

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РАЗВИТИЯ ПАВОДКОВОЙ СИТУАЦИИ В БАССЕЙНЕ КУБАНИ СРЕДСТВАМИ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

*Борщ С.В., *Полунин А.Я., *Романов А.В., *Симонов Ю.А. (simonov@mecom.ru),

Самсонов Т.Е. (tsamsonov@geogr.msu.ru), *Макарчук Т.А., ****Мамедов Э.Э.

* ФГБУ «Гидрометцентр России», ** МГУ имени М.В.Ломоносова, Географический факультет, *** ФГУП «Госгисцентр», **** ООО «Эверпойнт»

Использование геоинформационных технологий в мониторинге состояния окружающей среды и прогнозировании опасных природных явлений является важной составляющей обеспечения устойчивого развития нашей страны. Ежегодно паводки и наводнения на реках приводят к жертвам среди населения и наносят огромный экономический ущерб народному хозяйству многих стран мира. Наличие пространственных данных о речных системах, оперативно обновляемая информация о ситуации на гидрологических постах, использование математических моделей формирования стока, а также современные методы пространственного анализа и визуализации в комплексе позволяют построить эффективную платформу для осуществления оперативного гидрологического мониторинга, моделирования и прогнозирования опасных паводков и наводнений на реках. С целью развития в этом направлении в ФГБУ «Гидрометцентр России» была создана ГИС мониторинга паводковой ситуации в бассейне Кубани. Описанию методики ее создания и перспектив развития посвящена данная статья.

Environment monitoring and prediction of natural disasters using GIS technologies play very important role in supplying sustainable development of our country. Every year river floods lead to casualties and yield a great hazard to economy of many countries around the world. The availability of spatial data about river systems, operational data from river gauges, watershed hydrological modeling of river flow and contemporary methods of spatial analysis and visualization allow construction of an effective framework for operational hydrological monitoring, modeling and river flood forecasting. This article presents the GIS for flood management in the Kuban River basin, developed in Hydrometeorological center of Russia as component of such framework, and its future perspectives are also discussed.

Одним из наиболее опасных регионов России с точки зрения прохождения паводков является бассейн реки Кубани. Физико-географические условия формирования стока на водосборах рек бассейна способствуют формированию паводков различного генезиса, которые нередко приводят к катастрофическим наводнениям. Наиболее опасные, так называемые быстроразвивающиеся паводки, формируются при выпадении интенсивных осадков и повышении температур воздуха в зоне формирования стока. Формирования этого типа паводков связано с мощной конвективной деятельностью в атмосфере над предгорными и горными областями и выпадением большого количества осадков.

С целью снижения рисков, вызванных прохождением паводков, разработана система гидрологического прогнозирования расходов воды на

притоках Кубани с заблаговременностью 72 часа. Для повышения эффективности использования прогностической информации результат работы прогностической системы отображается в геоинформационной среде, что включает в себя визуализацию гидрологической ситуации в населенных пунктах, а также отображение зон затоплений при прохождении паводочной волны.

Бассейн Кубани отличается большим разнообразием условий формирования стока. Около половины площади бассейна реки отличается сложной орографией (абсолютные отметки достигают 4100 м). Процессы вынужденной конвекции воздушных масс в горных и высокогорных областях приводят к выпадению большого количества осадков — до 1800–2000 мм. Высокогорье характеризуется холодной зимой с достаточно сильными морозами и устойчивым снежным покровом. Снежный покров появляется нередко в конце октября — начале ноября и начинает таять лишь в апреле. Равнинная часть бассейна отличается более однородными и мягкими условиями: средняя температура воздуха в июле 20–22°. Характерна теплая зима со значительным числом оттепелей и с большим количеством осадков. На равнинной территории бассейна и в предгорьях годовое количество осадков составляет 550–600 мм на востоке и 900–950 мм — на западе [3]. Неоднородные физико-географические условия в бассейне Кубани не позволяют получить прогностические уравнения в целом для всего бассейна. В связи с этим методика для прогноза дождевых паводков разработана для частных бассейнов, которые обладают однородными условиями формирования стока.

