

Прямое моделирование динамики поверхностных вод на территории Волго-Ахтубинской поймы



23 Прямое моделирование динамики поверхностных вод на территории Волго-Ахтубинской поймы

Методы численного моделирования с использованием параллельных технологий на суперкомпьютерах являются единственной возможностью для решения широкого круга задач, связанных с динамикой поверхностных вод на заданной территории при существенно нестационарных условиях. В статье приведены результаты моделирования с высоким разрешением для северной части Волго-Ахтубинской поймы.

АВТОРЫ:

А.В. Хоперсков – докт. физ.-мат. наук, профессор, зав. каф. Информационных систем и компьютерного моделирования, Волгоградский гос. университет (ВолГУ),
e-mail: khoperskov@gmail.com

С.С. Храпов – канд. физ.-мат. наук, доцент ВолГУ,
e-mail: xss-ip@gmail.com

А.В. Писарев – ст. преподаватель ВолГУ,
e-mail: andrew_pisarev@mail.ru

И.А. Кобелев – аспирант ВолГУ,
e-mail: noferat@yandex.ru

И.Г. Кудина – ст. преподаватель ВолГУ,
e-mail: ig.kudina@gmail.com

Волго-Ахтубинская пойма (ВАП) – уникальный природный объект, простирающийся от плотины Волжской ГЭС до Каспия, занимающий около 2000 км². Условия в ВАП и само существование этого ландшафта определяются гидрологическим режимом территории между Волгой и Ахтубой. В условиях зарегулированности стока Волги ключевым фактором представляется объем воды $V(t)$, проходящий через Волжскую плотину, особенно график весеннего пуска воды $Q(t) = dV/dt$.

В основе компьютерной модели динамики поверхностных вод для северной части Волго-Ахтубинской поймы лежит численное интегрирование уравнений гидродинамики в приближении Сен-Венана с учетом широкого спектра физических факторов [1]: реалистичного рельефа местности, работы гидросооружений, испарения, инфильтрации, придонного трения, ветрового режима, вращения Земли и др. Такие модели позволяют строить прогнозы нестационарного гидрологического режима в пойме в зависимости от гидрографа $Q(t)$. На рис. 1 приведены примеры таких расчетов для 2006 года, когда из-за малого сброса воды в ВАП возникла экологическая катастрофа. Для сравнения показано распределение воды в пойме в 2010 году по результатам нашего численного моделирования. Модель протестирована с использованием имеющихся наблюдений.

Данная задача предъявляет особые требования к качеству модели, поскольку необходимо с хорошим разрешением описывать динамику воды на мас-

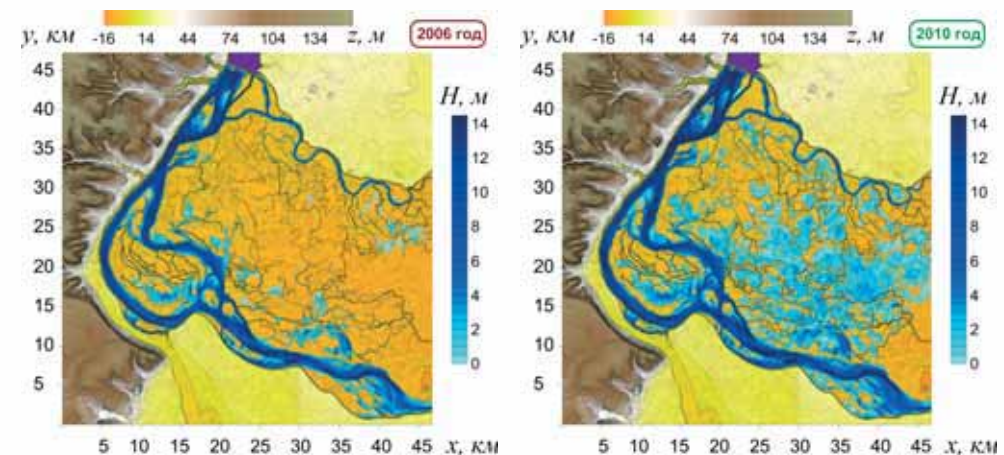


Рис. 1.

Примеры затопления северной части поймы на пиках половодья, рассчитанные для гидрографов 2006 и 2010 годов. Показаны рельеф местности $z(x, y)$ и глубина воды $H(x, y)$. Ерики показаны темными тонкими линиями между Волгой и Ахтубой

