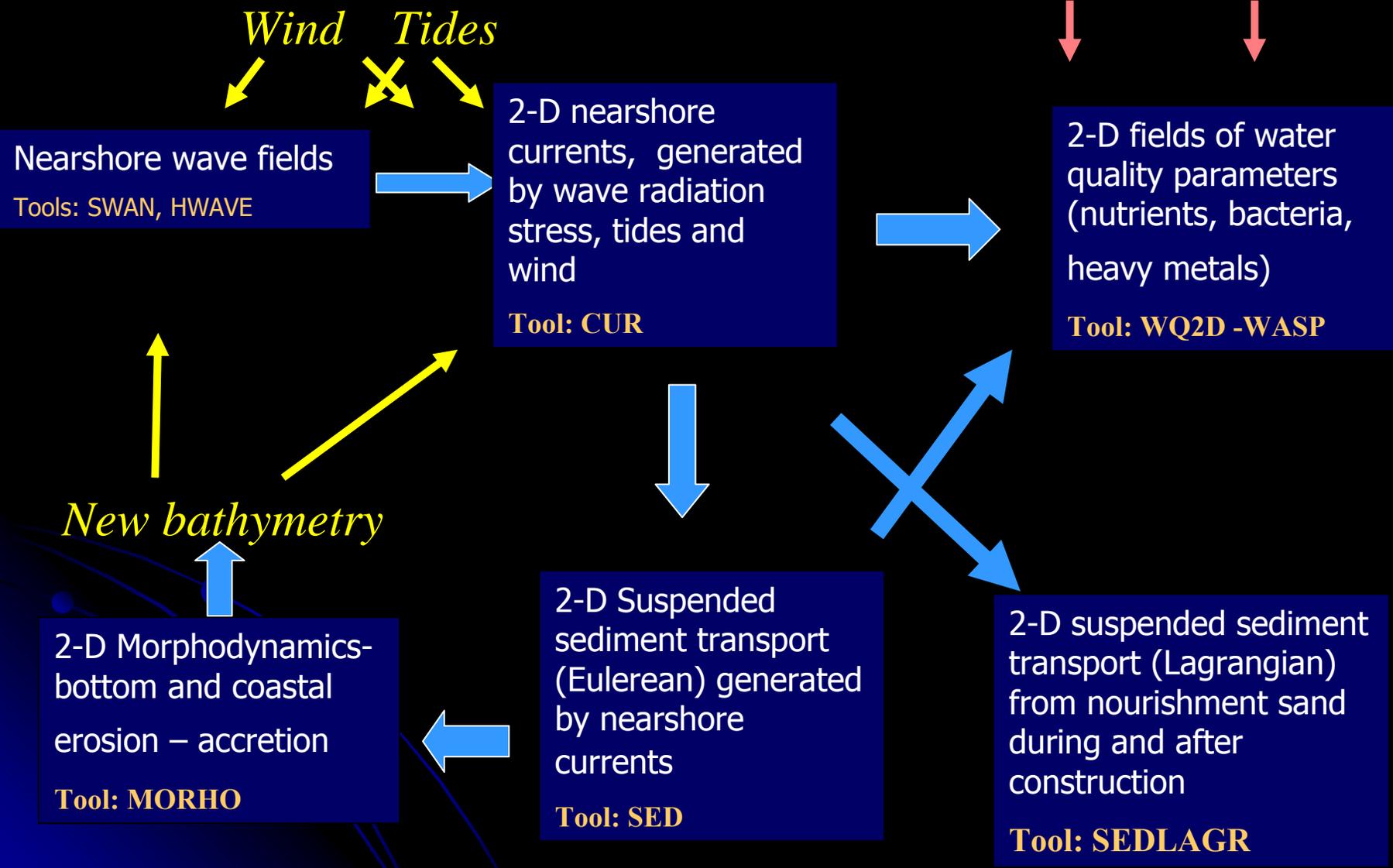


Программный комплекс численного моделирования гидродинамических и литодинамических процессов прибрежной зоны

Железняк М., Демченко Р., Дикий П., Кивва С.,
Коломиец П., Сорокин М.

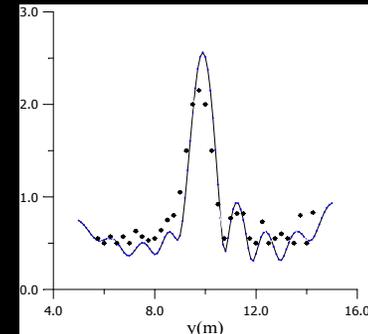
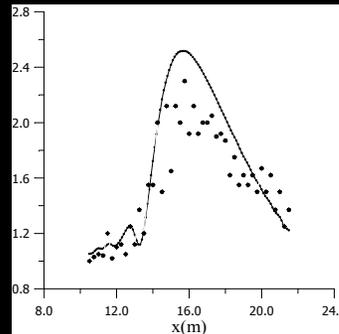
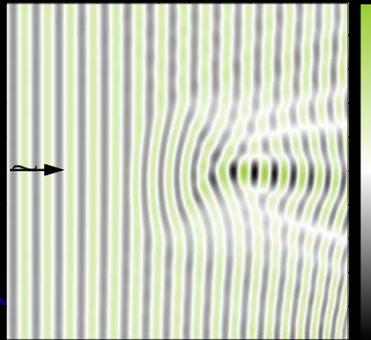
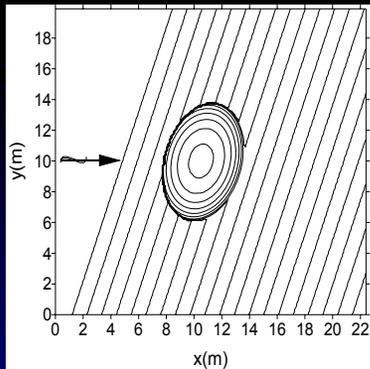
Институт проблем математических машин и систем
НАН Украины, Киев

Схема моделирующего комплекса MORPHO



Modules of MORPHO: coastal dynamics simulating system

HWAVE – модуль, описывающий волновую рефракцию, дифракцию и трансформацию на донных неоднородностях и течениях (Демченко Р., Железняк М., 2000) на основе гиперболической аппроксимации уравнения пологих склонов (Soreland, 1985), с большей вычислительной эффективностью, чем эллиптическая. Численная реализация модуля основана на разностной схеме 4-го порядка точности.

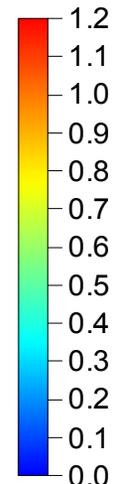


Model comparison with "Delft Hydraulics" laboratory data (Berkhoff, 1982) on wave height transformation above the shoal

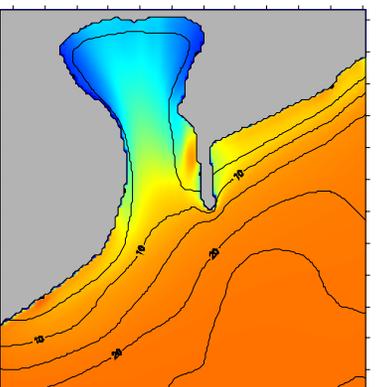
Тестирование модели HWAVE американской компанией “СНЕ” в сравнении с другими моделями волновой трансформации для Keystone Harbor, WA (Tirendelly et al, 2006)

- $H = 1.0\text{m}$
- $T = 4.0\text{s}$
- $\text{Dir} = 180\text{ Deg TN}$

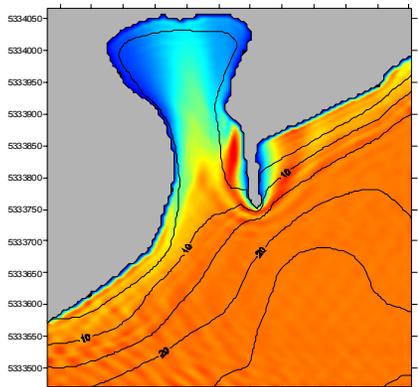
Height (m)



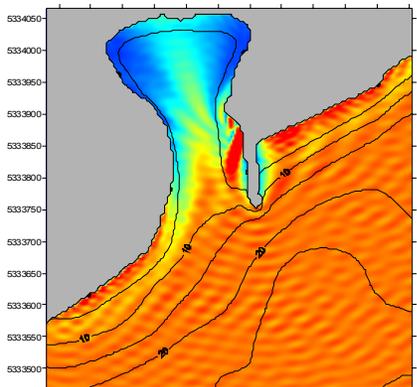
SWAN



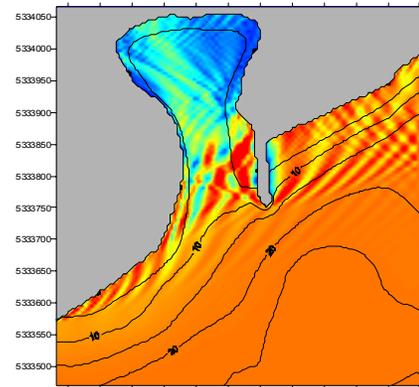
Bouss2D



HWAVE

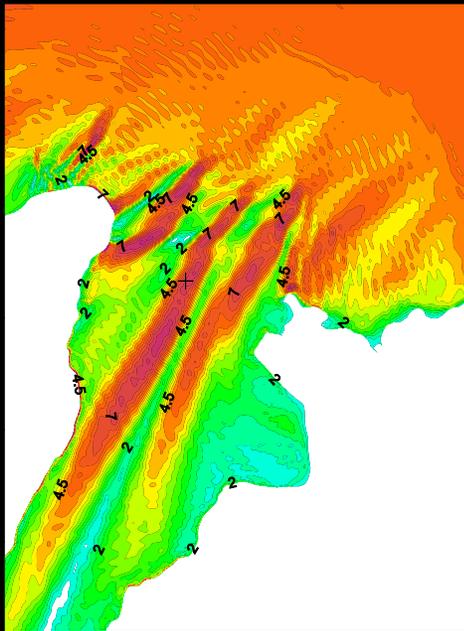


RefDif

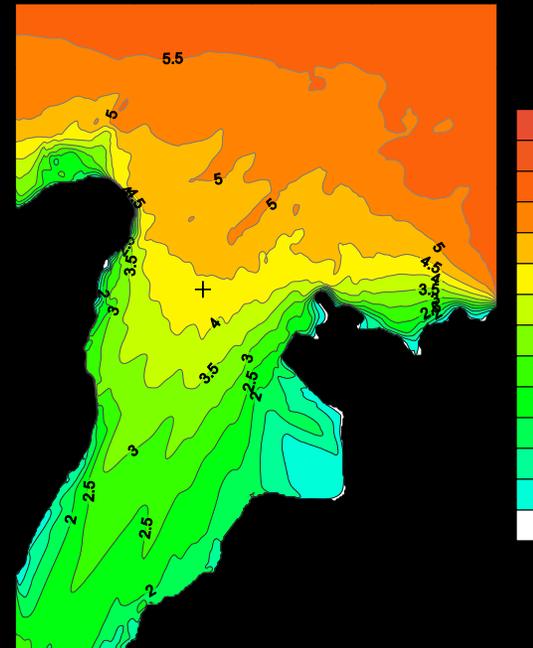


Результаты HWAVE близки к результатам нелинейно-дисперсионной модели по уравнениям Буссинеска при значительно меньших затратах расчетного времени в сравнении с уравнениями Буссинеска

Сравнение результатов HWAVE и SWAN на примере вычислений волновых полей в губе Долгая - Восточная, Баренцево море



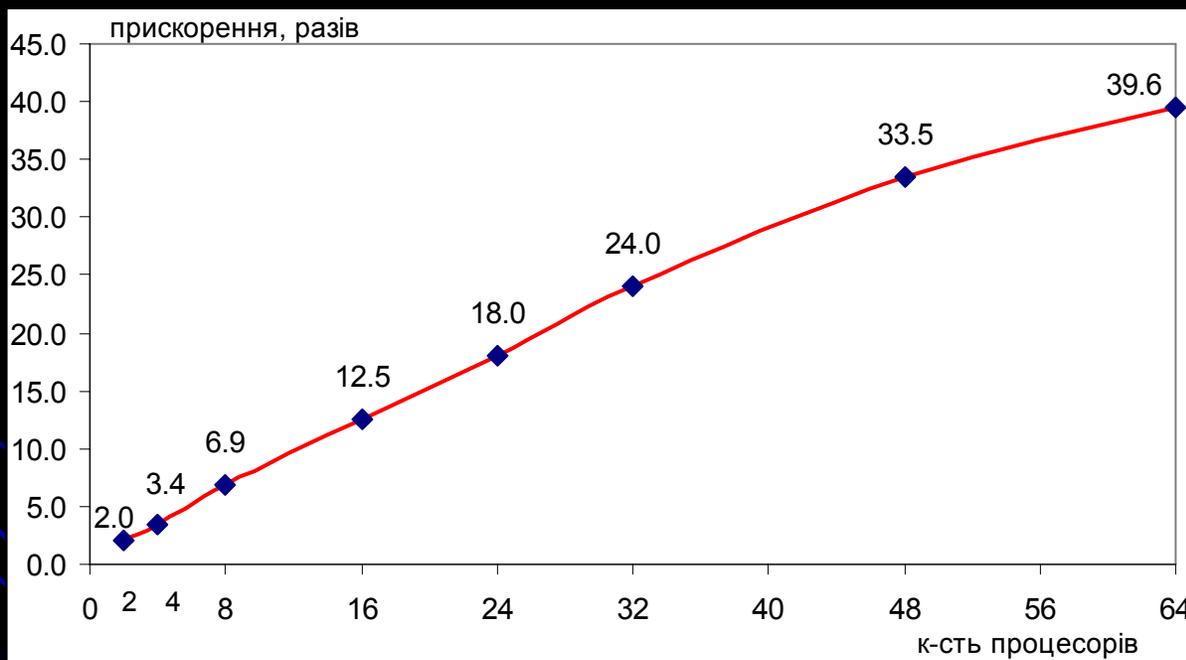
HWAVE Направление северо-восток , 225° высота волн в точке С помеченной крестиком $H_c = 7.54m$



SWAN Направление северо-восток 225°
 H в С = $4.51m$

Развитие системы новых параллельных алгоритмов для задач трансформации морских волн на основе численного решения гиперболической версии уравнений модели пологих склонов HWAVE

ускорение параллельного HWAVE для губы Долгая (Баренцево море)
сетка 801x 1121 (900 тыс.т.)



