

**«Волгоградский государственный университет»**

**ООО «МИТ»**

# **Компьютерное моделирование динамики затопления территорий в случае ЧС**

**с использованием технологий параллельных  
вычислений MPI-OpenMP-CUDA**

**на гибридных суперкомпьютерах с графическими  
ускорителями TESLA**

**Волгоград, 2013**

# ВНИМАНИЕ – ЧС!!!

## Наводнение

### Катастрофа на Кубани - Крымск 2012 г.

#### Наводнение на Кубани. Как все было



Неблагоприятные метеоусловия в июле 2012 г. - очень высокий уровень осадков.

Отсутствие эффективных заградительных сооружений и дренажных коммуникаций в населенных пунктах, находящихся на линии гидроудара от ливневых потоков с гор.



# ВНИМАНИЕ – ЧС!!!

## Засуха

### Экологическая катастрофа 2006 г. в Волго-Ахтубинской пойме



#### Метеоусловия

2005-2006 гг.

— очень низкий уровень осадков и слишком малые запасы воды в пойме на момент начала весеннего паводка.

Недопустимо низкий попуск воды через плотину Волжской ГЭС



# ЧТО ОБЪЕДИНЯЕТ ЭТИ ЧС?

## Наводнение



## Засуха



Гидрологический режим территорий – метеоусловия (осадки, температура, ветер и влажность), свойства подстилающей поверхности (придонное трение, инфильтрация и влагозапас грунта) и т.д.

Динамика поверхностных вод – гидродинамические течения и волны.

Гидротехнические сооружения (дамбы, плотины и каналы), обеспечивающие безопасное функционирование природно-хозяйственных систем.

**МОЖНО ЛИ СПРОГНОЗИРОВАТЬ РАЗВИТИЕ И  
ПОСЛЕДСТВИЯ ЭТИХ ЧС?**



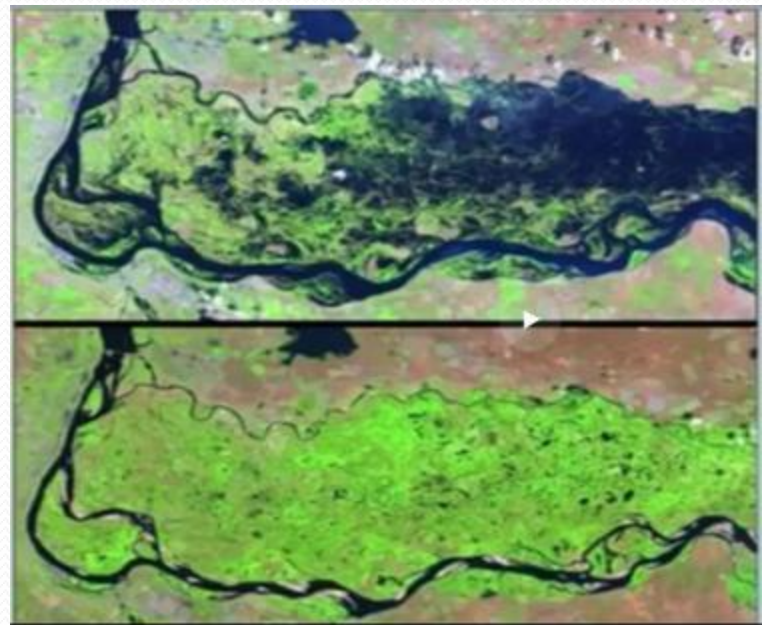
**ДА,  
С ПОМОЩЬЮ ИМИТАЦИОННОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ИСПОЛЬЗУЯ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС  
«ЭКОГИС»**

# ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «ЭКОГИС»

Моделирование динамики поверхностных вод и определение зон затопления территорий жилой и производственной застройки в период весеннего паводка и при неблагоприятных метеорологических условиях.

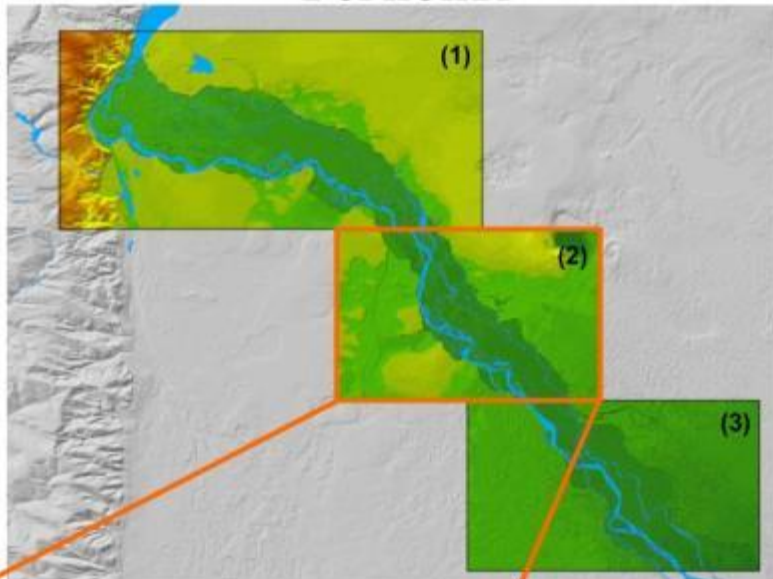
Экспертиза проектируемых и существующих гидротехнических сооружений на водных объектах и затопляемых участках суши: заградительных дамб, плотин, мостов, каналов.

Решение задач оптимизации весеннего ппуска воды через плотины ГЭС, для поддержания естественного гидрологического режима природно-хозяйственных систем в окрестности плотин.

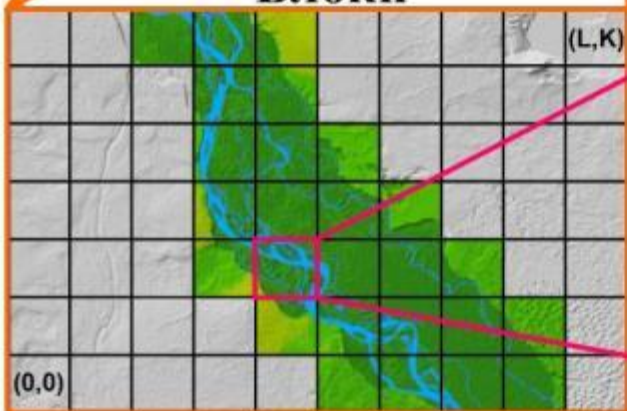


# Научно-техническая новизна и преимущества «ЭкоГИС»

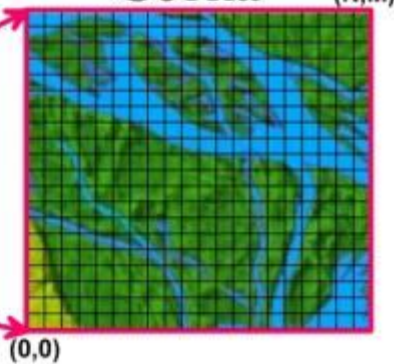
Регионы



Блоки



Сетка



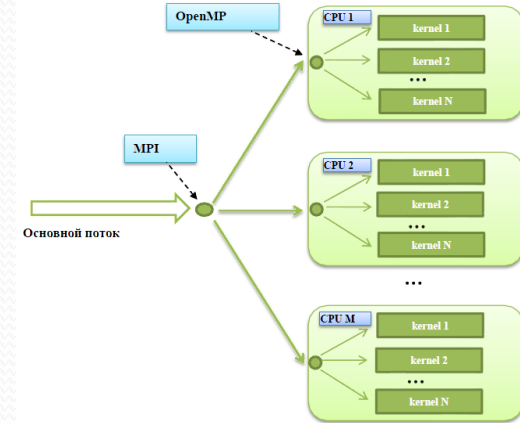
Иерархическая система пространственных сеток разных масштабов, позволяющая эффективно использовать вычислительные ресурсы и ускоряющая расчеты.

