кафедра физической географии и геоэкологии, Курский государственный университет, 305000, Курск, ул. Радищева, д. 33; e-mail: apukhtin87@gmail.com