Краткосрочное прогнозирование расходов воды на горных водосборах бассейна Кубани производится с помощью модели формирования тало-дождевого стока [2, 5]. Водосборы рек данной части бассейна Кубани характеризуются большим диапазоном высотных отметок и включают как высоко расположенные области, в том числе ледники и области вечных снегов, так и участки среднегорий и предгорий. Для таких бассейнов описание

процесса формирования стока не может быть выполнено сразу для всей их площади и представляется обязательным её разбиение на некоторое количество высотных зон.

В качестве входной метеорологической информации используются данные об атмосферных осадках и о температуре воздуха, которые должны быть заданы для каждой высотной зоны в каждый расчётный интервал времени [1]. Основные блоки гидрологической модели включают описание динамики снежного покрова [5], поступления осадков на поверхность водосбора, описание процесса потерь на водосборе и их дальнейшую трансформацию в гидрограф в замыкающем створе.

Для прогнозирования стока на равнинных водосборах использованы физико-статистические зависимости расходов воды от метеорологических элементов, а также запасов воды в русловой сети в верхнем течении рек [4].

Автоматизированная система прогнозирования опасных наводнений представляет собой программный комплекс, реализованный в среде «Fortran90» и «VisualBasic10», который позволяет за сравнительно небольшие сроки произвести следующие действия:

- загрузка (из удаленной базы данных или файлов) всей необходимой гидрометеорологической информации, как фактической, так и прогностической;
- анализ, обработку и подготовку входных данных для работы гидрологических моделей;
- расчет и прогноз расходов (уровней) воды на створах Кубани;
- запись прогностической информации, ее подготовку для дальнейшего использования, в том числе в геоинформационной среде.

Результатом работы автоматизированной системы являются прогнозные значения расходов (уровней) воды для 25 гидрологических створов бассейна Кубани с заблаговременностью до 3 суток. Данная прогностическая информация является основой для отображения гидрологической ситуации и визуализации зон затопления.

Визуализация и анализ гидрологических данных проводилась в ГИС-пакете ArcGIS Desktop 10, оснащенный дополнительными модулями Spatial Analyst и 3D Analyst для анализа растровых и трехмерных данных. В работе использовались как стандартные, так и специально разработанные программные средства (модели и скрипты).

В рамках текущего этапа прототипирование ГИС оперативного гидрологического мониторинга осуществлялось с использованием данных цифровой топографической карты масштаба 1:200 000. Цифровая модель рельефа с разрешением 100 м была получена по горизонталям. Моделирование зон затопления при прохождении паводочной волны, очевидно, требует более детальных данных, с высокой плановой и альтиметрической точностью. Поэтому на данном этапе изучались в первую очередь возможности визуализации рассчитанных зон, их развития во времени и трехмерного представления.

Первым шагом стала организация ГИС-инфраструктуры, удобной для решения гидрологических задач. Для этого с использованием предоставленных ФГУП «Госгисцентр» данных была создана тематическая база пространственных данных, содержащая речную сеть, данные о рельефе, точки гидропостов и обновляемую таблицу оперативных значений уровней на гидропостах. Объекты речной сети в тематической БД были собраны в геометрическую сеть и снабжены линейными координатами и высотой.

Геометрическая сеть позволяет гидрологу для произвольного замыкающего створа определить все водотоки, расположенные выше по течению, а также трассировать маршрут стока от одной точки до другой. Линейные координаты, в свою очередь, являются удобным средством интерполяции любого показателя по всей длине линии. В частности, реальное расстояние до замыкающего створа от начала водотока невозможно оценить по длине самой линии, поскольку она не учитывает уклона в направлении продольного профиля и приуменьшена в силу генерализации. Эта проблема была успешно решена путем внесения в базу данных реальной длины каждого

водотока из гидрологического справочника и интерполяции ее по длине каждой линии, так что в каждой ее точке появилась возможность получить более точную оценку расстояния от начала. Аналогичным образом была обеспечена возможность интерполяции текущих уровней воды на основе показаний по гидропостам (**Рис. 1**).