Двухзвенная клиент-серверная архитектура, позволяющая запускать нескольких независимых расчетов на удаленных суперкомпьютерах.

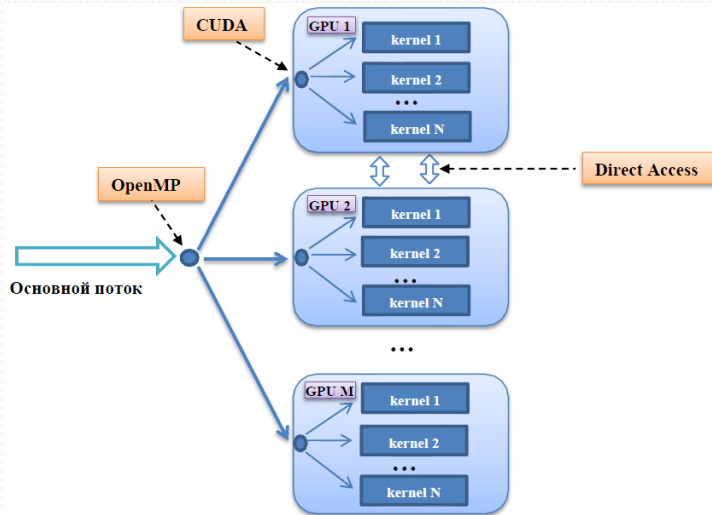
Новый эффективный численный алгоритм расчета (сSPH-TVD метод), позволяющий моделировать динамику поверхностных вод на произвольном рельефе местности.

# Научно-техническая новизна и преимущества «ЭкоГИС»

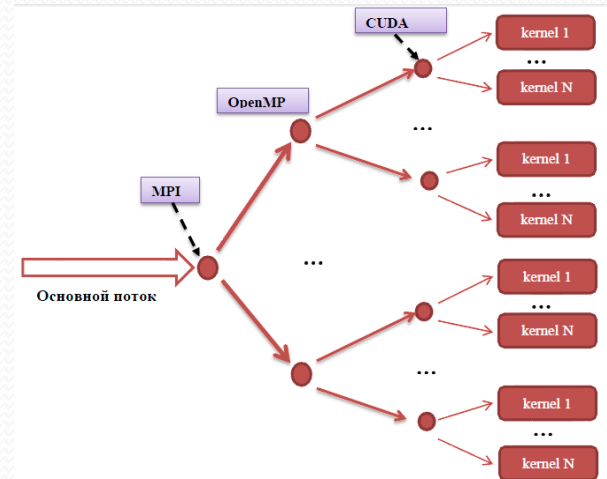
- Распараллеливание программных модулей с использованием стандартов MPI- OpenMP-CUDA, позволяющее ускорить работу приложения в сотни раз.



Двухуровневая схема распараллеливания для систем с разделенной памятью MPI-OpenMP



Двухуровневая гибридная схема распараллеливания для систем с общей памятью OpenMP-CUDA



Трёхуровневая гибридная схема распараллеливания для систем с разделенной памятью MPI-OpenMP-CUDA



# Научно-техническая новизна и преимущества «ЭкоГИС»



- Использование в составе комплекса гибридного суперкомпьютера с ускорителями на основе графических процессоров NVIDIA TESLA.

Гибридная вычислительная станция на базе GPU: Six Core Intel Core i7-990X 3460/6.4/12M, DDR3 24Gb, 4 x NVIDIA® TESLA Fermi C2070 6GB (1792 ядра).

