

УДК 556.5.048

О ПРОГНОЗЕ РИСКА НАВОДНЕНИЙ В КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ¹*Нечаева В. А.², Гладской И. Б.³, Горшкова Е. М.⁴, Яковенко Р. Г.⁵*

ABOUT A FORECAST OF FLOOD DANGER IN KRASNODAR REGION

Nechaeva V. A., Gladskoy I. B., Gorshkova E. M., Yakovenko R. G.

This article presents the implemented results of studies on the creation of automatic system of water level monitoring in rivers across the region for the analysis of the current state and the strategic forecast of unfavorable hydrological condition development in case of extreme situations emergence; carrying out of numerical experiments with a view to anticipatory events on labor-rent of deflection or reduction of negative flood consequences.

Keywords: simulation modeling, hydrological monitoring, forecasting, geoinformation technologies.

Рациональное управление сложными водно-хозяйственными комплексами регионального масштаба в экстремальных ситуациях является важной эколого-экономической проблемой, а одной из задач в рамках этой проблемы является обеспечение технологической поддержки оперативного прогноза рисков наводнений и принятия превентивных научно обоснованных решений для снижения негативных последствий наводнений.

Построение автоматизированной системы слежения за уровнем вод в реках направлено на решение этой задачи.

Представленная разработка является развитием (доведенным до программной реализации) подходов к управлению водными ресурсами, основанных на использовании имитационного моделирования и ГИС-технологий [1, 2].

В качестве объекта моделирования выбран бассейн реки Кубань.

1. При построении имитационной модели гидрологической сети использованы результаты картографического анализа сред-

ствами ArcGIS и разбиение бассейна на камеры — однородные в определенном смысле структуры, характерным образом влияющие на формирование и трансформацию стока. Границы камер определяются физико-географическими характеристиками соответствующих участков местности, особенностями построения моделей формирования и трансформации стока и расположением имеющихся гидрометрических постов наблюдений.

По характеру влияния на формирование и трансформацию стока камеры делятся на несколько типов, что учитывается при моделировании накопления и трансформации поверхностного стока, водосбора и русловых потоков горных, предгорных и равнинных рек, моделирования гидрологических процессов в крупных водохранилищах, оросительных системах и крупных населенных пунктах.

Состояние каждой камеры в определенный момент времени описывается набором числовых параметров — вектором состояния, включающим наряду с другими такие

¹Работа выполнена при поддержке РФФИ (11-08-96522).

²Нечаева Виолетта Аполлоновна, научный сотрудник лаборатории геоинформационных технологий Южного научного центра РАН; e-mail: viola.1991@list.ru.

³Гладской Игорь Борисович, канд. физ.-мат. наук, заведующий лабораторией геоинформационных технологий Южного научного центра РАН; e-mail: i.glad@list.ru.

⁴Горшкова Елена Михайловна, старший научный сотрудник Научно-исследовательского центра прогнозирования и предупреждения геоэкологических и техногенных катастроф Кубанского государственного университета; e-mail: gem@kubsu.ru.

⁵Яковенко Роман Геннадьевич, преподаватель Кубанского государственного университета; e-mail: jakovenko@kubsu.ru.

ее важные в гидрологическом отношении характеристики, как расходы воды в створах камеры, текущий объем воды, ее уровень в замыкающем створе.

Вектор состояния является частью паспорта камеры, который кроме этого вектора содержит параметры, описывающие ее внутреннюю структуру.

Взаимодействие между соседними камерами сведено к водообмену через смежные створы, а его порядок при моделировании формализован заданием ориентированного графа связей, вершинами которого являются камеры, а ребра определяют направление перемещения водных потоков.

2. Динамика изменения вектора состояния каждой камеры в режиме прогноза или проведения численного эксперимента описывается ансамблями математических моделей гидрологических процессов, происходящих в ней на расчетном временном интервале.

При этом сами модели процессов могут иметь более короткий временной шаг моделирования, чем интервал между двумя соседними векторами состояния камеры.

Работа совокупной модели отдельно взятой камеры может быть схематично представлена как результат воздействия вектор-функции \mathcal{J}_N , зависящей от типа камеры (т.е. набора соответствующих математических моделей, описывающих различные гидрологические процессы внутри нее), ее внутренней структуры и используемого в данном сценарии набора моделей из доступного ей ансамбля из банка моделей, на входные параметры, которые можно классифицировать по трем основным типам — параметры, характеризующие антропогенное воздействие; параметры, характеризующие природное воздействие (сюда входят гидрометеорологические и некоторые другие воздействия); а также характерные параметры самой камеры или являющиеся граничными для нее.