Modules of MORPHO: coastal dynamics simulating system

Волновые модули

BOUSSZ – полностью нелинейная модель, полученная разложением по малому параметру и интегрированием по глубине (Железняк, 1981) и ранее выведенная интегрированием по глубине для постоянной глубины Serre. Численно реализовывался двумерный вариант модели с поправочными коэффициентами [Madsen P., Schaffer H., 1998], улучшающими дисперсионные соотношения.

BOUSSM – численная реализация уравнений Буссинеска в формулировке (Madsen, 1997).

• Две реализации моделей корабельных волн в прибрежной зоне – на основе уравнений мелкой воды и модели BOUSSM.

BOUSSZ Эксперимент Chawla [Chawla, Özkan Haller, Kirby, 1996]

$a=1.165\text{cm}$, $T=1.0\text{c}$

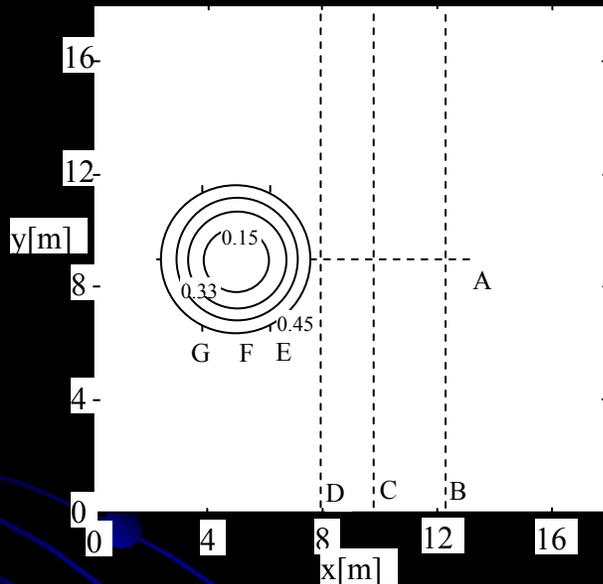
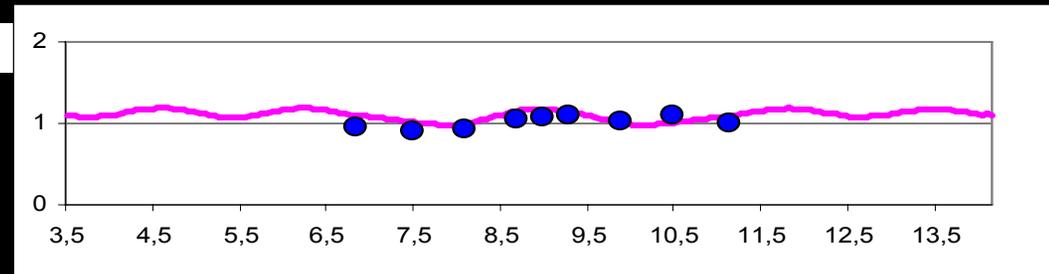
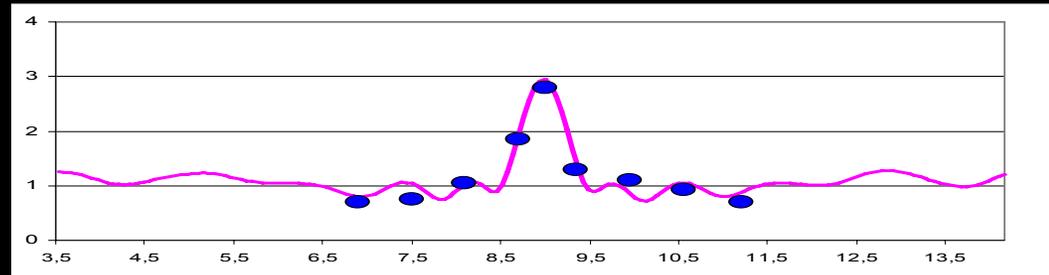
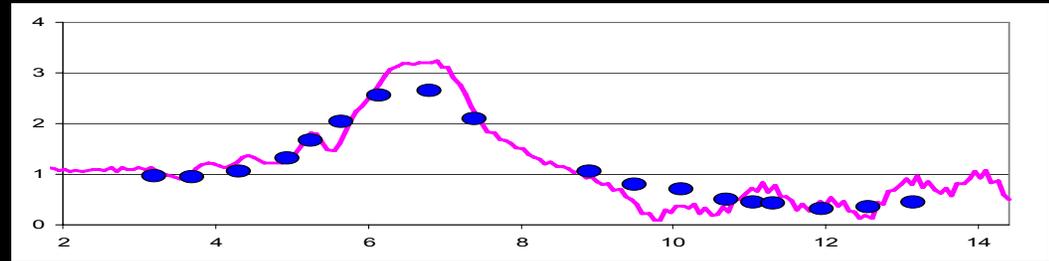
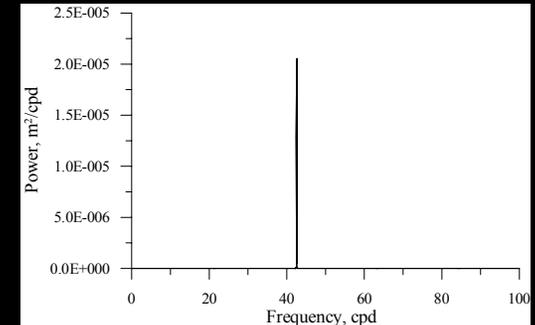
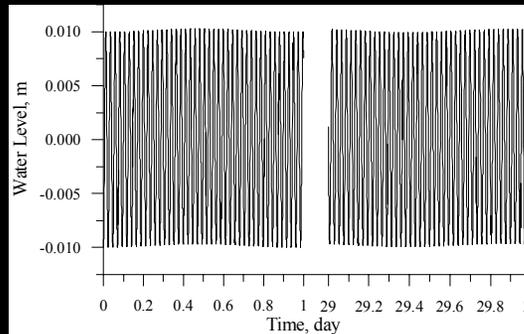
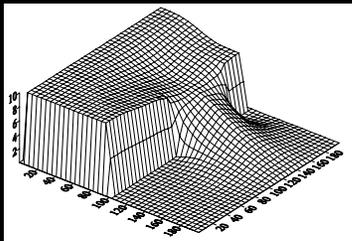
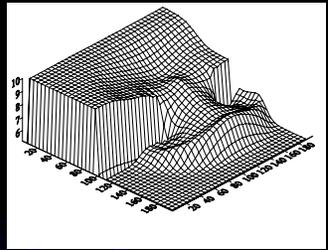


Схема лабораторного эксперимента Чавла, 1996



Modules of MORPHO: coastal dynamics simulating system ТЕЧЕНИЯ

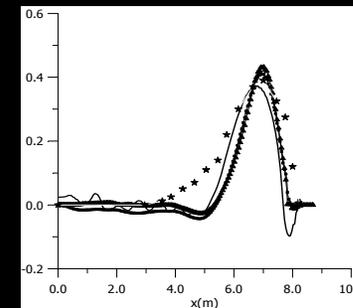
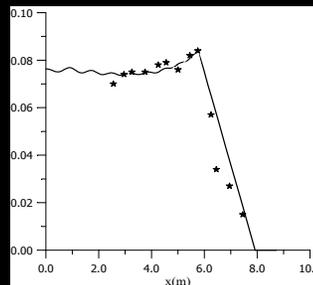
CUR (COASTOX) – модуль, описывающий 2-D прибрежные течения на основе уравнений мелкой воды, включающих радиационные напряжения, получаемые из выходных данных HWAVE (или SWAN) модулей. Численная схема основана на базе метода конечных объемов с коррекцией потока. Применяется для вычисления затопления и осушения берега в приближении мелкой воды.



Dam break test: wet bed (left) and dry bed cases Gourlay, M.R., 1974.

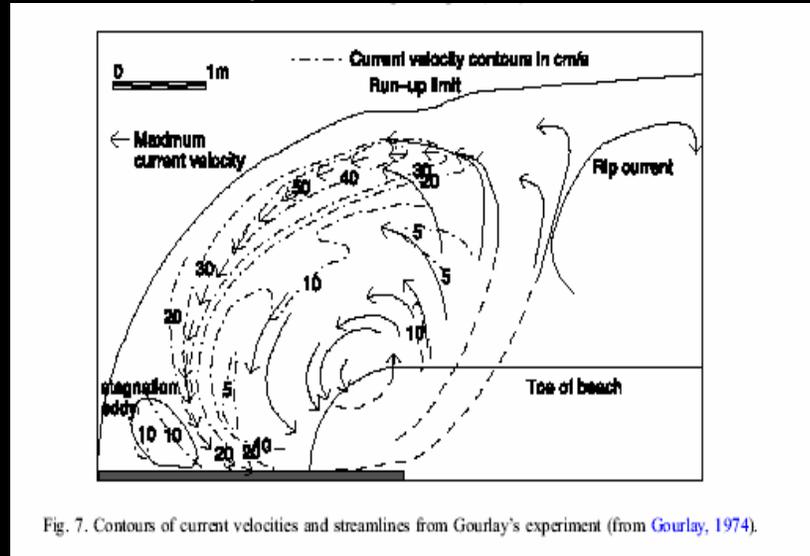
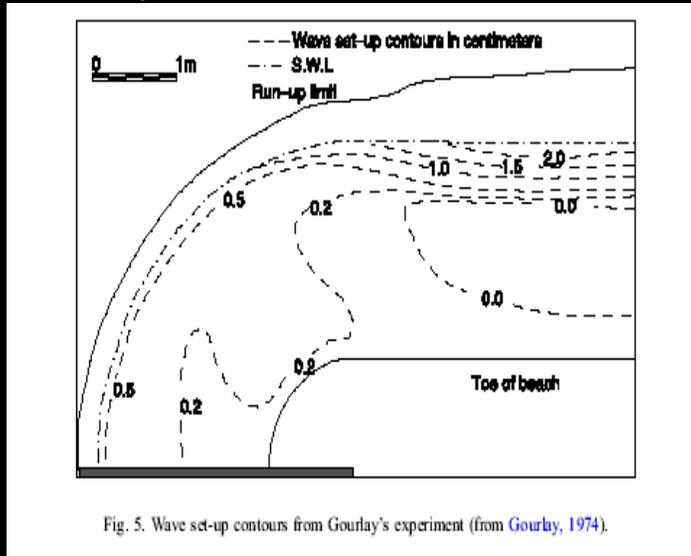
Slosh test (M2D manual) -seiche in a rectangular basin. Time-series of water level and basic frequency

Model comparison with the laboratory data (Visser, 1984) on water elevation in the surf zone (wave set up) and the distribution of the velocities of wave generated alongshore currents

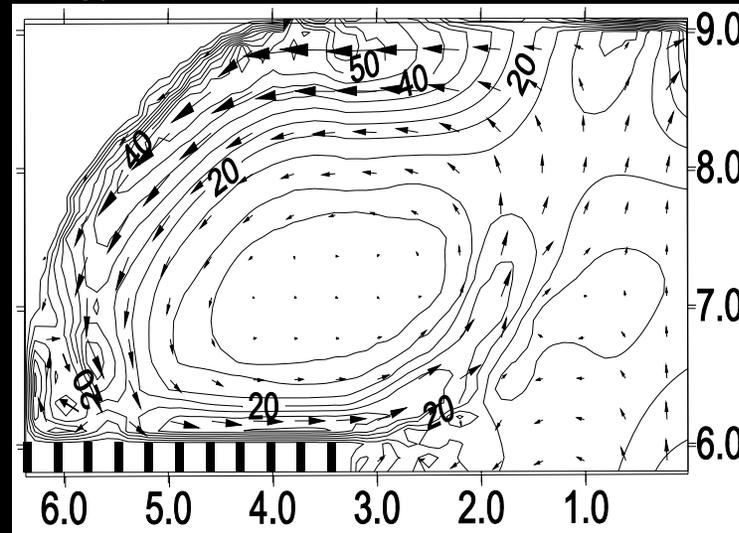
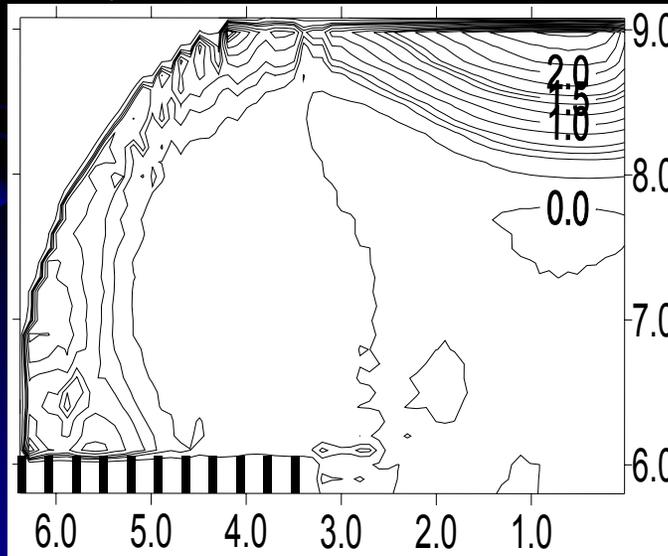