Рис. 1. Визуализация и интерполяция расстояния от начала водотока и уровня воды в произвольной точке с использованием линейных координат

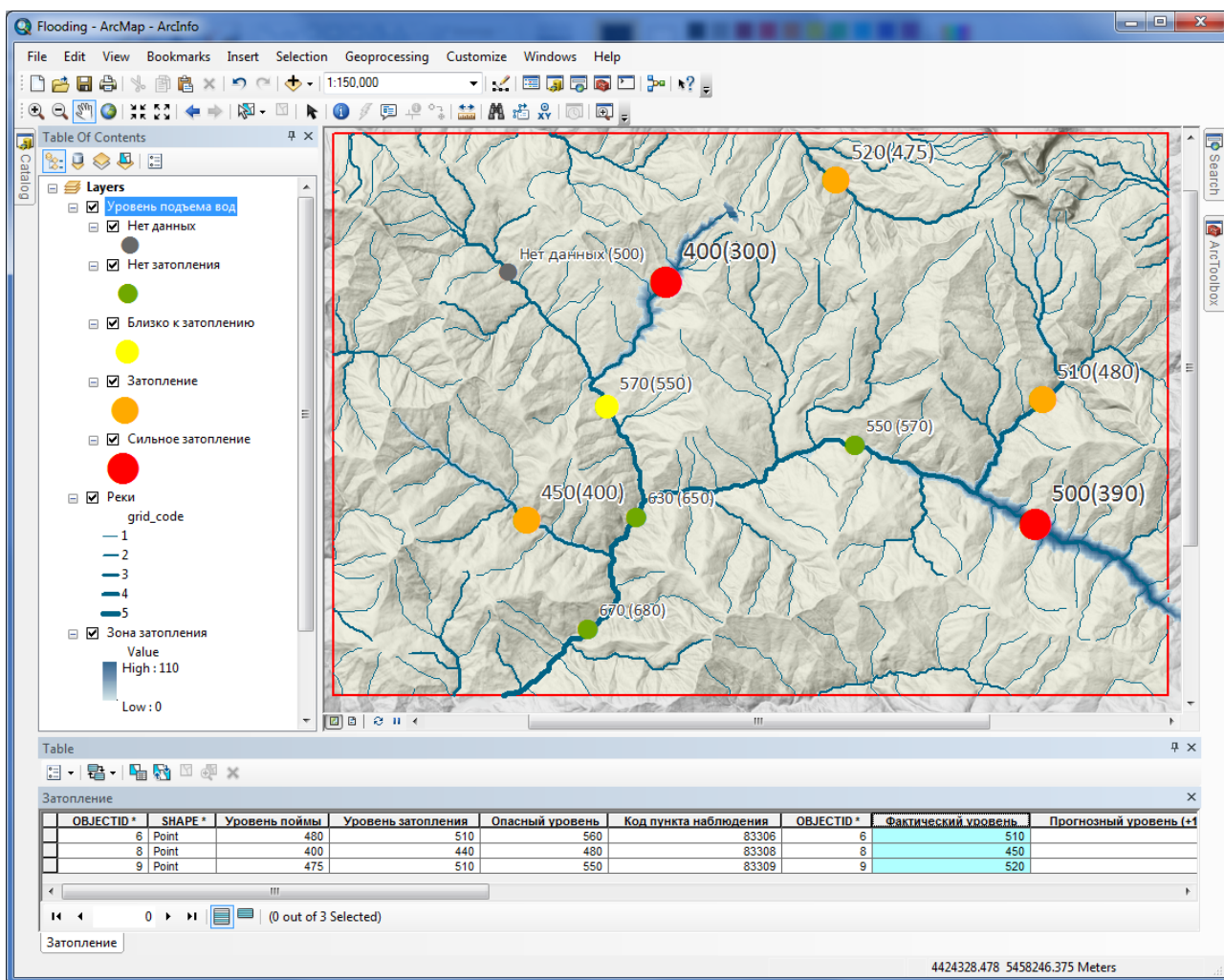


Рис. 2. Отображение оперативных данных об уровнях воды по гидропостам

Для тестирования возможностей визуализации зон затопления был разработан простой алгоритм, позволяющий имитировать затопление с учетом уклона водной поверхности. Значения текущего уровня воды над уровнем поймы были интерполированы по длине водотоков между гидропостами и в целях наглядности преувеличены в 100 раз (метры вместо сантиметров). После этого все водотоки были преобразованы в растровое представление и к каждой ячейке была прибавлена высота с ЦМР для получения абсолютной отметки водной поверхности. Алгоритм имитирует подъем воды по склону из каждой ячейки водотока и сравнивает текущее значение высоты по ЦМР с абсолютной отметкой уровня воды на линии водотока, взятой в ячейке растра, из которой начат подъем. Если текущая высота оказывается меньше, ячейка ЦМР считается затапливаемой. Алгоритм рекурсивно распространяет затопление во все ячейки выше по склону, стекающие в данную, используя модель