Структуру этой функции в общем виде можно представить следующим образом:

$$\mathcal{J}_N(A_N, G, \xi(k), \xi(k-1), \omega_N(k-1), P_N, \Delta t) = \omega_N(k),$$

где $A_N = A_N(t)$, $t \in [t_{k-1}, t_k]$ — вектор антропогенного воздействия; $G = G(t)$, $t \in [t_{k-1}, t_k]$ — вектор гидрометеорологического воздействия; $\xi(k)$, $\xi(k-1)$ — векторы граничных параметров; $\omega_N(k)$, $\omega_N(k-1)$ — векторы состояния камеры (рассчитываемые

на текущем и на предыдущем шаге); P_N — вектор, описывающий уникальные параметры камеры; $\Delta t = t_k - t_{k-1}$ — общий временной интервал, определяющий шаг моделирования по совокупности всех камер (при этом моделирование промежуточных локальных процессов внутри камеры может выполняться детальнее с шагом гораздо более мелким).

Примененный циклически (на определенном временном промежутке с заданным шагом) вычислительный процесс, использующий описанные выше структуры, позволяет получать результаты, отражающие на этом временном промежутке динамику изменения вектора состояния, а вместе с ним и гидрологических параметров, характеризующих состояние каждой камеры.

При этом для одной и той же камеры могут быть задействованы различные модели формирования и трансформации стока, использующие различные уровни детализации моделируемых процессов и требующие различные объемы входных данных.

Эти результаты могут быть представлены в виде таблиц, графиков для оперативного анализа или визуализированы с использованием ГИС-технологий статически (например, как зоны затопления в данный момент времени) или динамически (например, движение в заданном масштабе времени фронта паводковой волны или изменение уровня водной поверхности в заданном месте).

3. При эксплуатации в режиме мониторинга аппаратная часть системы наряду с использованием файлового сервера, высокопроизводительного сервера вычислений и ряда специализированных рабочих станций, объединенных в локальную сеть под управлением Windows, предполагает также наличие необходимых периферийных устройства и телекоммуникационных каналов, по которым поступает гидрологическая информация с гидрометрических постов наблюдений, а также их сопряжение с модулем ввода-накопления данных мониторинга.

Соответствующие телекоммуникационные каналы являются внешними по отношению к системе и технически могут быть реализованы различными способами, что влияет на реализацию устройств сопряжения в каждом конкретном случае.

Поэтому параллельно в системе предусмотрен (и программно реализован) модуль ввода-накопления данных гидрологического наблюдения, адаптированный к вводу непо-

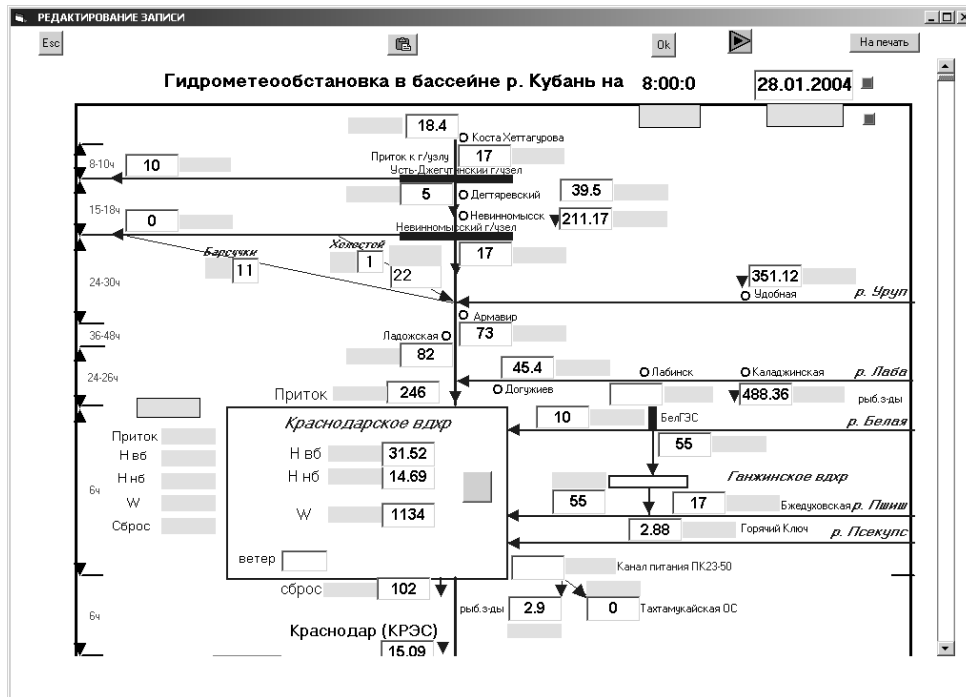


Рис. 1. Окно редактора линейной схемы (показан фрагмент)