CUR+ HWAVE testing versus laboratory data for nearshore circulation

Gourlay (1974) wave induced circulations laboratory measurements



Gourlay experimental results presented in Fengyan et al., 2003,

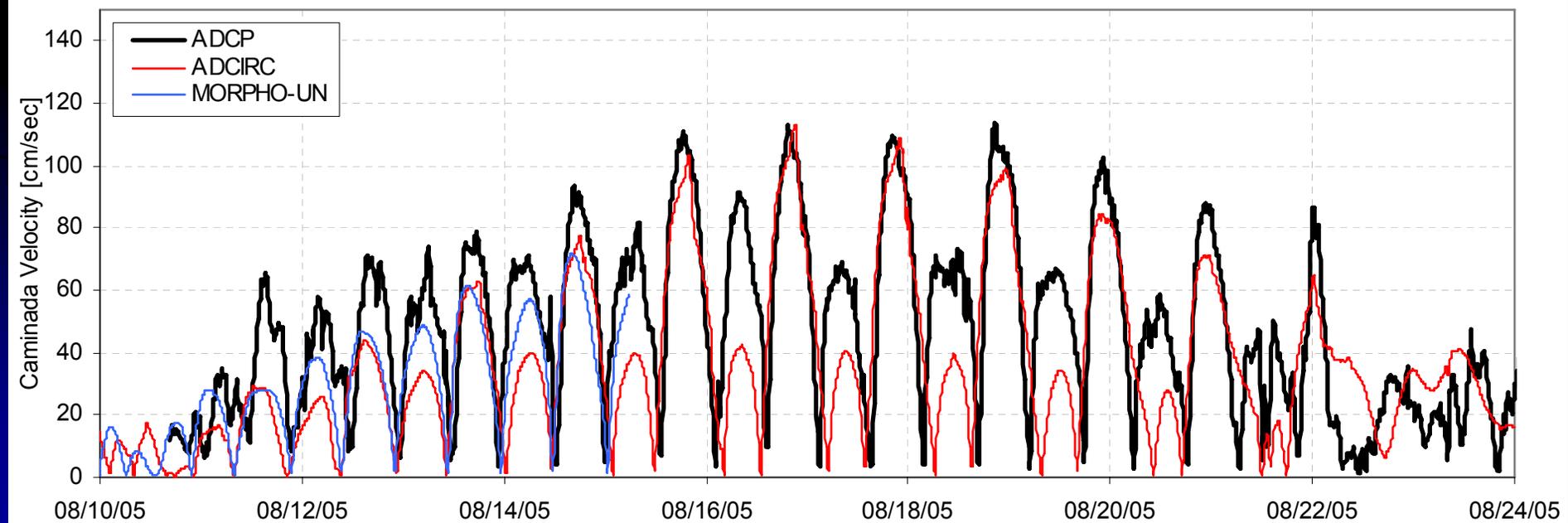
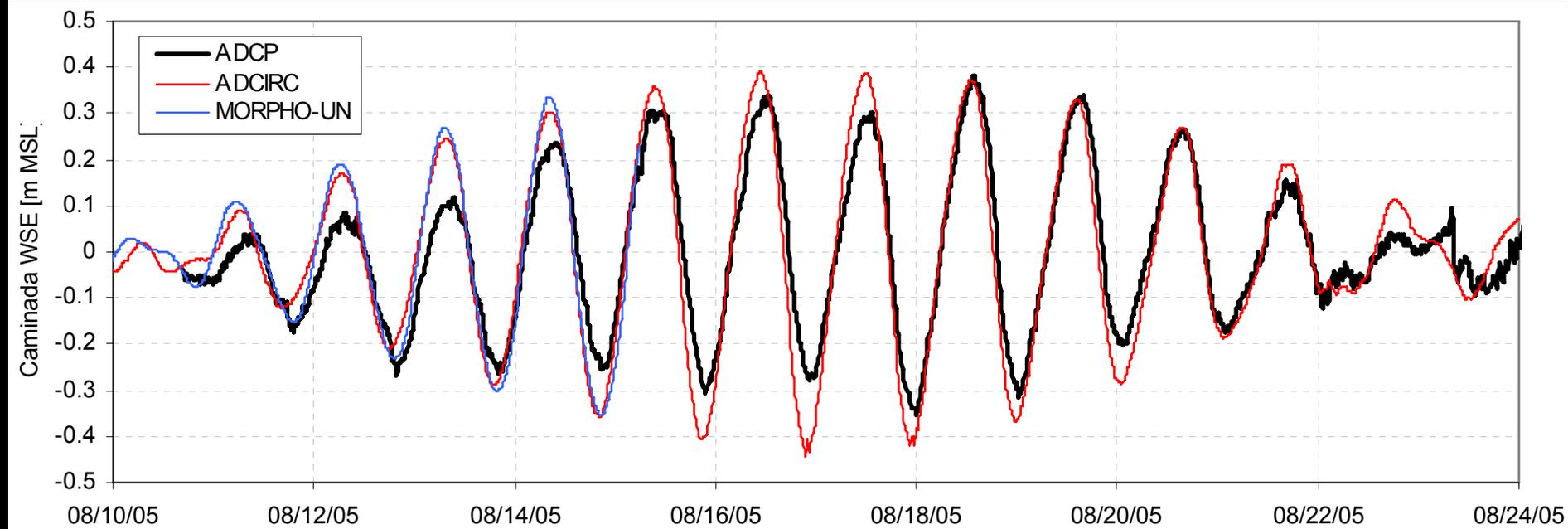


Surface elevation and currents simulated by CUR+HWAVE

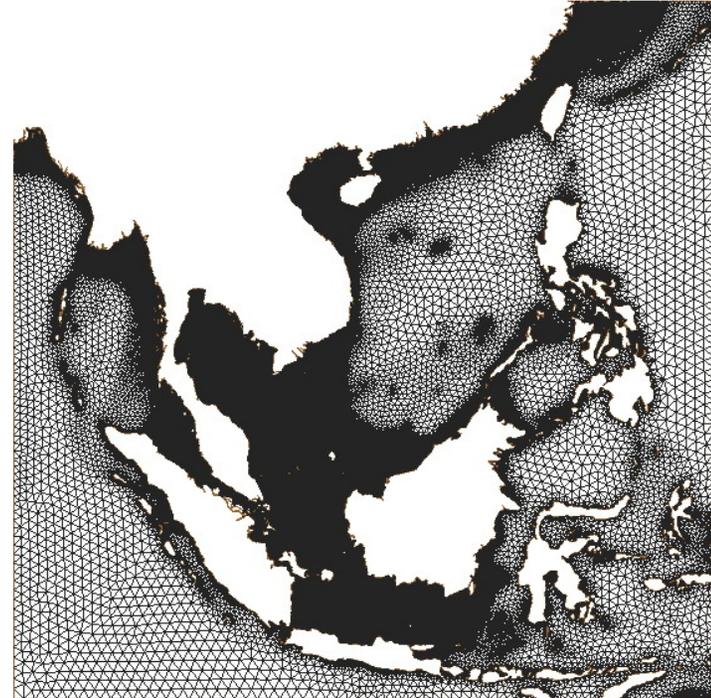
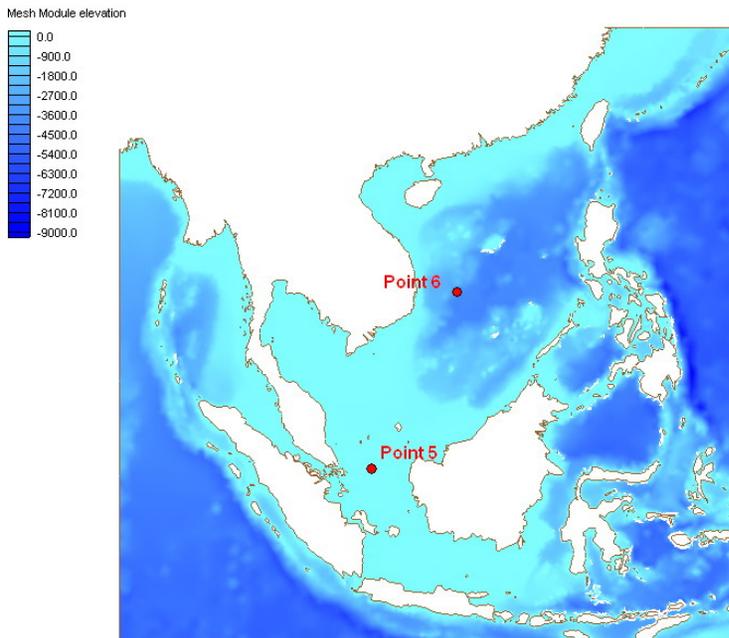


Разработана версия
гидродинамической модели для
неструктурированных сеток
MORPHO –UN (COASTOX –UN)

Результаты модели сопоставлялась с данными
измерений и результатами популярной
американской модели ADCIRC для тихоокеанского
побережья в районе Лос Анжелеса

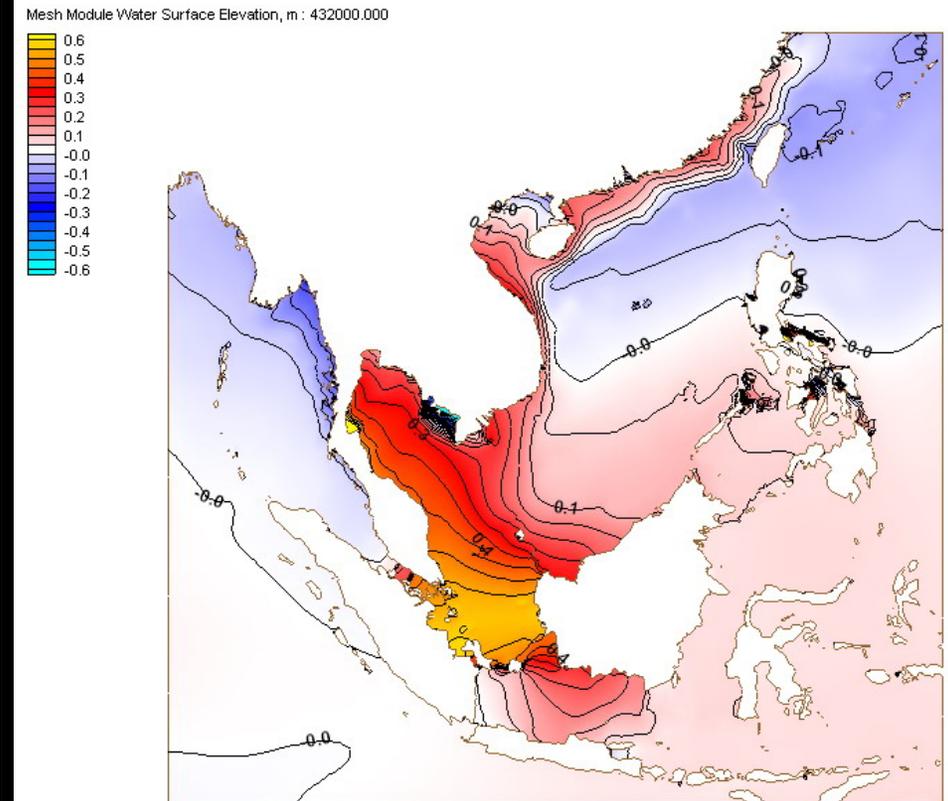
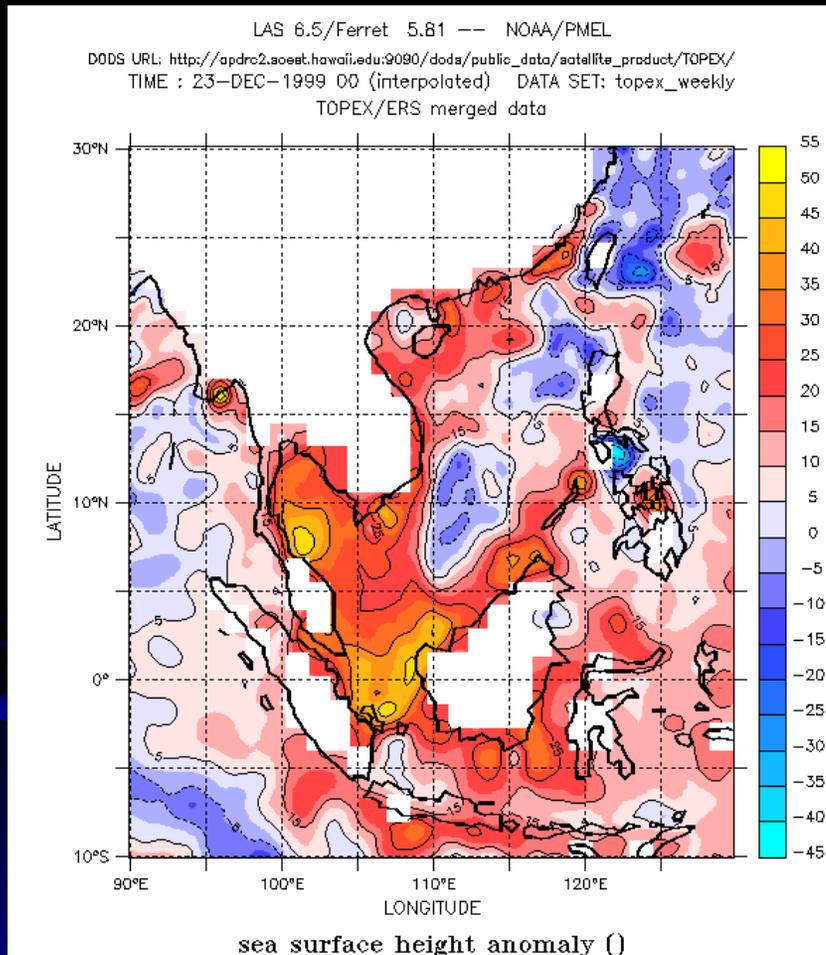


Моделирование уровня Южно Китайского моря с детализацией региона Сингапура для задач расчета штормовых нагонов