направления тока D8 [6]. В результате работы алгоритма получается полигональная область затопления. Для формирования водной поверхности полигон зоны затопления был преобразован в триангуляционную модель, а для вычисления раstra уровней затопления произведено вычитание из поверхности затопления поверхности ЦМР.

Полученное визуальное представление информации о зонах затопления, соответствующих прогнозируемому развитию паводковой ситуации, позволяет более оперативно и обоснованно принимать решения по снижению рисков, связанных с прохождением высоких паводков (**Рис. 3**). При наличии зон затопления на несколько временных срезов может быть подготовлен специальный временной слой и анимация развития паводка на его основе.

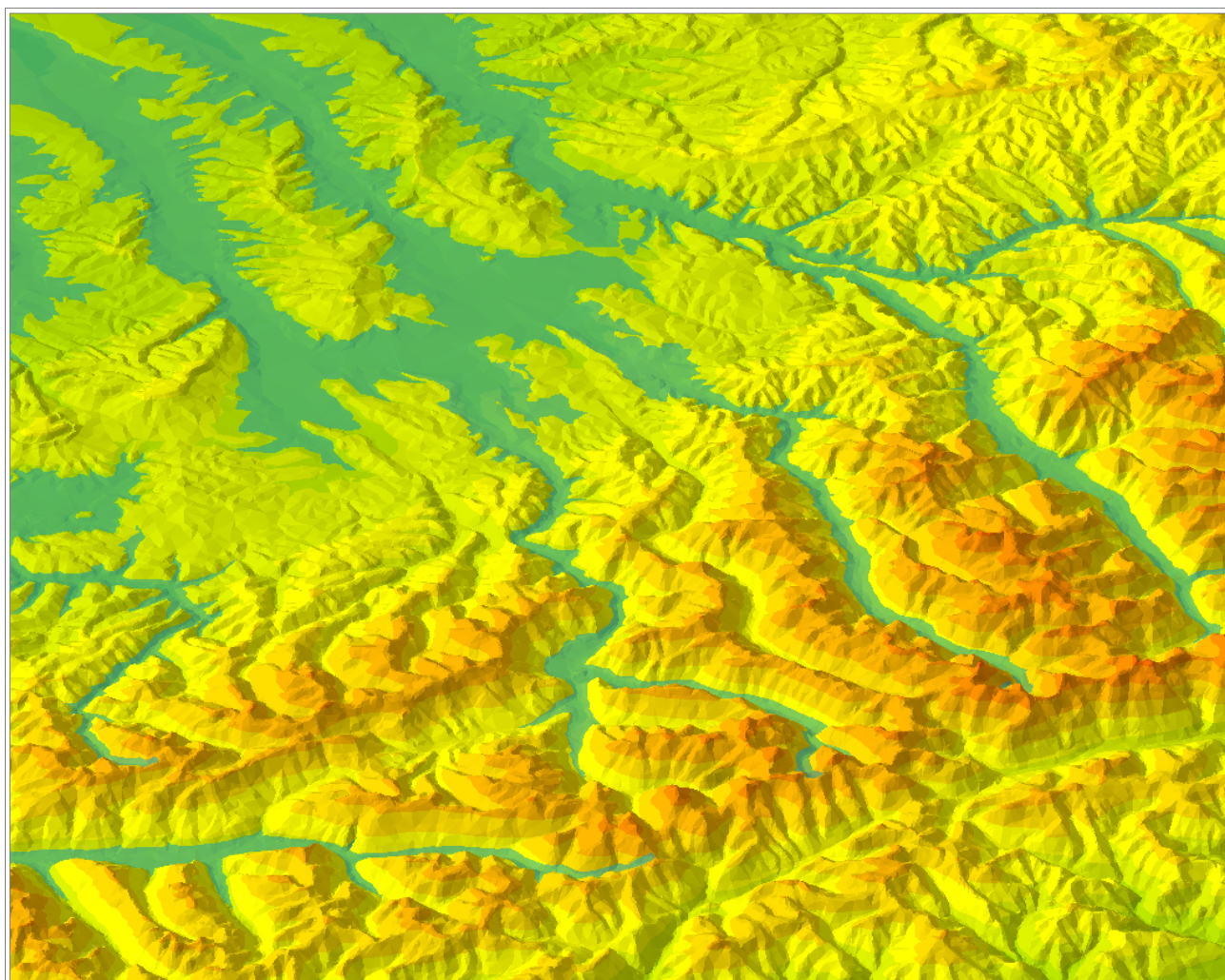


Рис. 3. Трехмерная визуализация зоны затопления, построенной с учетом уклона водной поверхности

Для построения цифровой модели рельефа высокого разрешения планируется использовать топографические карты более крупного масштаба, также будут задействованы цифровые модели рельефа Aster GDEM [7] и SRTM30 [8]. Разрабатывается гидродинамическая модель перемещения паводочной волны по руслу реки. Ее использование в дальнейшем позволит более точно задавать прогностические уровни по длине реки в качестве входа в модель визуализации зон затопления.

Одним из путей усовершенствования гидрологических моделей является учет физико-географических характеристик, распределенных по площади исследуемых водосборов. Примером такой характеристики является затененность местности формами рельефа, которая определяет поступление солнечной радиации к поверхности водосбора. Соответственно, третья подзадача, которая была решена на данном этапе реализации проекта — это подготовка производных цифровых моделей, содержащих топографические характеристики, такие как уклон, экспозиция, направление и аккумуляция тока, затененность относительно поступления прямой солнечной радиации, общая открытость небосвода, необходимые для математического моделирования и расчета приходной части радиационного баланса на поверхности водосбора. Расчеты этих характеристик выполнены в ArcGIS 10 и будут использованы в гидрологической модели в схеме расчета снеготаяния, оценке потерь воды на водосборе, а также моделировании процессов переноса тепла и влаги в почвенном покрове.