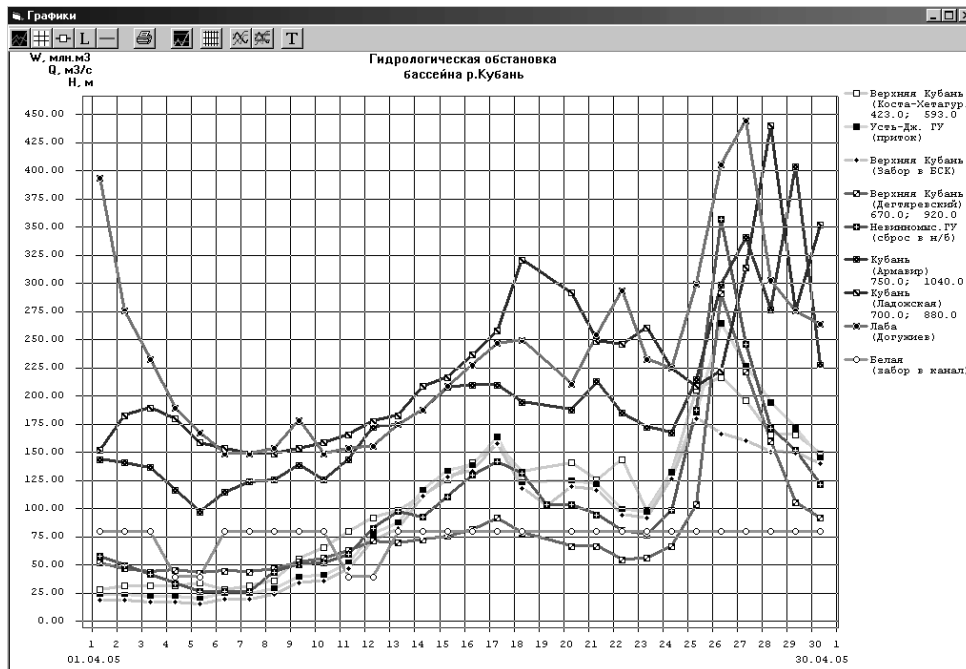


Рис. 2. Окно модуля графической визуализации

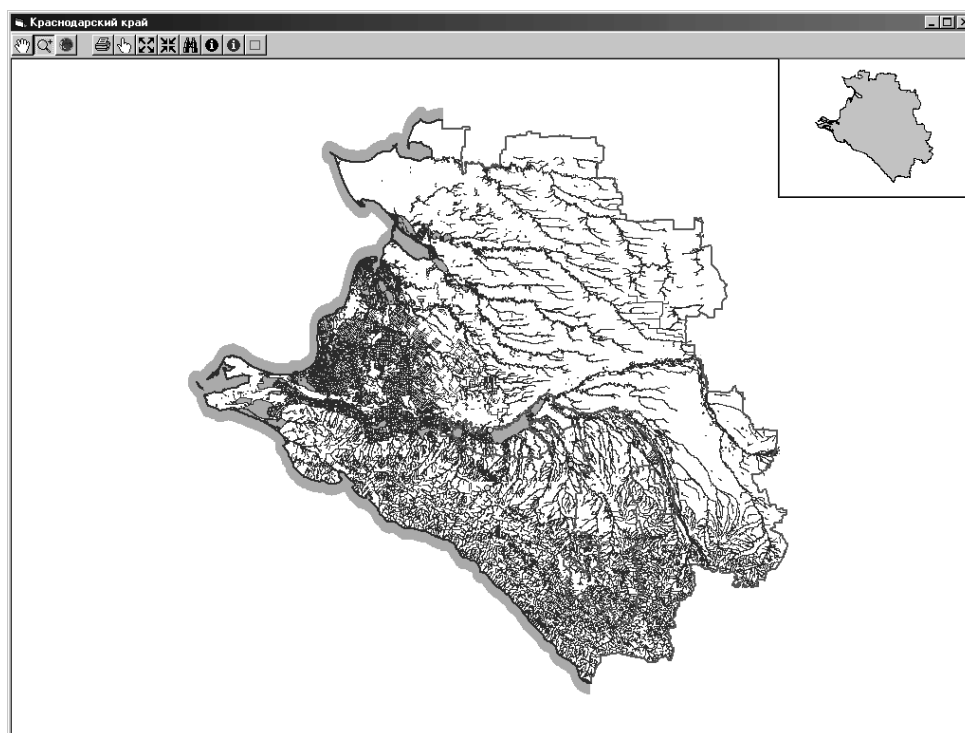


Рис. 3. Отображение гидрологической сети в ГИС-модуле автоматизированной системы прогноза рисков наводнений бассейна р. Кубань

средственно с клавиатуры данных, имеющих стандартный формат, используемый службами гидрологического мониторинга — формат «линейной схемы Кубани».

Поступающая в систему информация накапливается в базе данных под управлением специализированной СУБД, разработанной авторами.

Единица информации — запись в БД фактически является зафиксированным состоянием гидрологической обстановки в бассейне р. Кубань, соответствующим конкретному моменту (дата–час–минута) и при необходимости может быть введена или отредактирована непосредственно с клавиатуры (рис. 1).

При этом каждой записи соответствует графический образ — схема речной сети, каналов и гидротехнических сооружений, отображающая топологию связей рассматриваемых водотоков и набор параметров, характеризующих текущее значение динамично изменяющейся гидрологической обстановки в соответствующем створе.

К таким параметрам относится объем W [тыс. м³], приток Q [м³/с] и уровень воды H [м] в водохранилищах, уровень воды и ее расход Q в каждом обозначенном на схеме створе канала или речного русла, а также неко-

торые другие величины. Реально таких параметров может быть от нескольких десятков до нескольких сотен или более.

4. Набор реализованных модулей системы имеет следующий состав: управляющий модуль (организует работу системы как единого комплекса, осуществляет взаимодействие других модулей и подсистем); система ввода и накопления данных (описание приведено выше); модуль графического анализа и отображения данных гидрологического мониторинга; модуль моделирования — предназначен для проведения численных экспериментов и решения задач оперативного прогноза (реализована структура модуля); ГИС-модуль;

Модуль графического анализа данных (модуль графической визуализации) позволяет отображать и анализировать динамику развития гидрологической обстановки всего бассейна или отдельных его участков на заданном временном интервале (рис. 2).