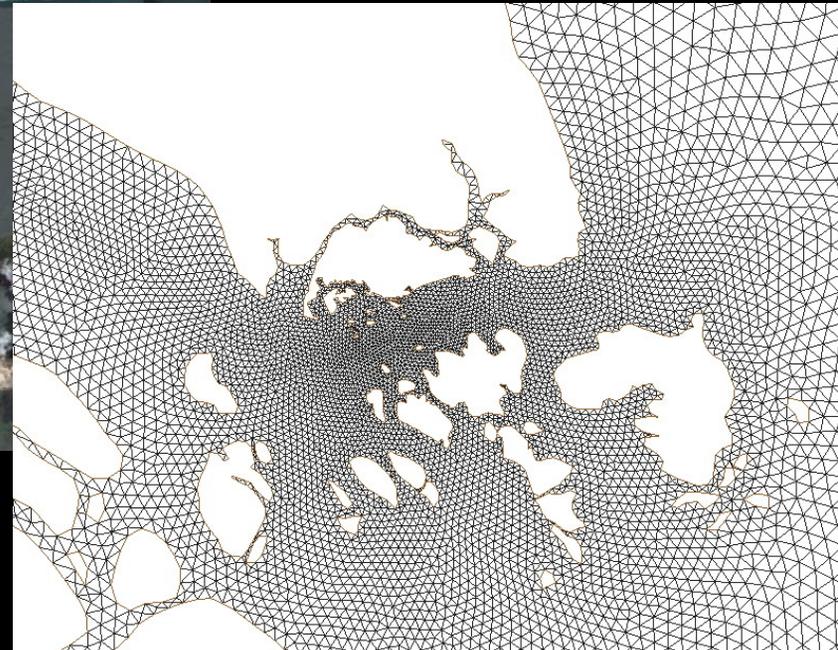
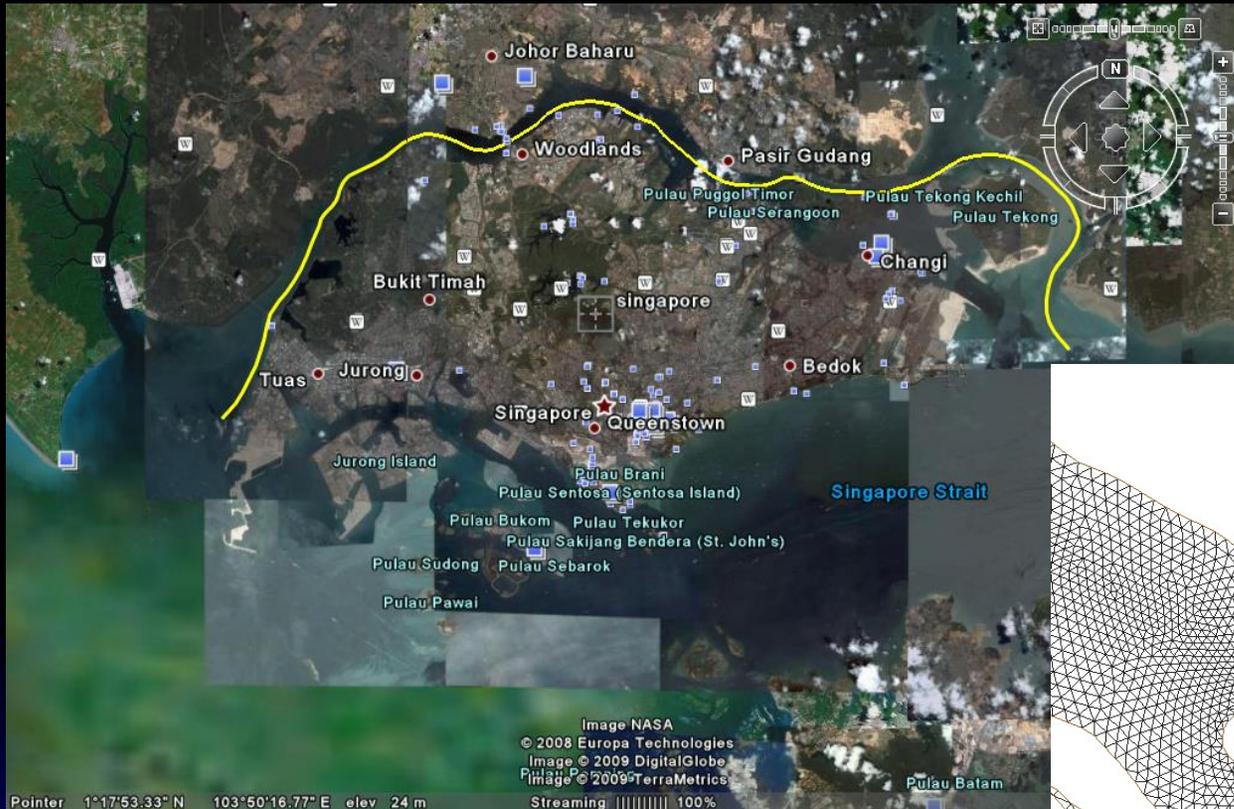
Unstructured grid of COASTOX-UN model for the simulated area

Simulation of Surface Level Anomalies in South China Sea with the refined modelling of the storm surges at Singapore



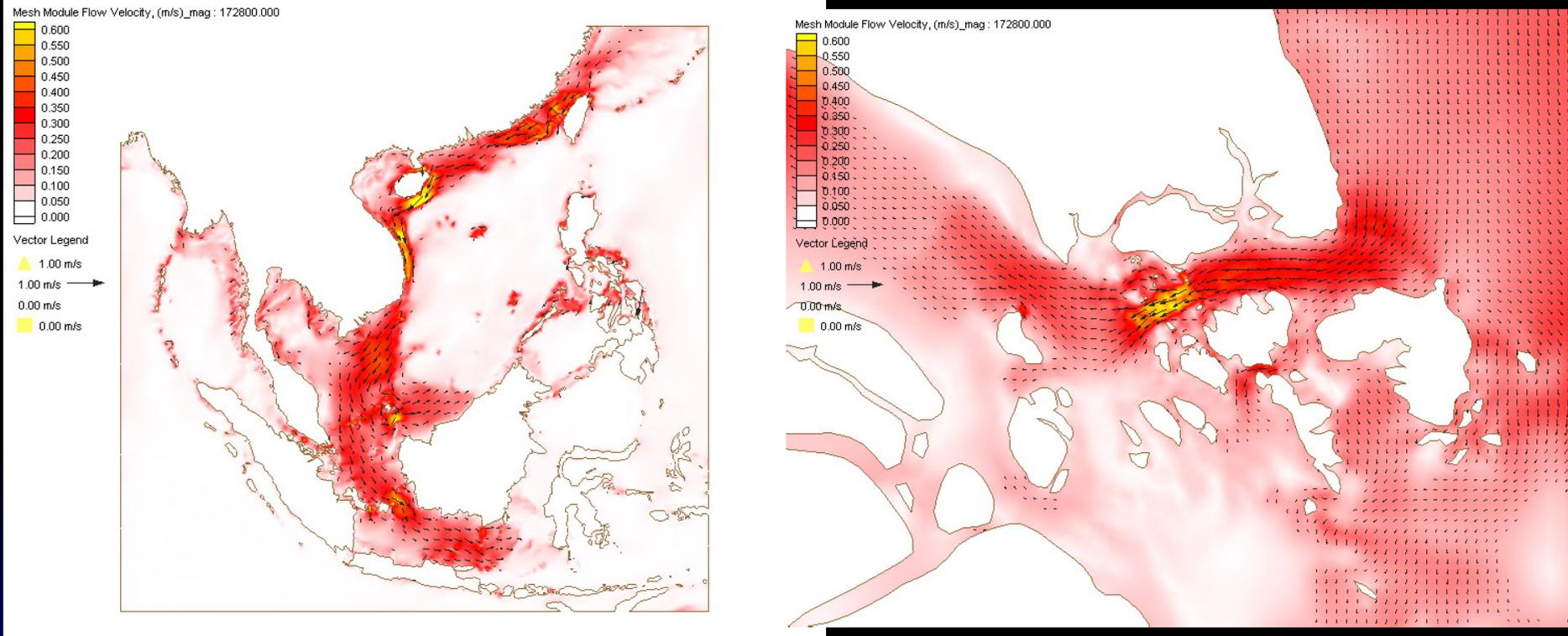
Sea surface elevation (m): satellite measurements (left) and simulated (right)

Simulation of Surface Level Anomalies in South China Sea with the refined modelling of the storm surges at Singapore



Unstructured grid of COASTOX-UN model near Singapore

Simulation of Surface Level Anomalies in South China Sea with the refined modelling of the storm surges at Singapore



Wind-atmospheric pressure generated currents

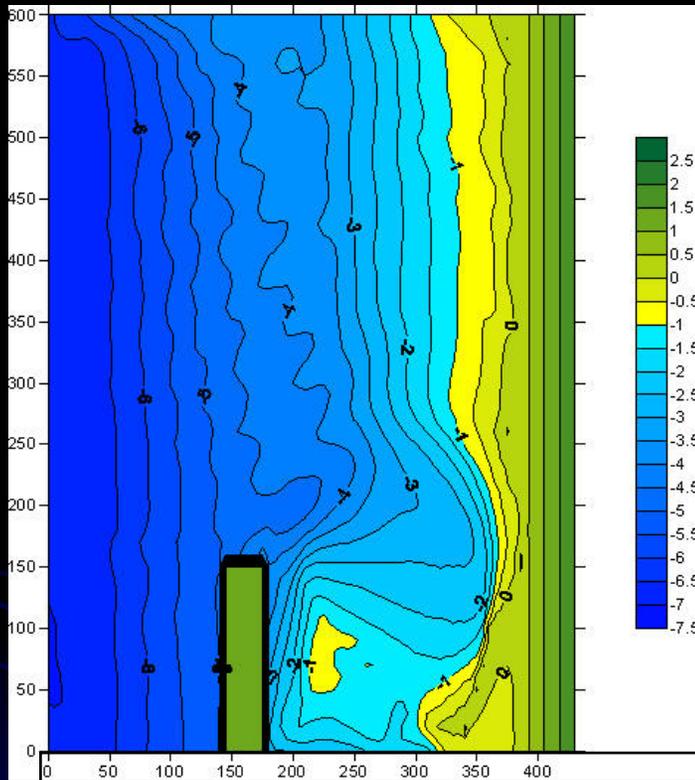
Modules of MORPHO: coastal dynamics simulating system **Наносы**

MORPHO- SED – модуль численного решения 2-D адвективно-диффузионного уравнения транспорта наносов. Для расчета равновесной концентрации взвеси включает библиотеку различных современных полу-эмпирических формул, включающих параметры волн и течений.

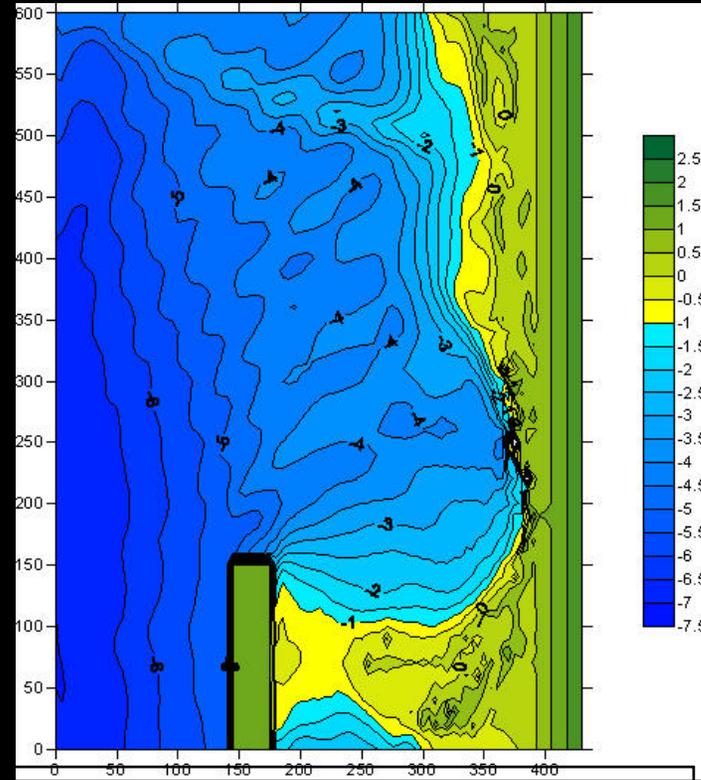
UCEWP- MORPHO: module simulating bottom/coast evolution in governing all modules of the system

MORPHO-LD модуль расчета литодинамических процессов на основе численного решения уравнения Экснера с блоком управления всей цепочкой моделей, стартовым их пересчет, если изменения глубин в расчетной области достигают некоего порогового значения. MORPH менеджмент подмодуль ответственен за функционирование модельной цепочки “волны - течения- седименты – морфодинамика- волны”.

Testing on the results of 5 models intercomparison of EC MUST project , Nicholson et al. (1997)



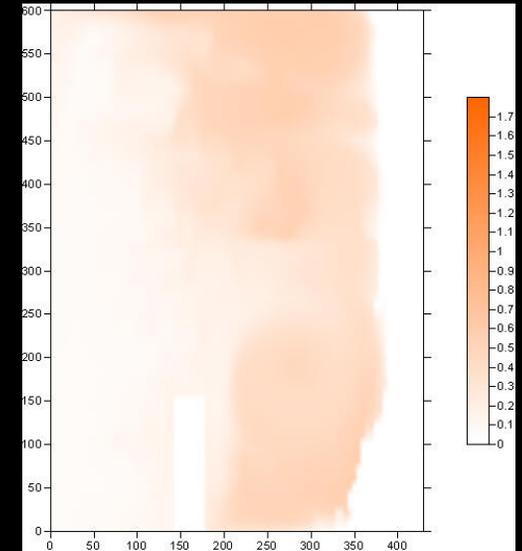
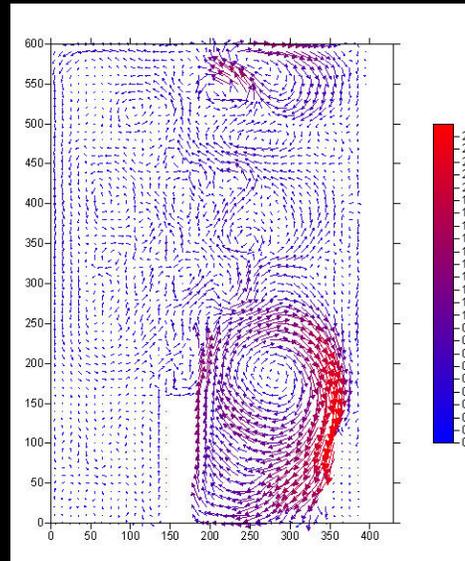
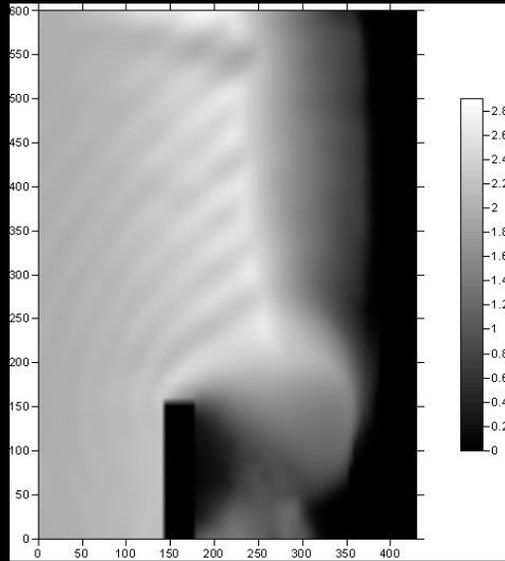
Bottom, m (200hours).