## NVIDIA GPUDirect™ Peer-to-Peer Communication

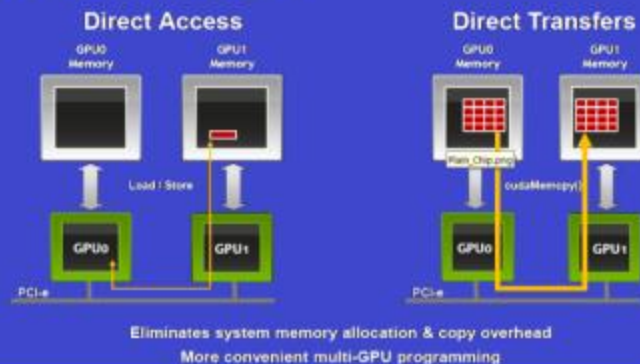
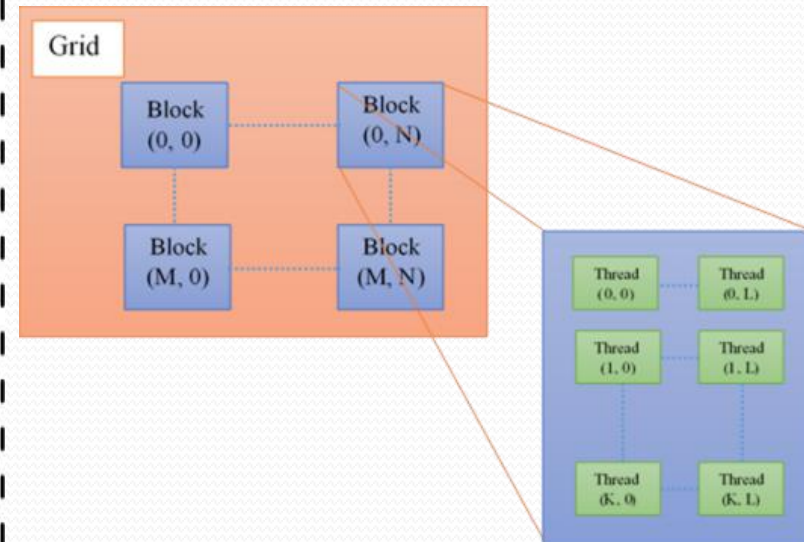
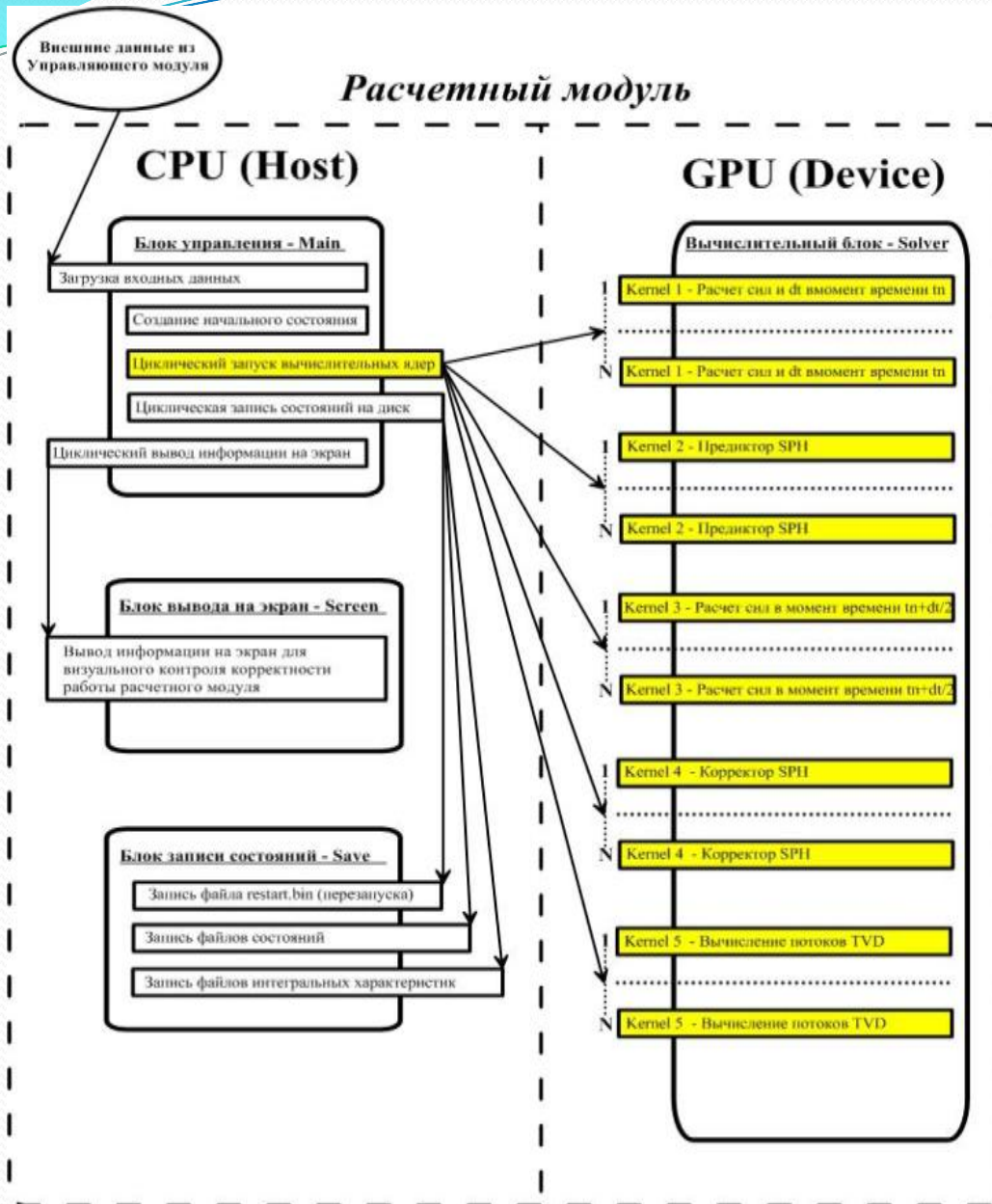


Схема поясняющая принцип работы технологии NVIDIA GPUDirect™ (источник [www.nvidia.com](http://www.nvidia.com))

*Данный суперкомпьютер приобретен в рамках целевой программы Администрации Волгоградской области по субсидированию малых инновационных предприятий (ХО) региона.*

# Научно-техническая новизна и преимущества «ЭкоГИС»



Иерархия нитей на GPU

# Научно-техническая новизна и преимущества «ЭкоГИС»

Сравнительная характеристика гидродинамических расчетов для различных задач с использованием последовательных версий (CPU) и параллельных версий (CPU-GPU)

№	Задача	Размер расчетной области (количество ячеек)	Время вычислений (CPU последовательная версия)	Время вычислений (CPU-GPU параллельные версии)			
				CUDA	Ускорение	OpenMP-CUDA	Ускорение
1	Моделирование весеннего паводка ВАП (физическое время 100 дней)	1024×1024	1440 ч.	8 ч.	180 раз	2,05 ч.	700 раз
2	Моделирование прорыва плотины Волжской ГЭС (физическое время 5 ч.)	1024×1024	77 ч.	25 мин.	185 раз	6,4 мин.	720 раз
3	Моделирование цунами в мировом океане (физическое время 1 ч.)	2400×2400	28,5 ч.	9 мин.	190 раз	2,30 мин.	740 раз

# Пользовательский интерфейс «ЭкоГИС»

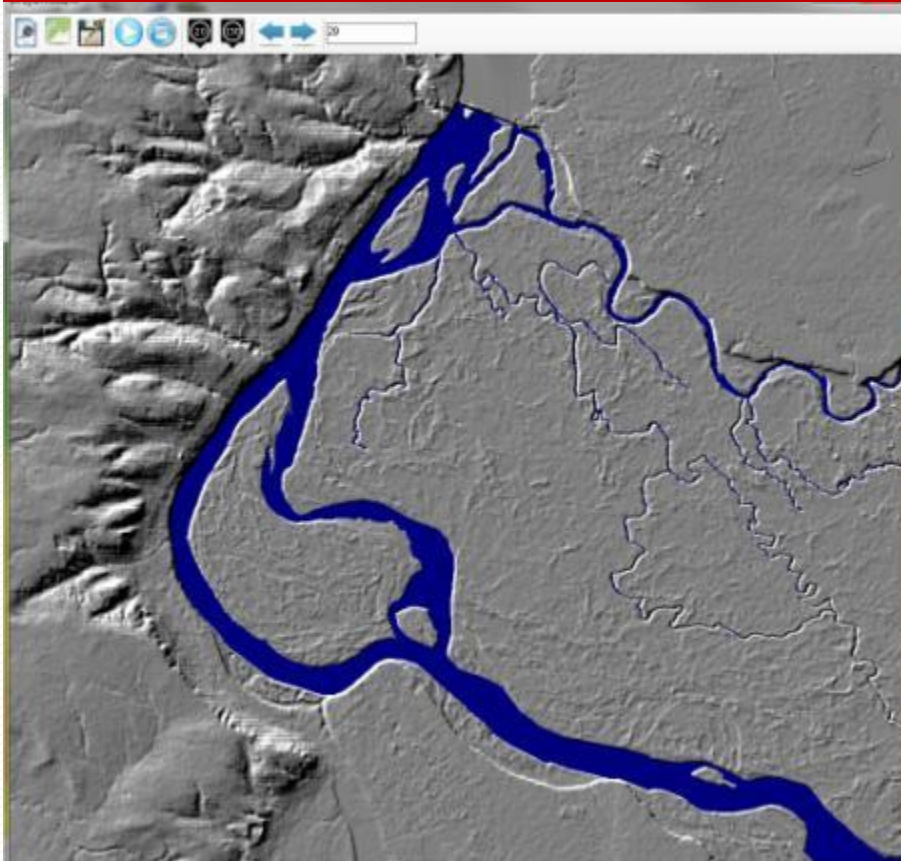
The screenshot displays the 'ЭкоГИС' software interface. The main window shows a topographic map with a red rectangular selection area. Several configuration windows are open over the map:

- Параметры расчета** (Calculation Parameters):
  - Время расчета: 1 (Дни)
  - Интервал сохранения результатов: 1 (Часы)
  - Число Куранта: 0.9
  - Относительная погрешность: 1E-16
- Граничные условия** (Boundary Conditions):
  - Расчетная область: Левая граница, Верхняя граница, Правая граница, Нижняя граница
  - Selected: Свободная граница
  - Уровень уклона поверхности жидкости на границе: 1
  - Управляемый вток жидкости в расчетную область:
    - Глубина жидкости  $H$  на границе, м: 0
    - Слайд - нестационарность / Слайд - неоднородность
    - Скорость жидкости  $V$  на границе, м/с: 0
    - Слайд - нестационарность / Слайд - неоднородность
    - Угол между нормалью и вектором скорости жидкости  $V$  на границе,  $\varphi$ : 0
- Геометрия расчетной области** (Geometry of the calculation domain):
  - Количество ячеек по X: 44951
  - Количество ячеек по Y: 44101
  - Минимальное значение X, м: 8459575
  - Максимальное значение X, м: 8504525
  - Минимальное значение Y, м: 5360475
  - Максимальное значение Y, м: 5404575
  - Размер элементы, м: 50
- Физические факторы** (Physical factors):
  - Selected: Придонное трение
  - Вращение и гравитация: Период обращения планеты вокруг своей оси: 1 (Секунды)
  - Географическая широта нижней границы расчетной области: 48° 30' 00"
  - Географическая широта верхней границы расчетной области: 48° 50' 00"
  - Ускорение свободного падения  $g$  в центре расчетной области, м/с<sup>2</sup>: 9.81

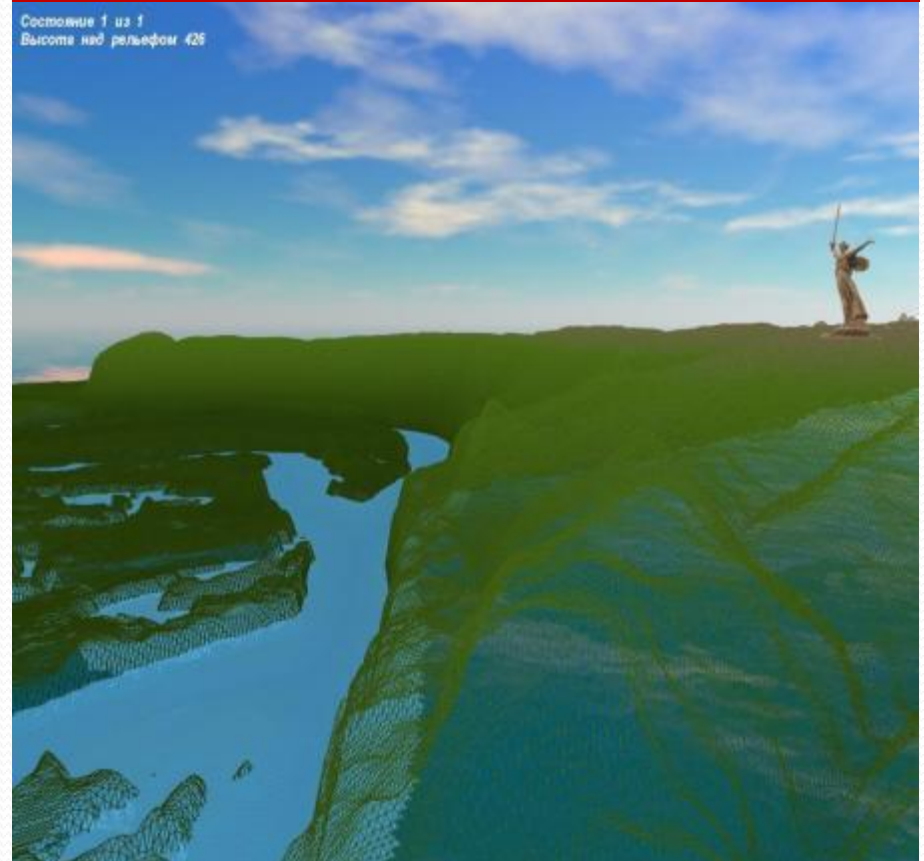
At the bottom of the window, the status bar shows: X = 8468775 | Y = 5411925 | Высота = 110.5 | 110%

# Визуализация результатов расчетов в «ЭкоГИС»

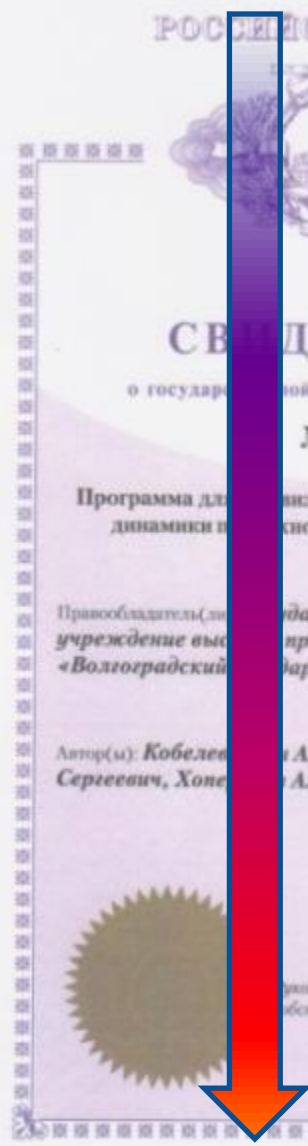
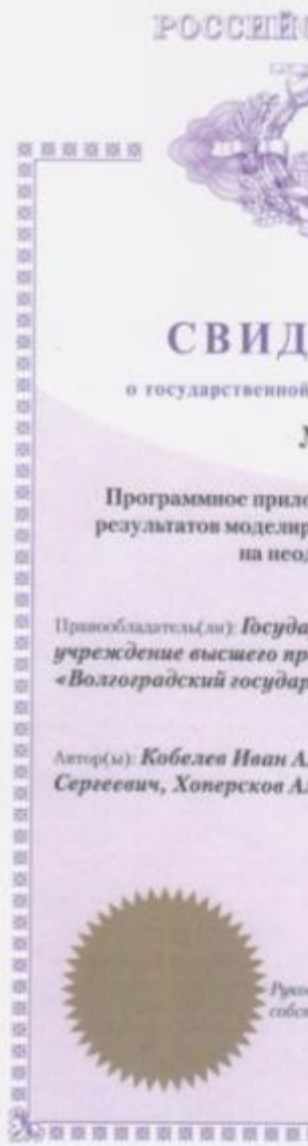
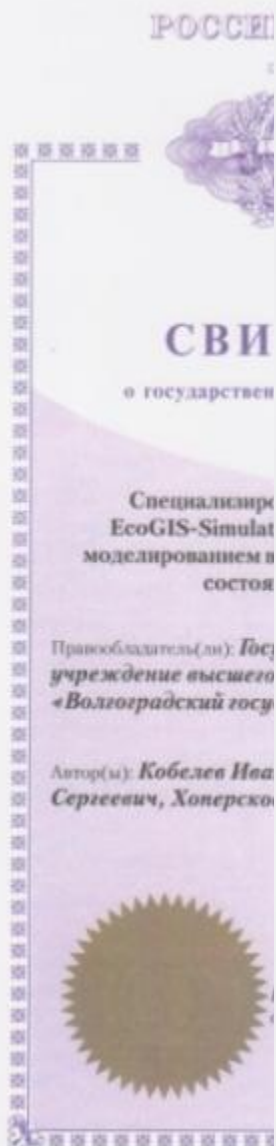
## 2D-визуализация