Помимо описанных выше задач отдельное внимание было уделено разработке методики использования ГИС в задачах регионального гидрологического анализа. В частности, была отработана методика выделения и генерализации тальвегов и водоразделов, построения водосборных бассейнов и подсчета различной статистики по ним, с использованием моделей направления и аккумуляции тока, а также специально написанных скриптов.

В настоящее время результаты работы по визуализации прогностических данных проходят испытания в ФГБУ «Гидрометцентр России» и

территориальных подразделениях Росгидромета. Включение системы визуального отображения выпускаемой прогнозной информации в оперативную систему прогнозирования Гидрометцентра России позволяет более эффективно использовать прогнозы уровня воды на реках бассейна Кубани для снижения социальных и экономических рисков от прохождения опасных паводков на реках региона.

Список литературы

1. *Арефьева О.Н., Полунин А.Я.* Алгоритм идентификации параметров распределения осадков и температуры воздуха в горном водосборе. – Труды Гидрометцентра СССР, 1989, вып. 309, с. 57-67
2. *Комаров В.Д., Мухин В.М., Полунин А.Я.* Модель формирования снежного покрова и поступления воды на поверхность горного бассейна. – Труды Гидрометцентра СССР, 1976, вып. 163, с.38-57
3. *Лурье П.М., Панов В.Д., Ткаченко Ю.Ю.* Река Кубань. Гидрография и режим стока. Санкт-Петербург, Гидрометеиздат, 2005 – 498 с.
4. *Мухин В.М.* Прогнозы характерных уровней и расходов воды на р.Дунай с заблаговременностью 10-20 суток. — Труды Гидрометцентра СССР, 1982, вып. 240, с. 3-21
5. *Полунин А.Я.* О моделировании процесса поступления воды на водосбор для краткосрочных прогнозов стока. — Труды Гидрометцентра СССР, 1990, вып. 295, с.69-79.
6. *O'Callaghan J. F., Mark D.M.* The extraction of drainage networks from digital elevation data. // Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1984, 28, 323–344.
7. ASTER Global Digital Elevation Model (ASTER GDEM) // <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/>
8. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) // <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>