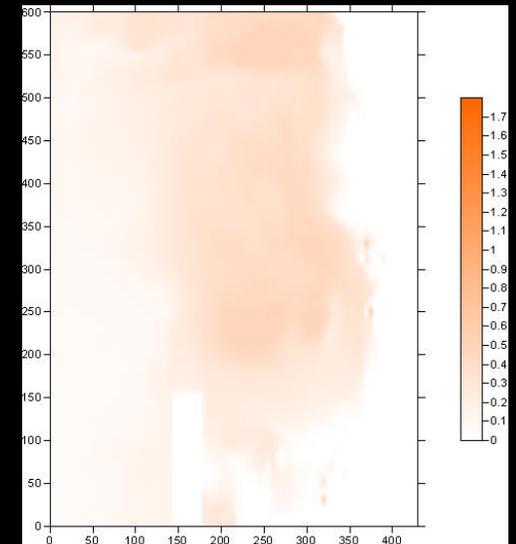
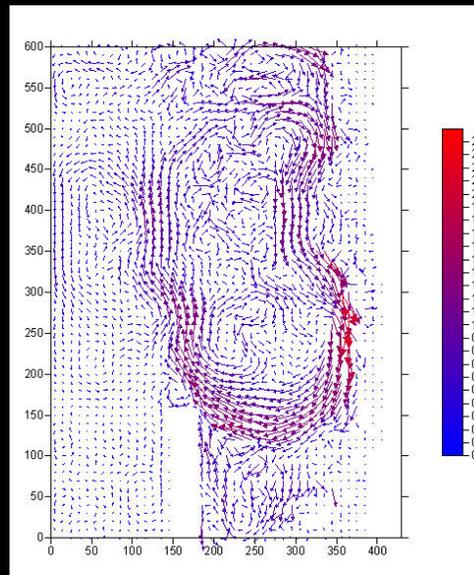
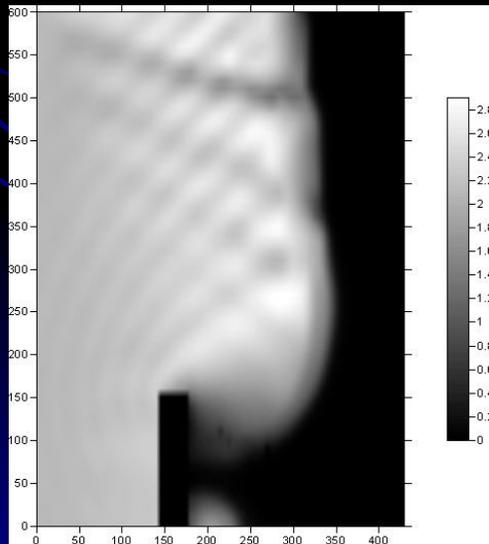
Bottom, m (“steady-state”).

Model testing in comparison with Nicholson et al. (1997) -waves, currents, sediment concentration

200 h



“steady state”



Testing on the results of 5 models intercomparison of EC MUST project , Nicholson et al. (1997)

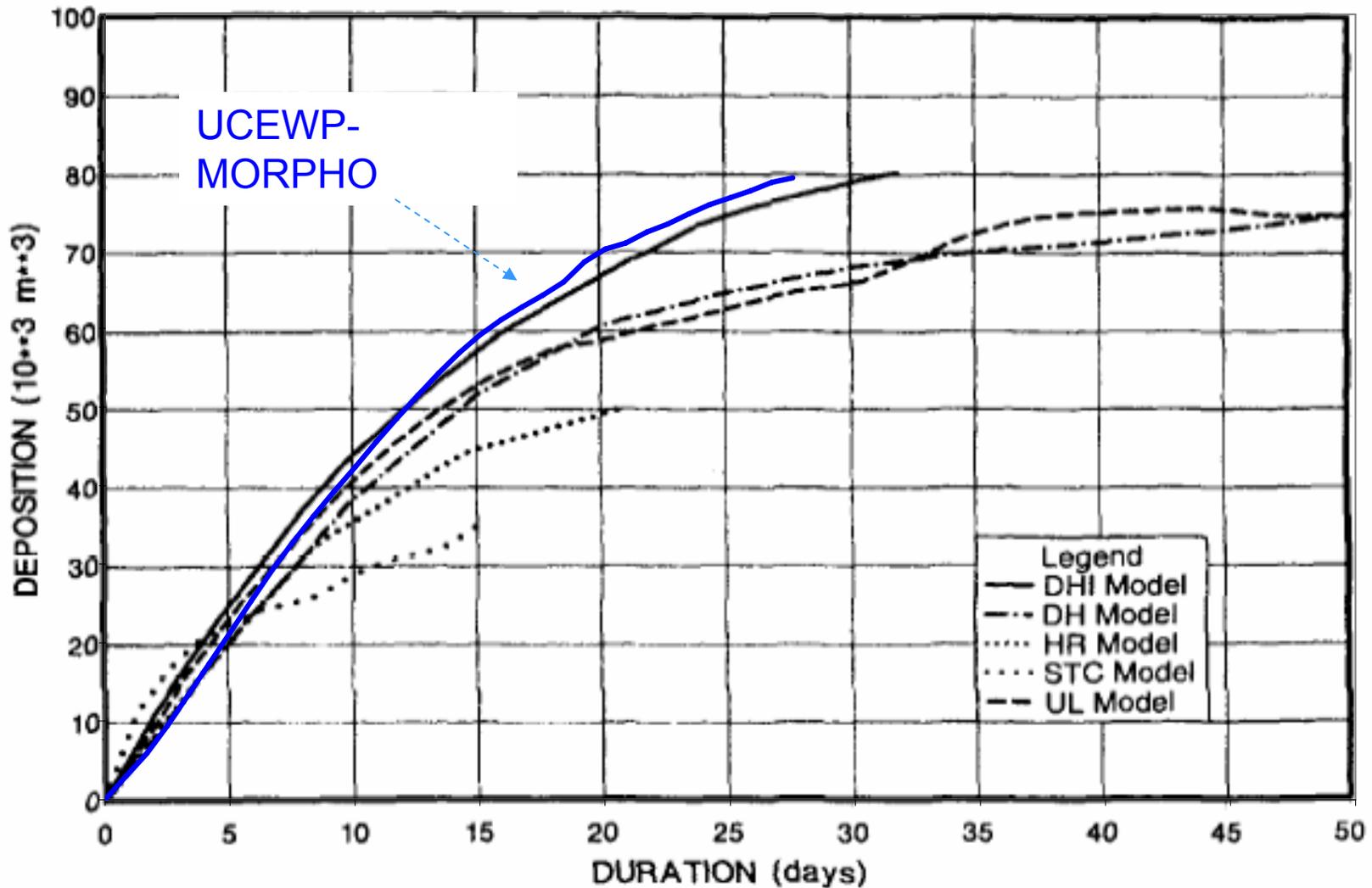


Fig. 9. Deposition in the lee of the breakwater as a function of time.

Численное моделирование дельты Дуная

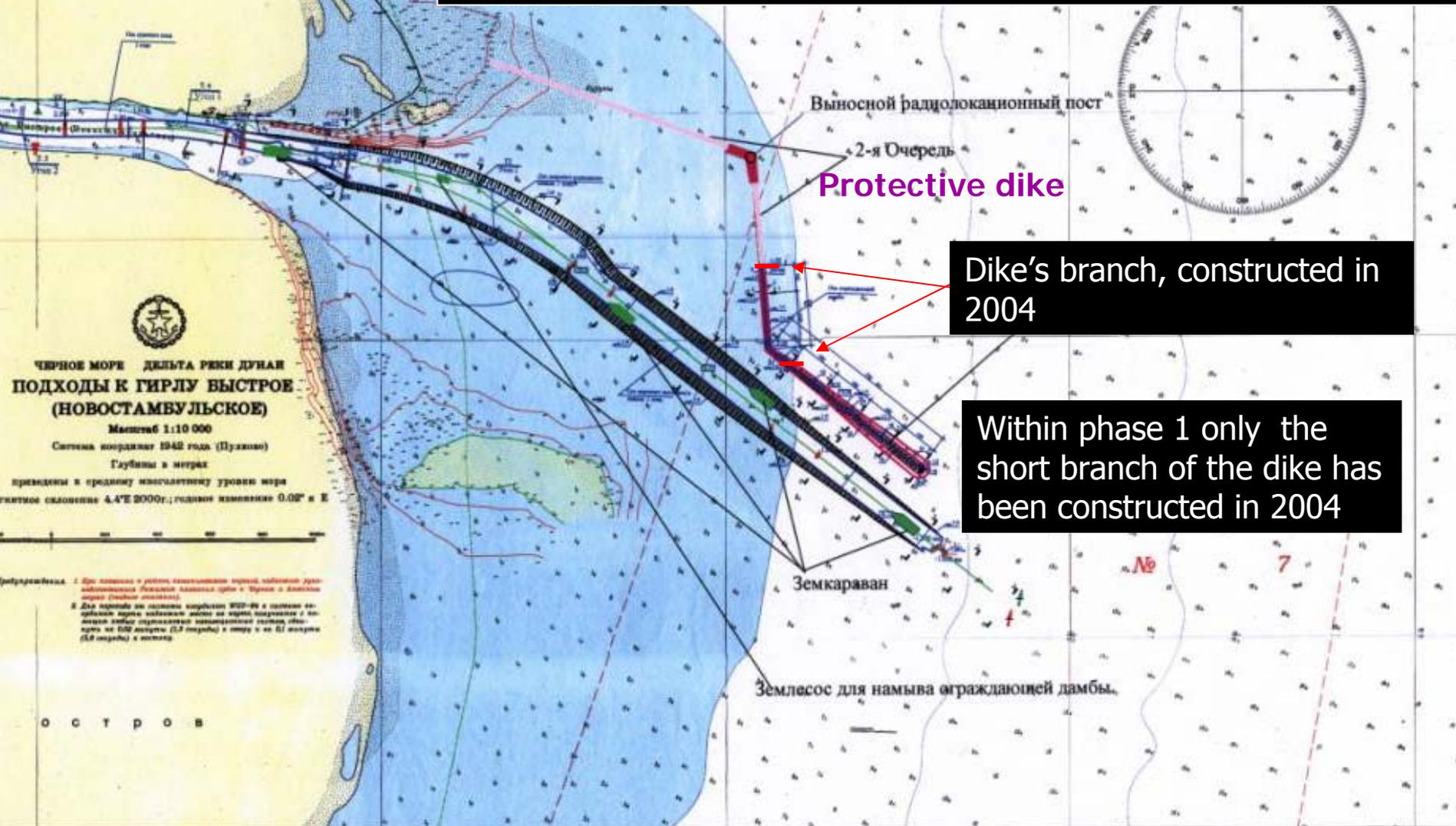
Строительство глубоководного судоходного канала (ГСК) в рукаве Быстрый дельты Дуная было начато в 2003г. Полный проект предусматривает развитие навигационного канала Дунай – Черное море в Украине, который обеспечивает прохождение судов при глубине канала 7.2 м. Первая фаза проекта, завершенная в августе 2004г., позволяет прохождение судов с глубиной осадки 5.85 м. Вторая фаза проекта находится в стадии разработки.



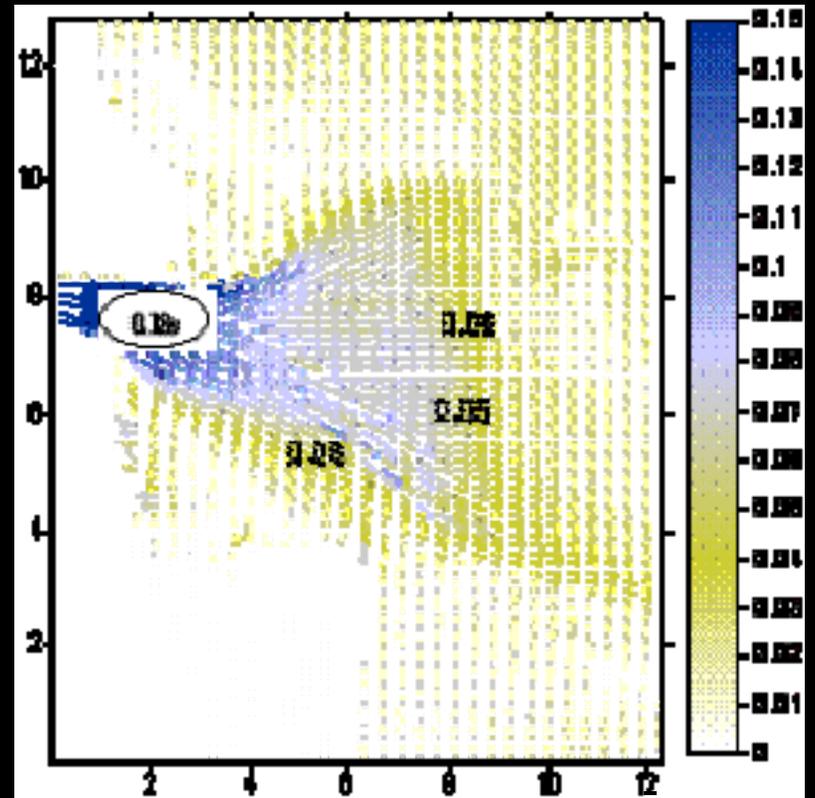
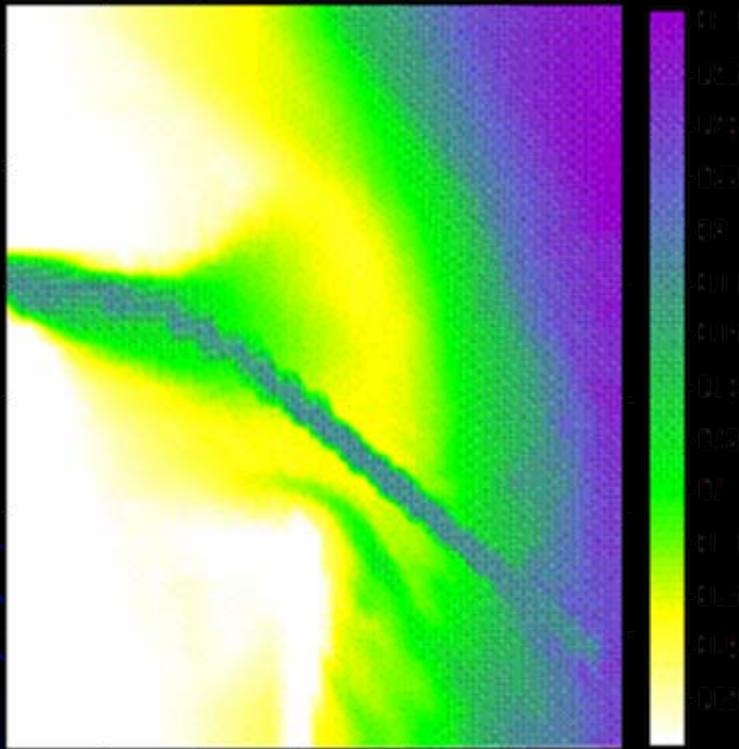
5. Option for new channel design to Zhebriyanska Bay that was considered and supported by the Ukrainian NGO's