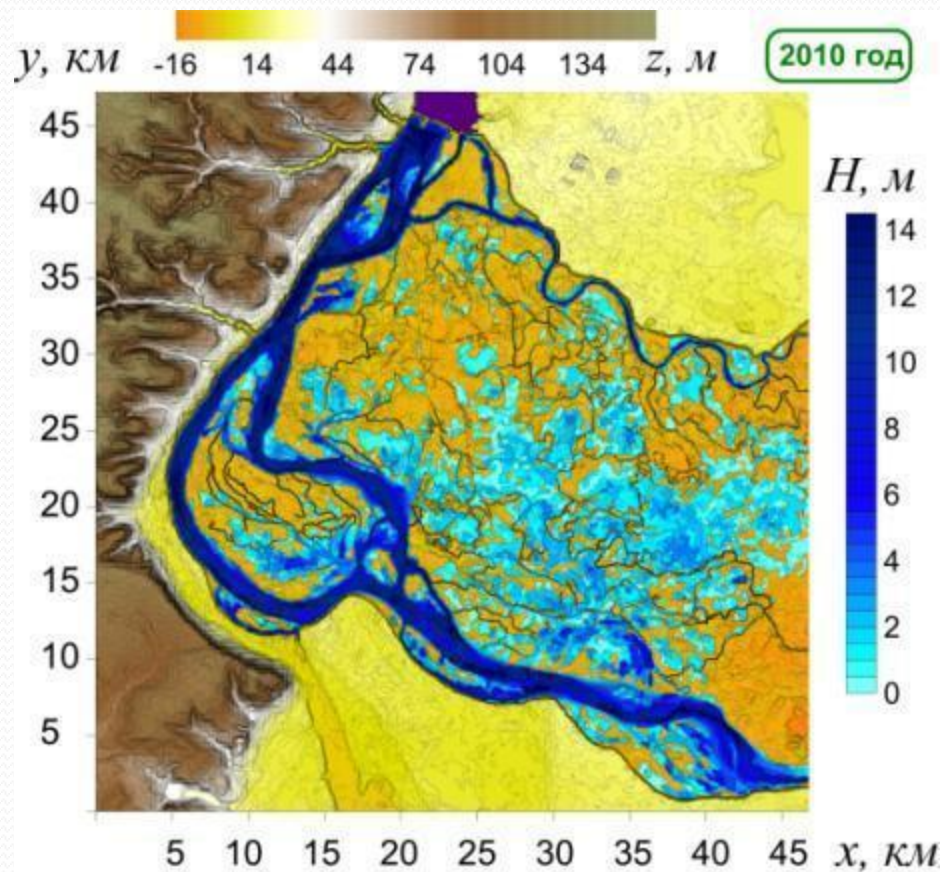
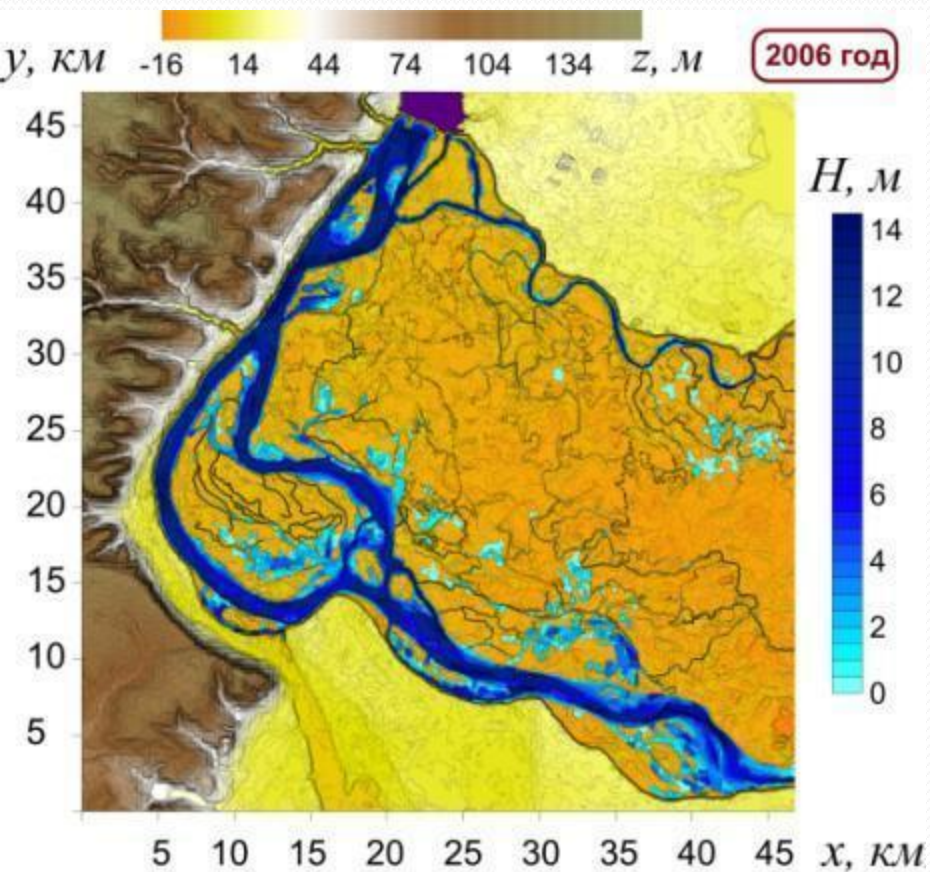
## 3D-визуализация