При этом одновременно могут быть отображены несколько десятков графиков с использованием набора сервисных функций, обеспечивающих возможность автоматического масштабирования, дизайна, анализа, распечатки графических данных и т.д.

На базе модуля графической визуализации создана подсистема анализа временных рядов.

Большая часть модулей комплекса написана с использованием языков программирования C++, VB, Fortran.

Программные модули, отвечающие за визуализацию карт, пространственный анализ и обмен необходимыми данными реализованы с использованием инструментальных средств MapObjects 2.4 компании ESRI и объединены в блоке картографической визуализации (ГИС-модуле) (рис. 3), использующем 29 листов топографических карт масштаба 1:200000 (L3708-L3711, L3714-L3730, L3732-L3736, K3704-K3706), охватывающих всю территорию Краснодарского края и содержащих несколько десятков тематических групп объектов в формате shp-файлов.

Все представленные модули объединены в программный комплекс, который уже на текущем этапе разработки системы может

функционировать в режиме накопления и графического анализа данных гидрологического мониторинга.

Литература

1. Гладской И. Б., Нечаева В. А., Москвичев С. В., Яковенко Р. Г. Геоинформационная поддержка гидрологического мониторинга и управления водными ресурсами // Материалы XI Всероссийского форума «Рынок геоинформатики России. Современное состояние и перспективы развития». М.: ГИС-Ассоциация, 2004. С. 43–44.
2. Гладской И. Б., Погорелов А. В., Яковенко Р. Г. Комплексная система анализа и оперативного прогноза гидрологической обстановки бассейна р. Кубань на основе ГИС-технологий // Материалы X Всероссийского форума «Геоинформационные технологии. Управление. Природопользование. Бизнес. Образование». М.: ГИС-Ассоциация, 2003. С. 28–29.

Ключевые слова: имитационное моделирование, гидрологический мониторинг, прогнозирование, геоинформационные технологии.

Статья поступила 13 декабря 2011 г.

Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону

Кубанский государственный университет, г. Краснодар

© Нечаева В. А., Гладской И. Б., Горшкова Е. М., Яковенко Р. Г., 2011