6. Prorva Branch, that was used as a navigation channel till beginning of 90-th. Now it is closed for navigation due to the intensive sedimentation

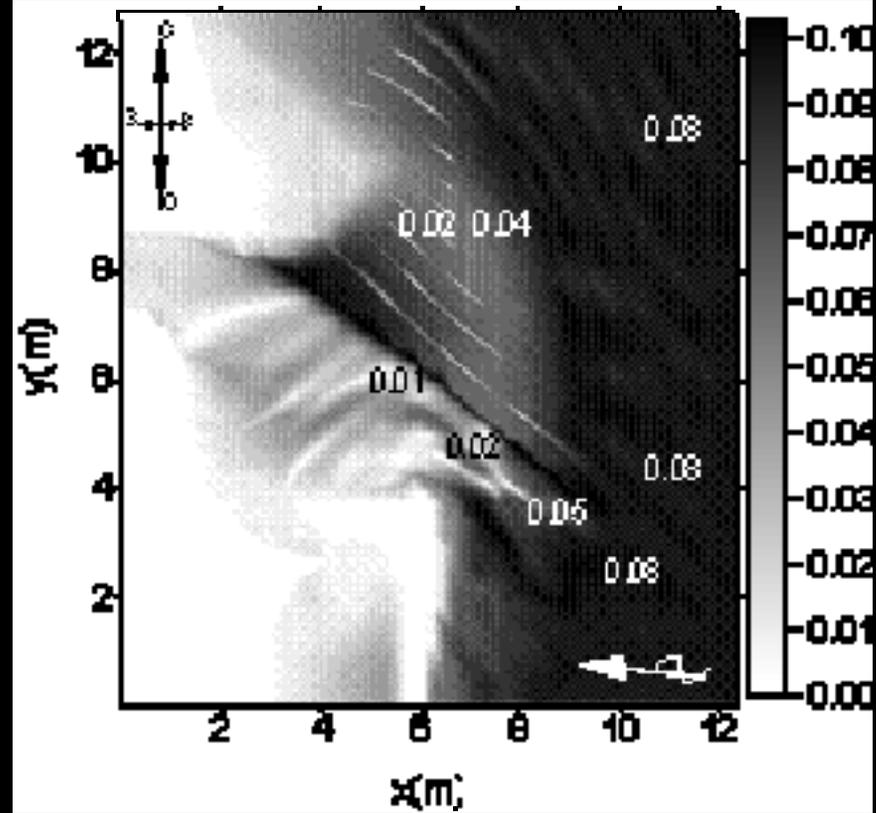
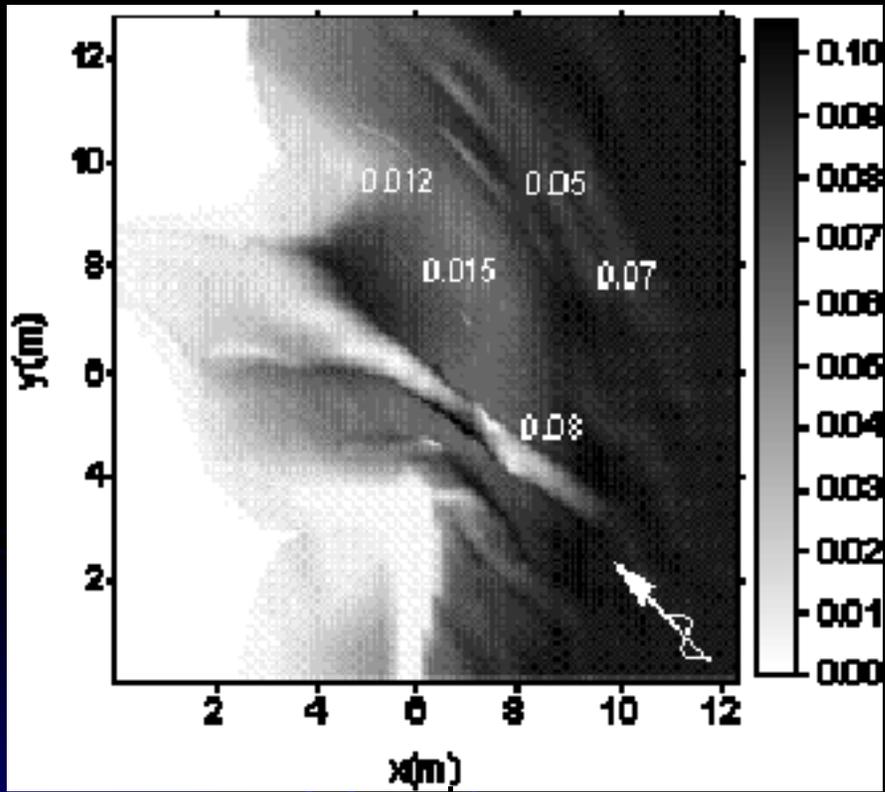
The marine part of the DNC - the approaching channel, length 3.30 km, which is passing through the sea sand-bar at the mouth of the Bystry arm . Within phase two the jetty will be constructed to protect the channel from the littoral drift from the North and North-East – that are main directions of the sediment transport in the area.



Simulated and recalculated from the laboratory experiments river driven currents in "no waves conditions"

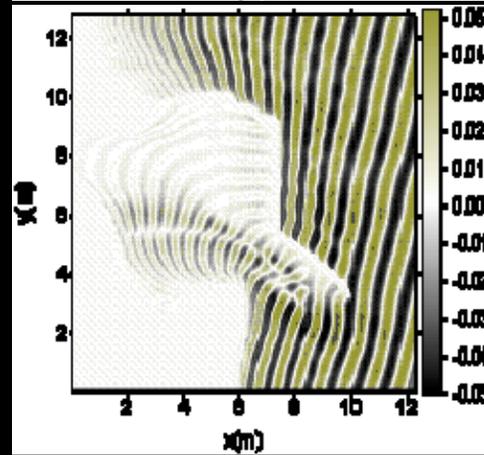
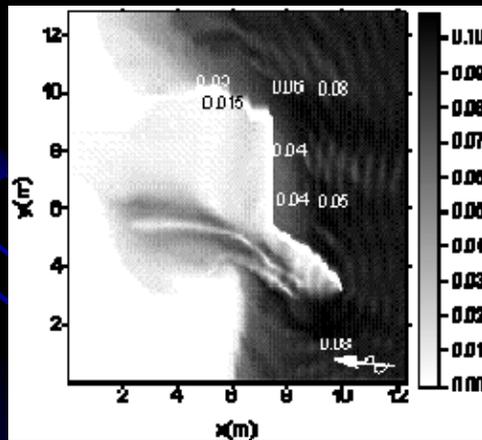
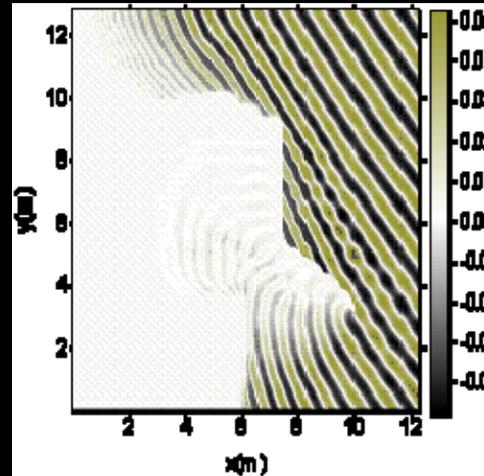
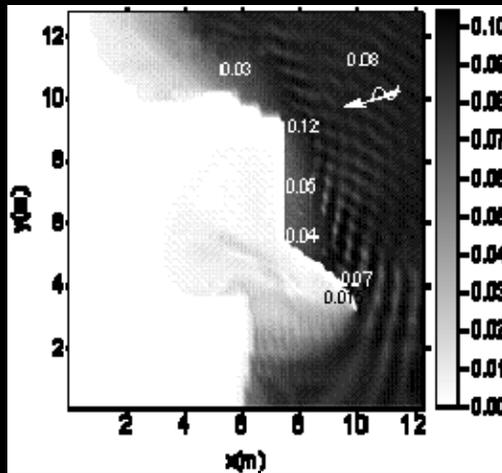


Wave heights simulated for the conditions of laboratory experiments



SE and ESE waves without dike

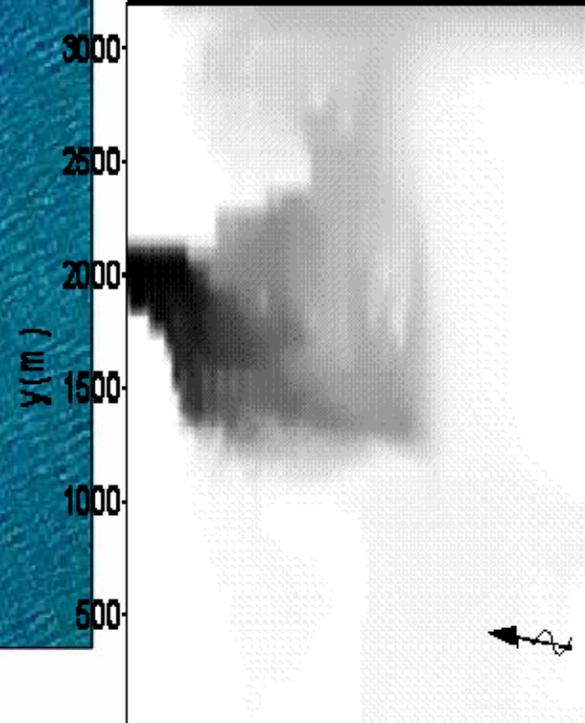
Wave heights and water surface elevation simulated for the conditions of laboratory experiments



NE and ESE waves after long dike construction

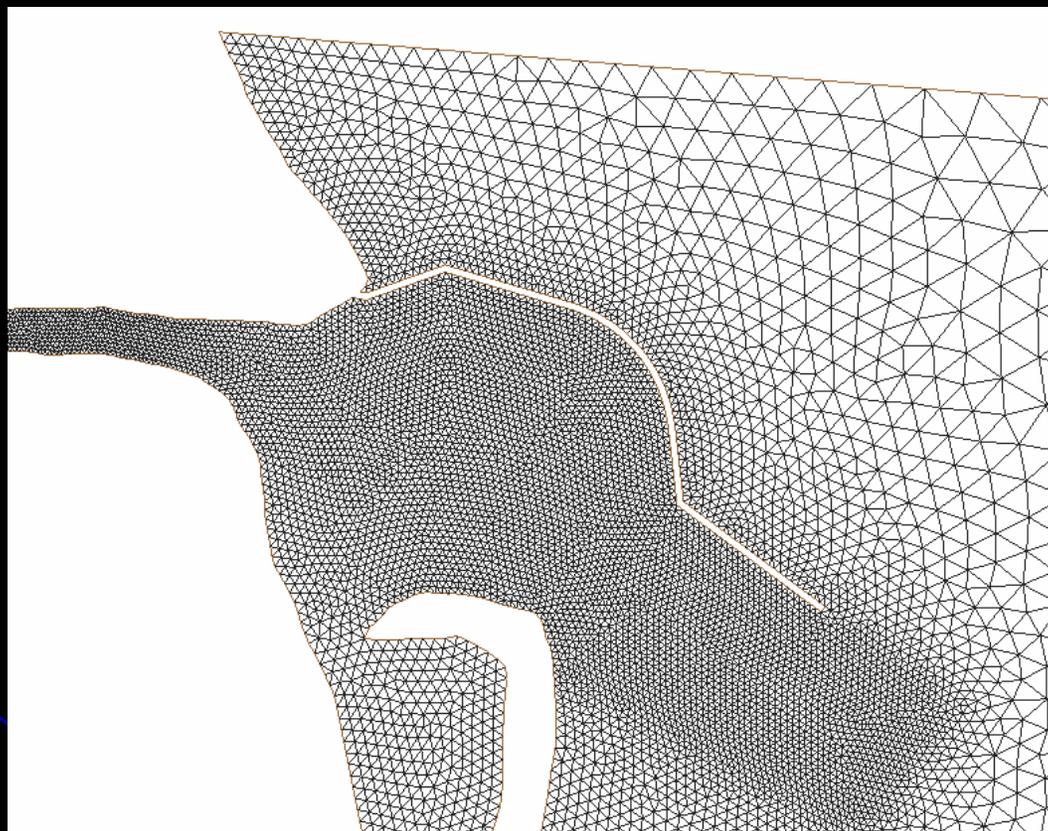


Simulated field of suspended sediments ($d=0.02$ mm) for the conditions of South-East-South waves and the satellite picture Terra (ASTER) 12.01.2001, which presents the image of river muddy water in the sea under the impact of South- East waves