# «ЭКОГИС» В РАБОТЕ

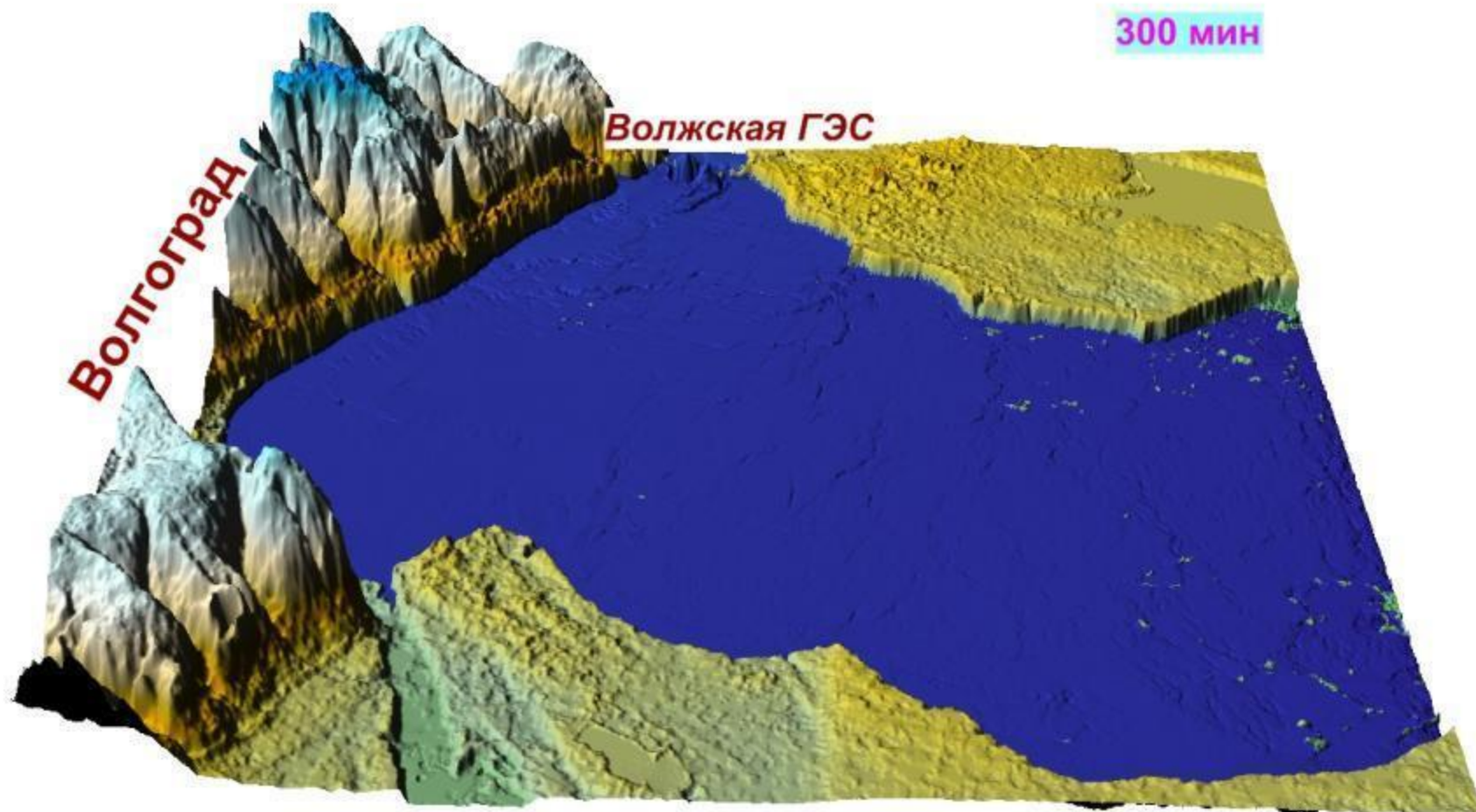


# Моделирование гидрологического состояния Волго-Ахтубинской поймы в период весеннего паводка



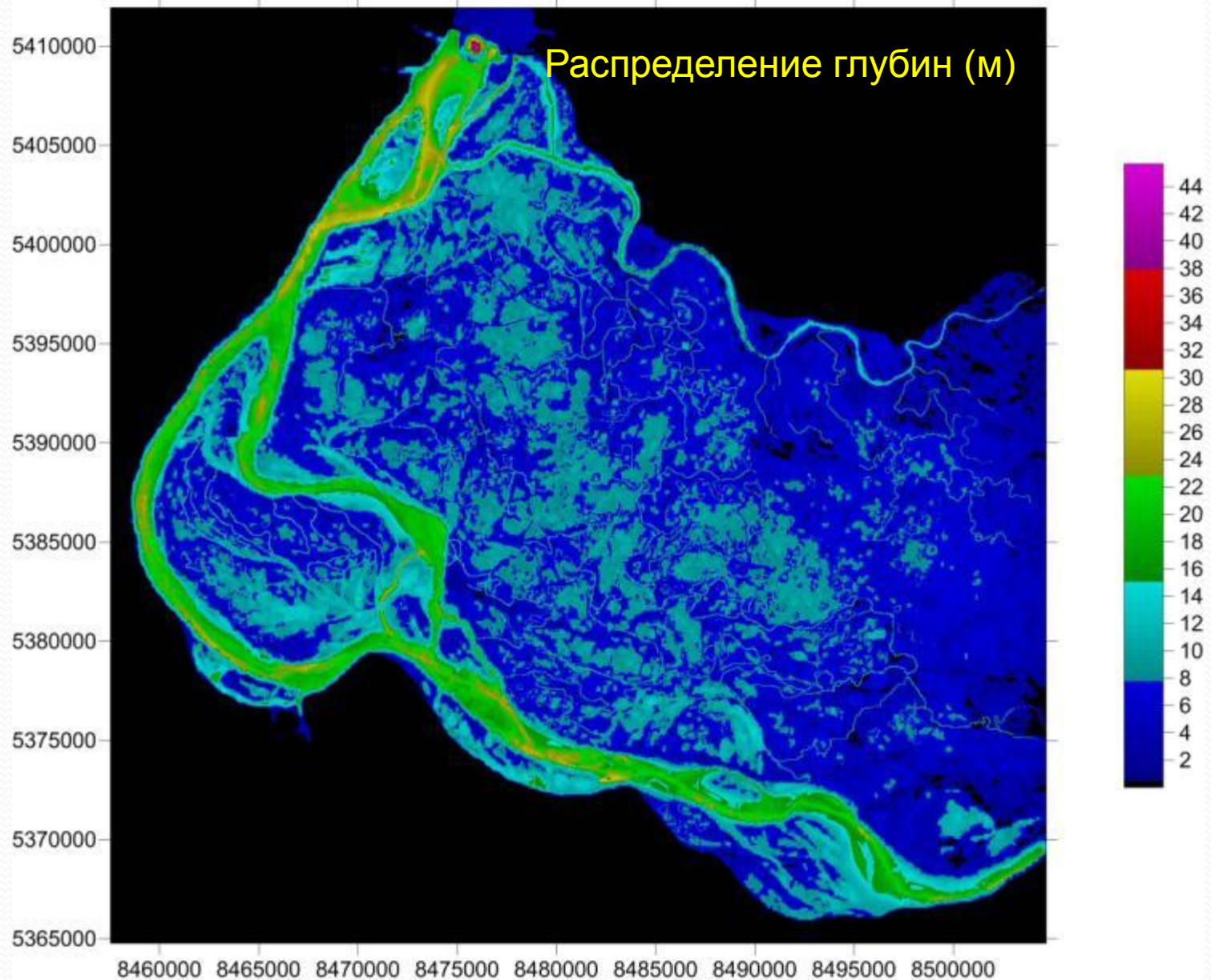
Примеры затопления северной части поймы на пиках половодья, рассчитанные для гидрографов 2006 и 2010 годов. Показаны рельеф местности  $z(x,y)$  и глубина воды  $H(x,y)$ .