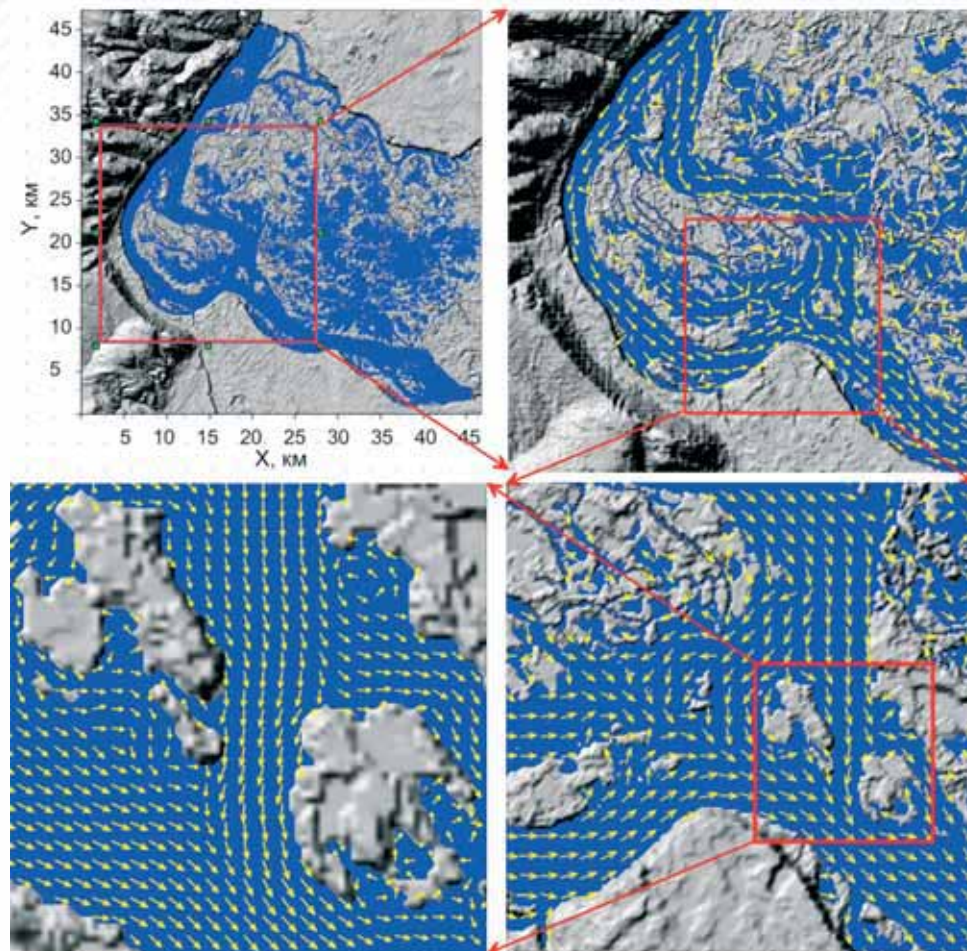


Рис. 2.

Общая структура течения на мелкомасштабной и крупномасштабных картах. Показаны поля скоростей на пике половодья в условиях 2010 года

штабах до 10 м на значительной территории площадью в несколько тысяч км² в течение длительного времени — до 2–3 месяцев. В то же время требуется корректно моделировать течения на малых интервалах времени (порядка секунд), что оказывается возможным только с использованием параллельных технологий и суперкомпьютеров. На рис. 2 изображены сложные поля скоростей воды во время существенно нестационарной фазы заполнения поймы. Хорошо вид-

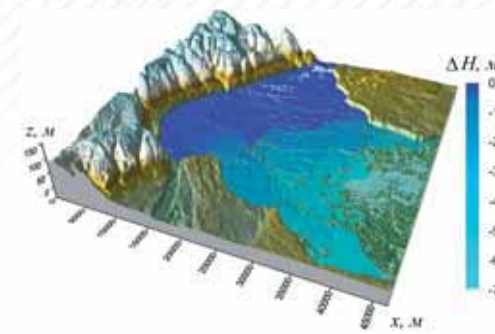


Рис. 3.

Затопление поймы на начальной стадии катастрофического сброса воды из Волгоградского водохранилища

ны мелкомасштабные вихревые структуры. Важнейшим фактором является актуализированный рельеф, построение которого требует совместного использования данных дистанционного зондирования и наземных измерений. Для решения данной задачи была построена новая численная схема интегрирования уравнений гидродинамики, позволяющая корректно описывать нестационарную границу между водой и сухим дном на сложном нерегулярном рельефе [2].

Примеры затопления северной части поймы на пиках половодья, рассчитанные для гидрографов 2006 и 2010 годов. Показаны рельеф местности $z(x, y)$ и глубина воды $H(x, y)$. Ерики показаны темными тонкими линиями между Волгой и Ахтубой

Построенные пакеты программ позволяют решать широкий круг различных гидродинамических задач для произвольной территории. В качестве примеров укажем на возможности моделирования последствий аварийных ситуаций на крупных гидросооружениях (рис. 3), сезонных затоплений, проведения экспертиз при проектировании новых гидрообъектов, в том числе последствий аварий и разрушений, оптимизации режимов работы ГЭС с учетом социально-экономических и экологических требований.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 11-07-97025, 10-07-97017, 11-05-97044), ФЦП (гос. контракт № 02.740.11.5198), ФЦП Старт-2011 (гос. контракт № 8861р/14383). Авторы благодарны НИВЦ МГУ за возможность проводить расчеты на суперкомпьютере «Ломоносов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кобелев И.А., Хоперсков А.В., Храпов С.С. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2011615987 «Специализированная геоинформационная система EcoGIS-Simulation 1.0 для управления компьютерным моделированием в задачах мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы». Заявка № 2011614435 от 16.06.2011.
2. Храпов С.С., Хоперсков А.В., Кузьмин Н.М., Писарев А.В., Кобелев И.А. Численная схема для моделирования динамики поверхностных вод на основе комбинированного SPH-TVD-подхода // Вычислительные методы и программирование. – 2011. – Т. 12. – С. 282.