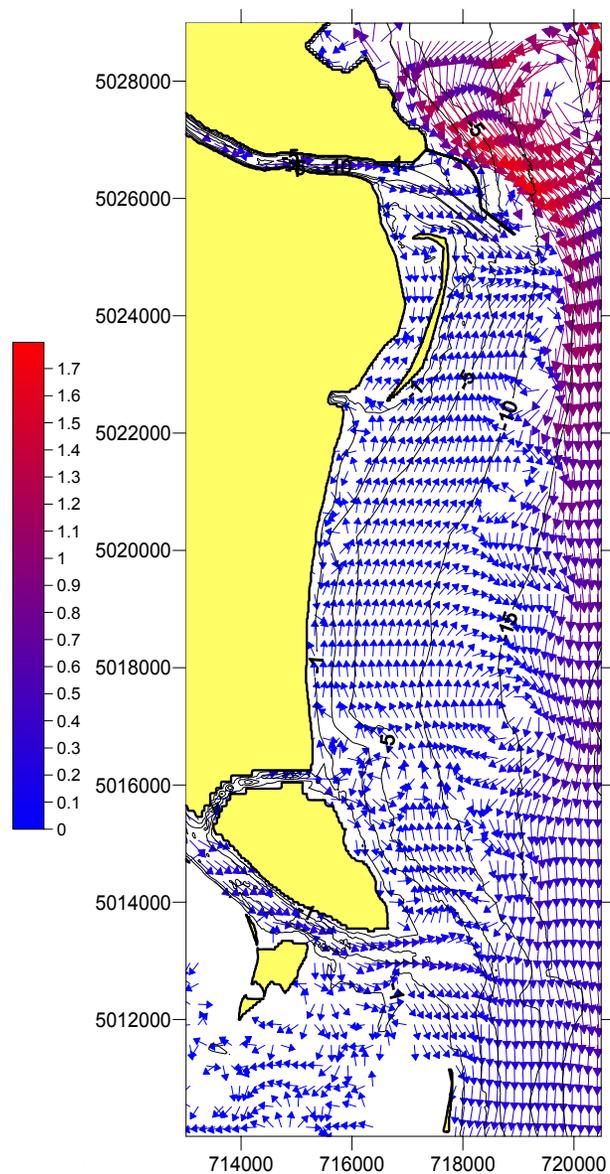
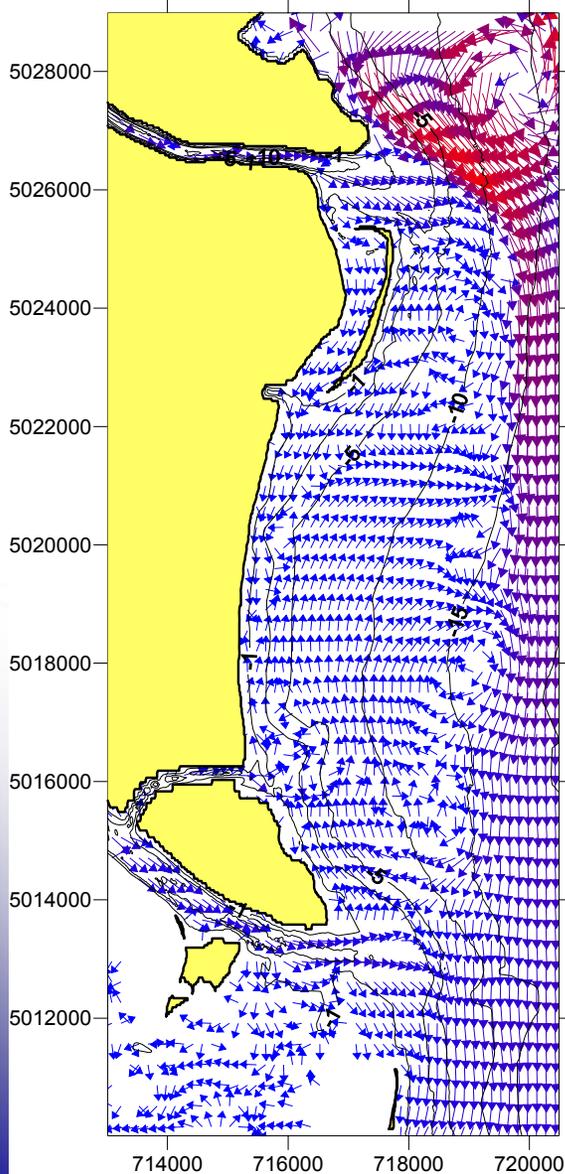


Неструктурированная сетка системы MORPHO для расчета литодинамических процессов в устье рукава

Быстрый дельты Дуная



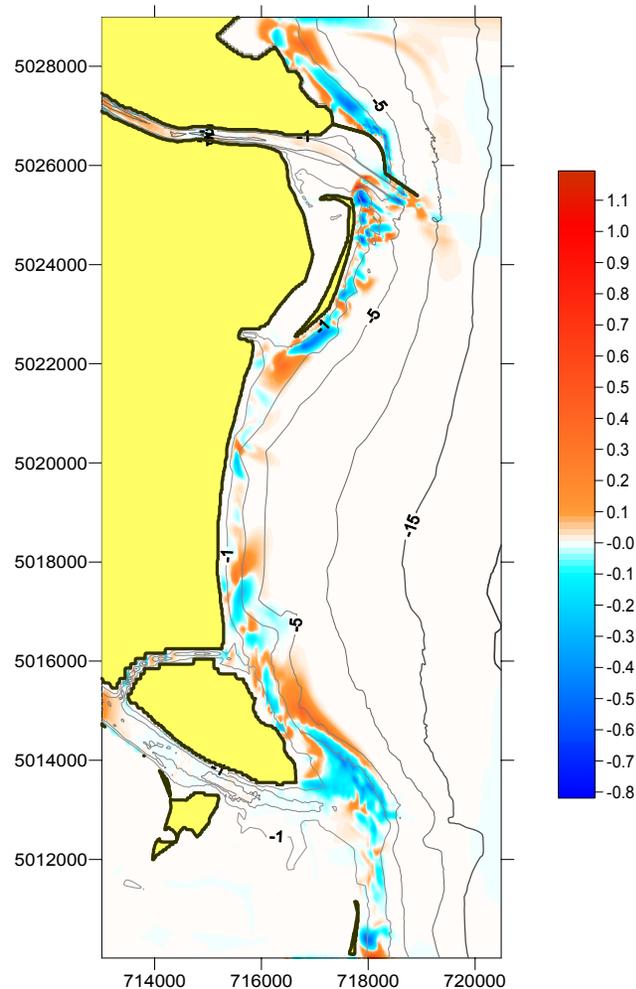
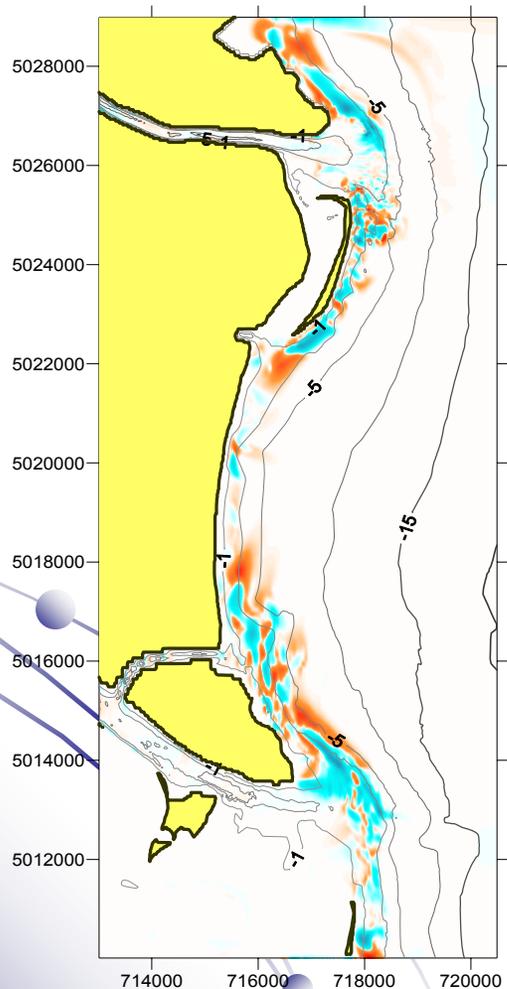
Поля скоростей в паводок с Северными штормовыми волнами $H=1.9\text{ м}$, $T=4.05\text{ с}$



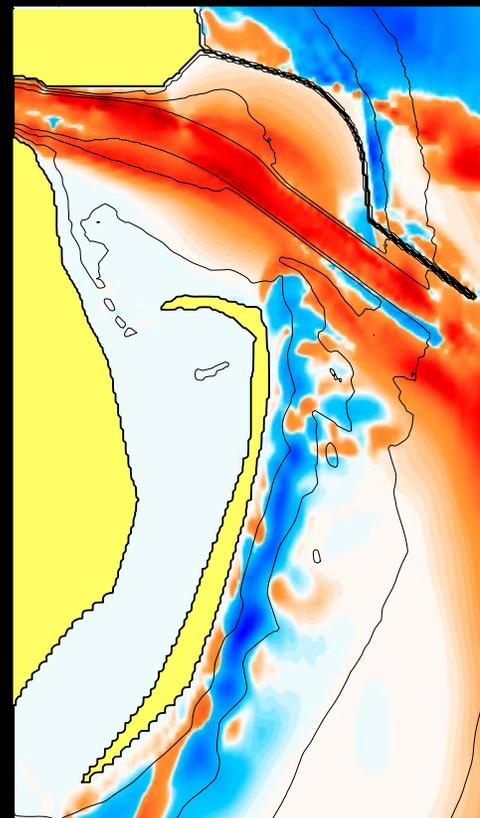
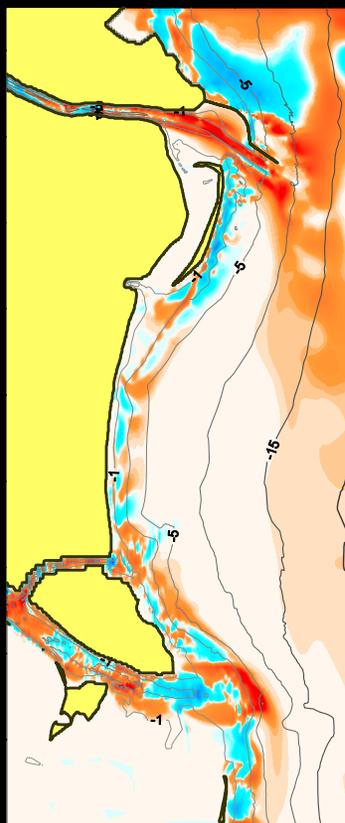
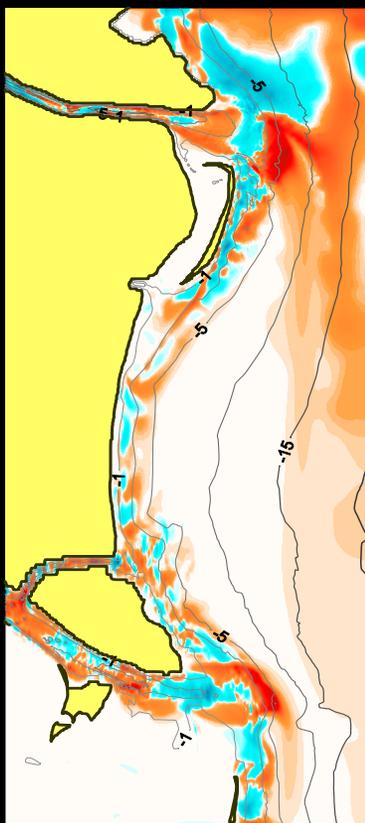
Гидродинамическая модель Coastox
Сетка – $550 \times 490 = 269\,500$ узлов
Ускорение на 48 процессорах – 28 раз.

Волны Hwave
Сетка – $2001 \times 1821 = 3\,643\,821$ вузлів
Ускорение на 48 процессорах – 35 раз.

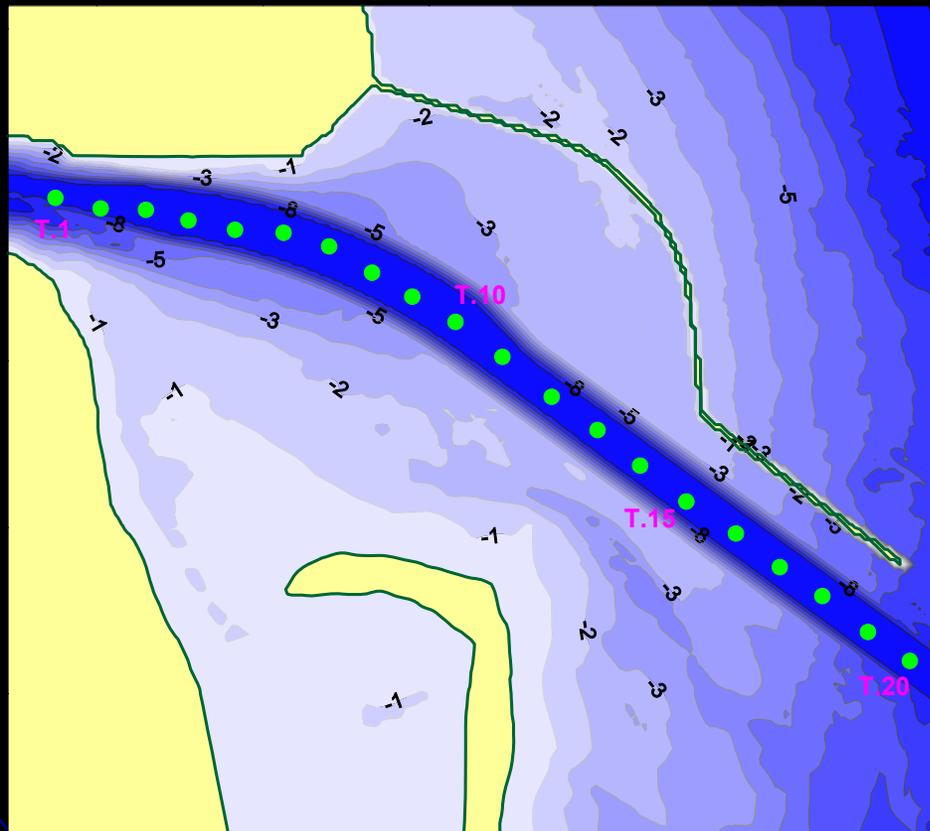
Изменение отметок дна за период паводка и межени с ЮВ ветрами $H=3.01\text{ м}$, $T=5.28\text{ с}$; $D50=0.15\text{ мм}$