# Моделирование динамики развития и последствий ЧС на плотине Волжской ГЭС





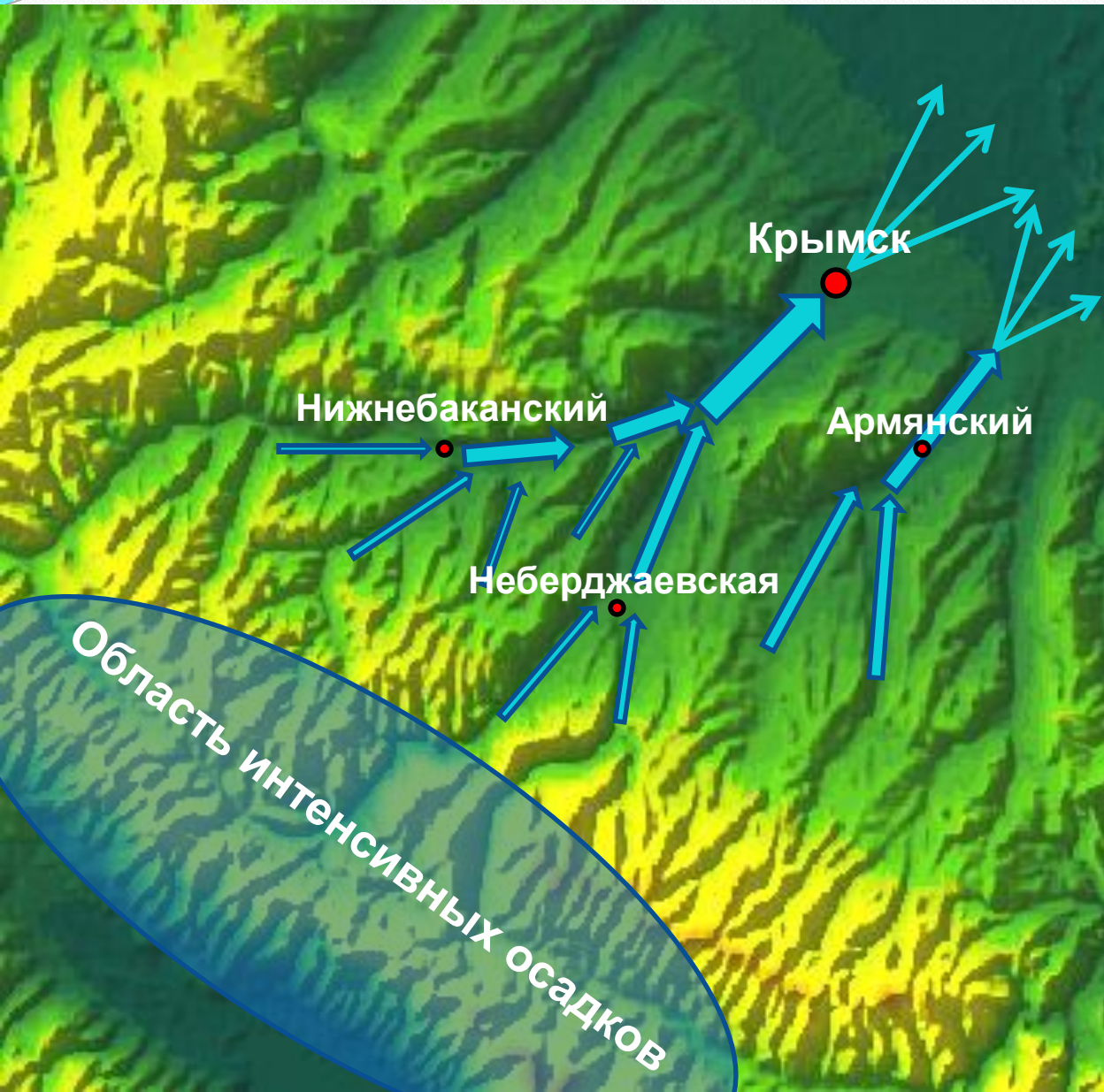
# Моделирование динамики развития и последствий ЧС на плотине Волжской ГЭС



# Моделирование прорыва дамб на горных водохранилищах и озерах



# Моделирование ливневого паводка на Кубани



Результаты моделирования показали, что ливневые потоки с гор формируют два основных потока, проходящих через станции Неберджаевская и Нижнебаканская, которые встречаются перед Крымском (в так называемом «бутылочном горлышке») и генерируют гидравлический скачок, распространяющийся в виде волны (цунами) высотой 7-10 м в направлении Крымска сметая все на своем пути.

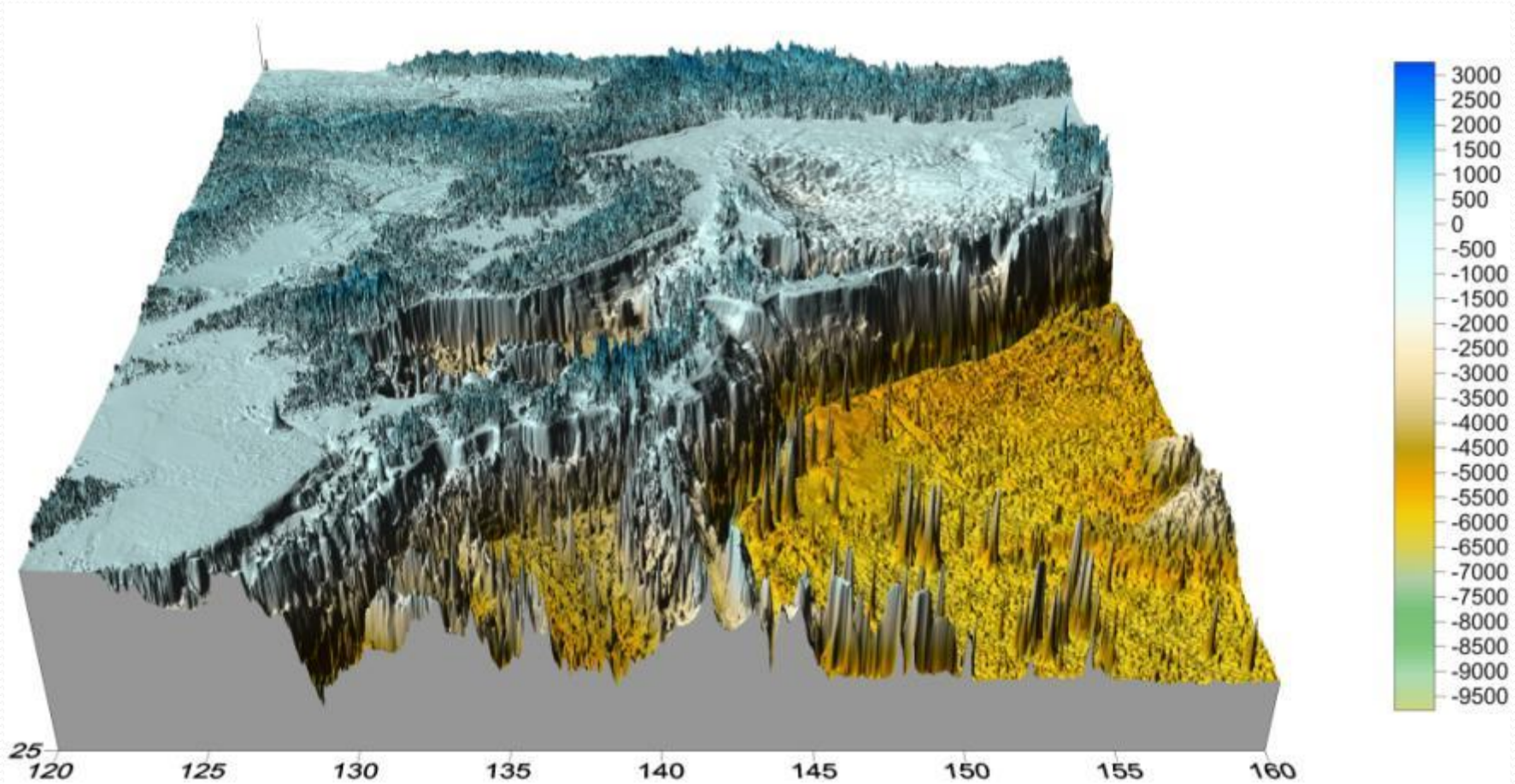
Аналогичные процессы происходят в окрестностях хутора Армянский.

# Моделирование ливневого паводка на Кубани

300 мин

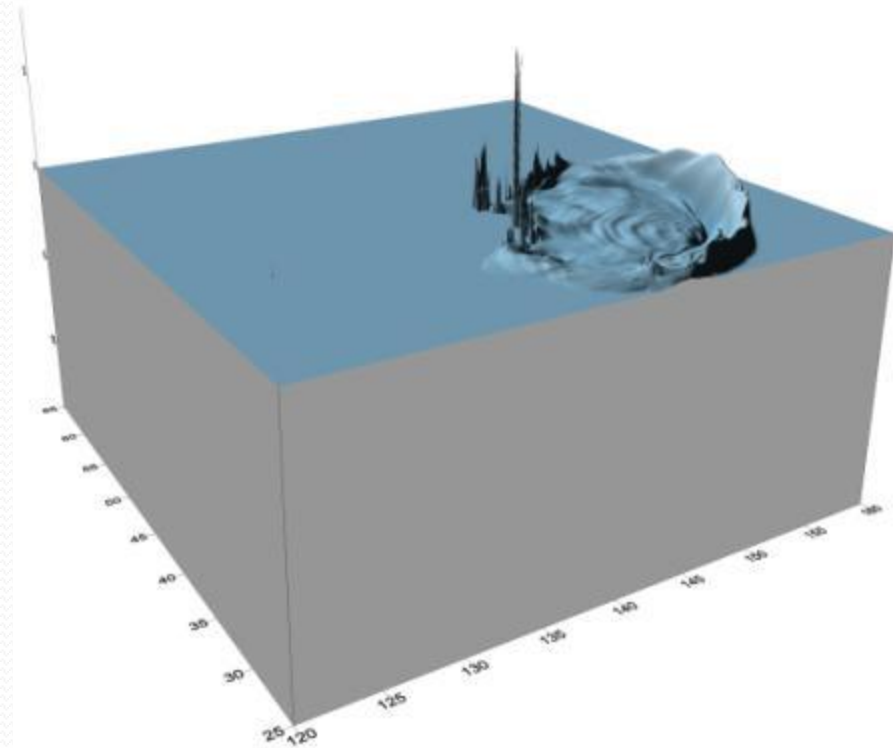
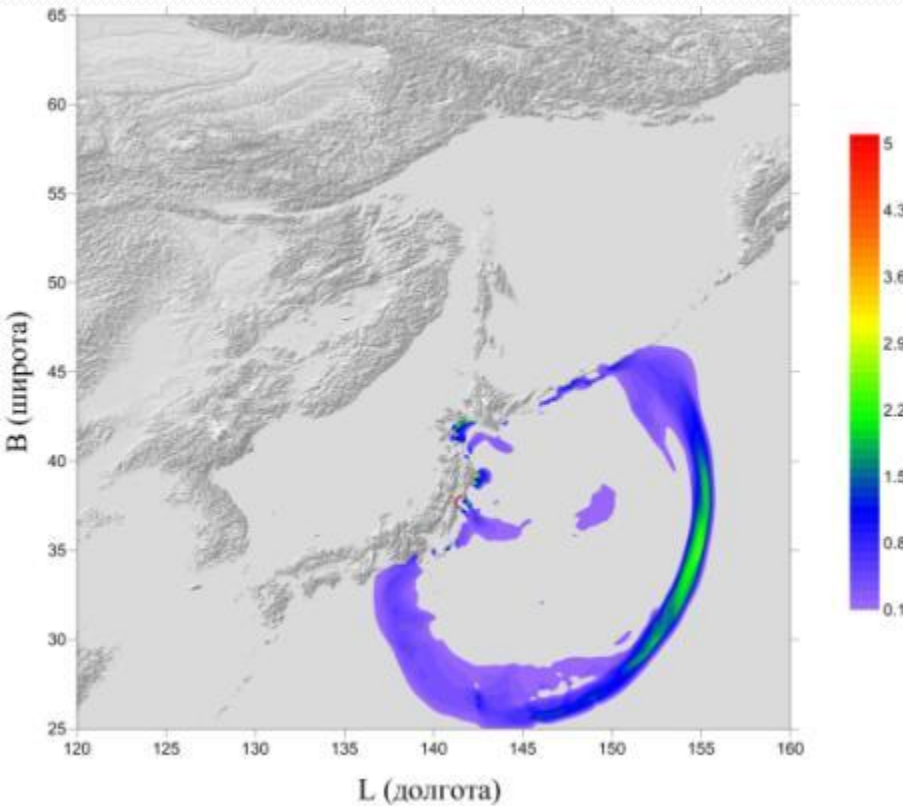


# Моделирование цунами в Тихом океане (Япония 2011)



**Цифровая модель рельефа северо-западного района Тихого океана. Представлено 3D-отображение рельефа**

# Моделирование цунами в Тихом океане (Япония 2011)



**Динамика распространения волны цунами у берегов Японии.  
Представлено 2D и 3D-отображение в моменты времени (10, 30, 60 мин)**

# ВЫВОДЫ

Программно-аппаратный комплекс «ЭкоГИС» должен являться важным компонентом муниципальных, региональных и федеральных геоинформационных систем для принятия соответствующими службами оперативных и обоснованных решений при:

прогнозировании последствий и динамики развития чрезвычайных ситуаций, таких как наводнения и засуха;

проектировании гидротехнических сооружений и дренажных коммуникаций с целью повышения эффективности их функционирования и уровня безопасности природно-хозяйственных систем;

экспертизе существующих гидротехнических сооружений и дренажных коммуникаций в случае ЧС;

определении оптимальных гидрологических режимов затопления пойменных территорий в случае регулируемого стока.

**Авторский коллектив:**

**Храпов С.С., Хоперсков А.В., Дьяконова Т.А.,  
Агафонникова Е.О., Печковский Д.М.**

**БЛАГОДАРИТ**

**РФФИ, Фонд содействия развитию малых форм  
предприятий в научно-технической сфере,  
Администрацию Волгоградской области и Волгоградский  
госуниверситет за поддержку при выполнении проекта**

**Контакты:**

Кафедра информационных систем и компьютерного моделирования  
ВолГУ,

ООО «Моделирование и информационные технологии»

Тел.: (8442) 46-48-94

[xss-ip@mail.ru](mailto:xss-ip@mail.ru), [mit-ltd@mail.ru](mailto:mit-ltd@mail.ru)

[www.infomod.ru](http://www.infomod.ru), [www.mit-ltd.tiu.ru](http://www.mit-ltd.tiu.ru)