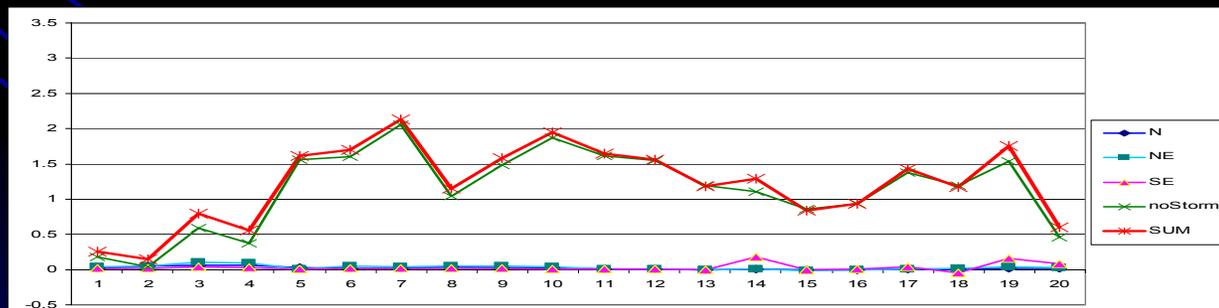
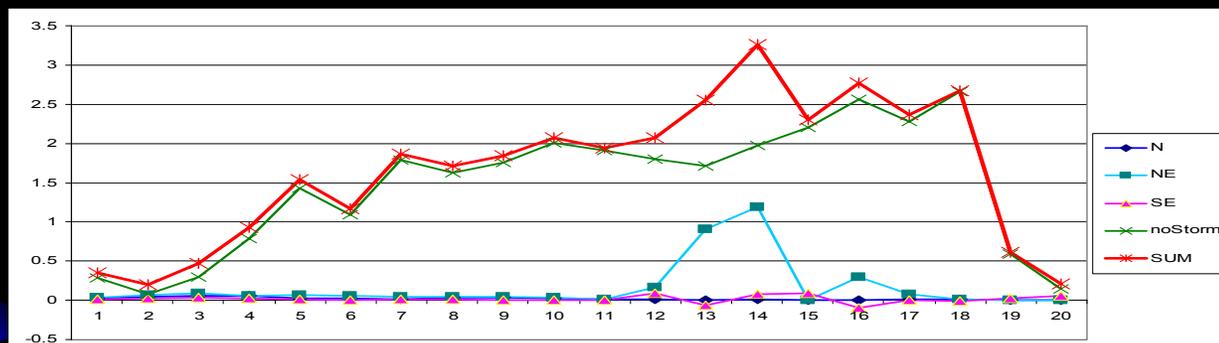
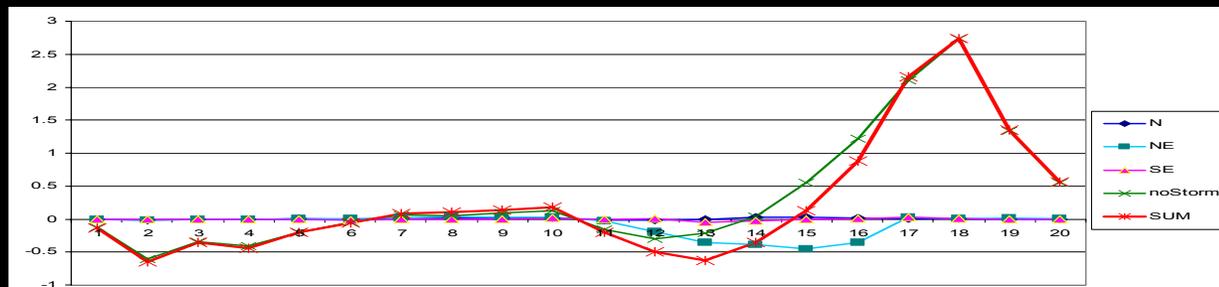
Суммарное изменение отметок дна за год ($D_{50}=0.02\text{мм}$, 0.15мм)



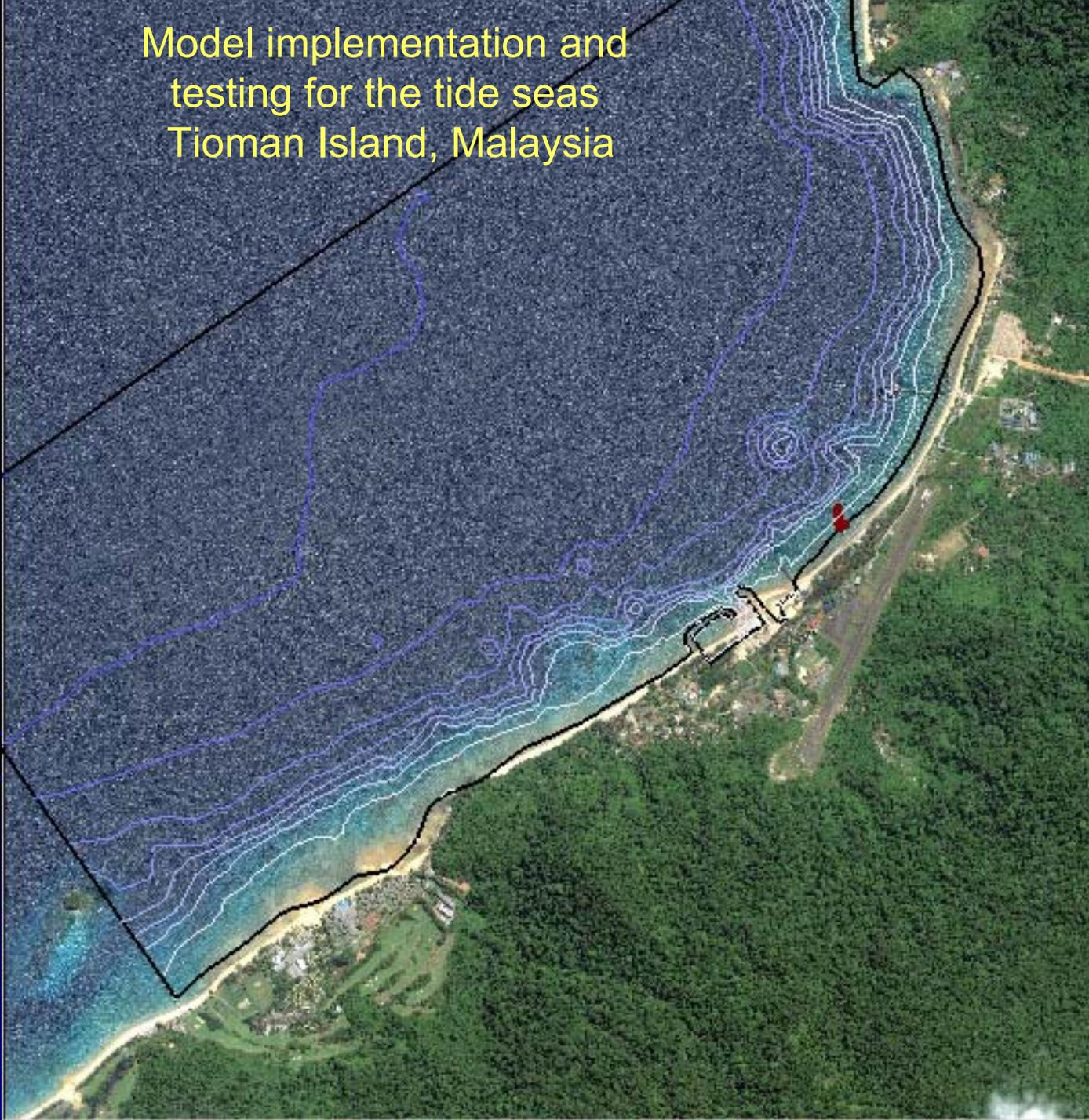
Размещение контрольных точек вдоль канала



Изменение отметок дна в точках вдоль канала: 1) без канала и дамбы, 2) с каналом и без дамбы, 3) с каналом и длинной дамбой



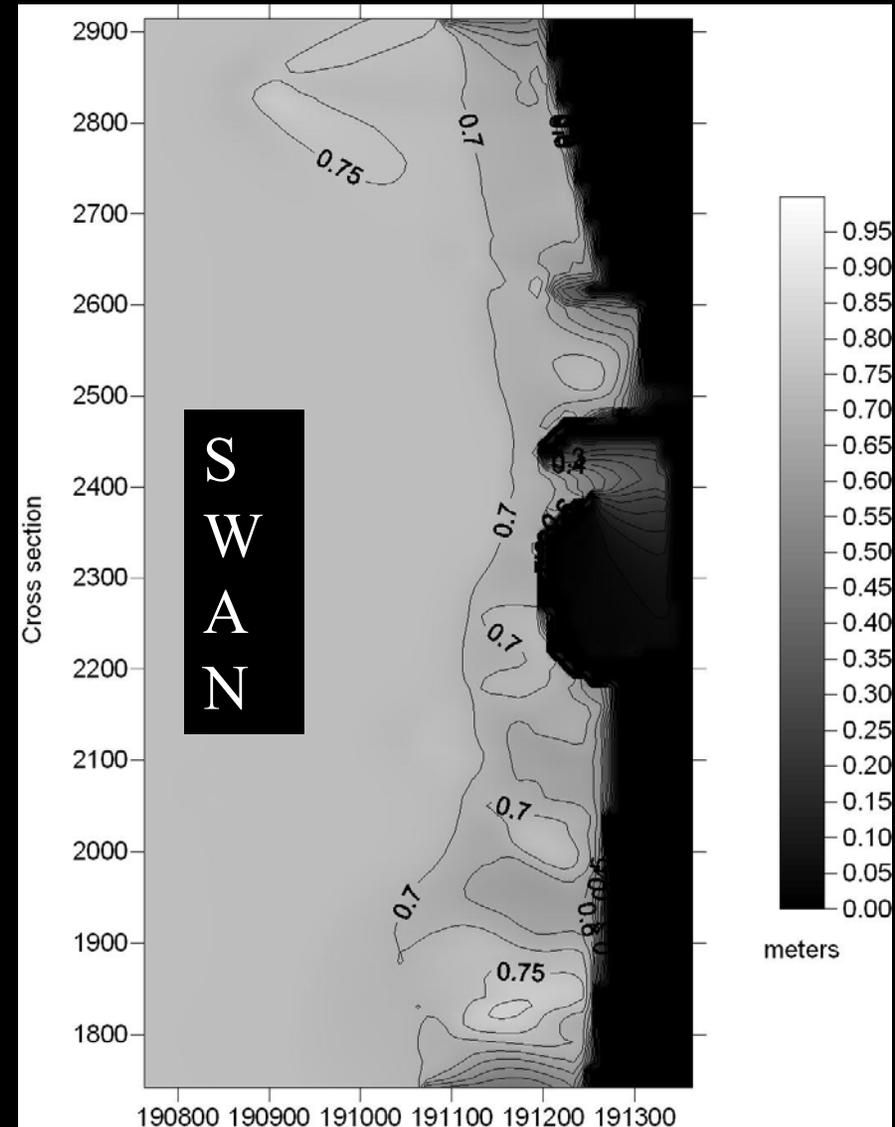
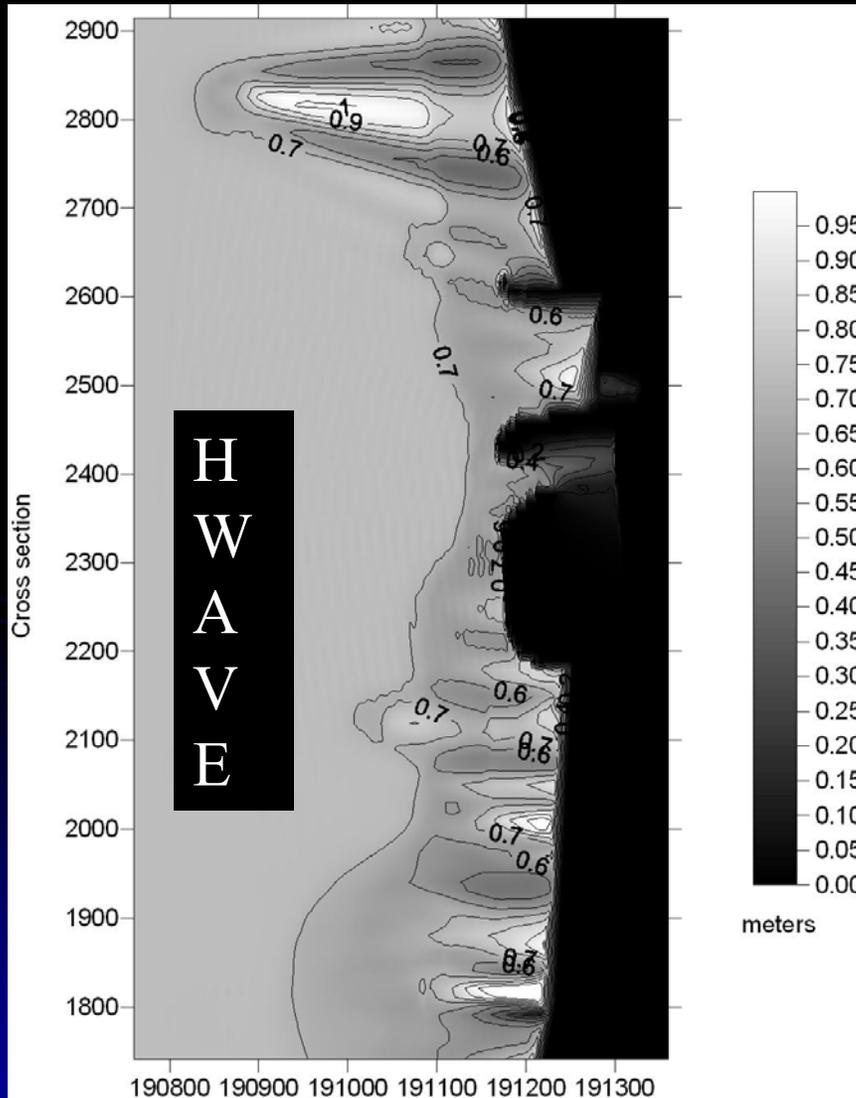
Model implementation and testing for the tide seas
Tioman Island, Malaysia

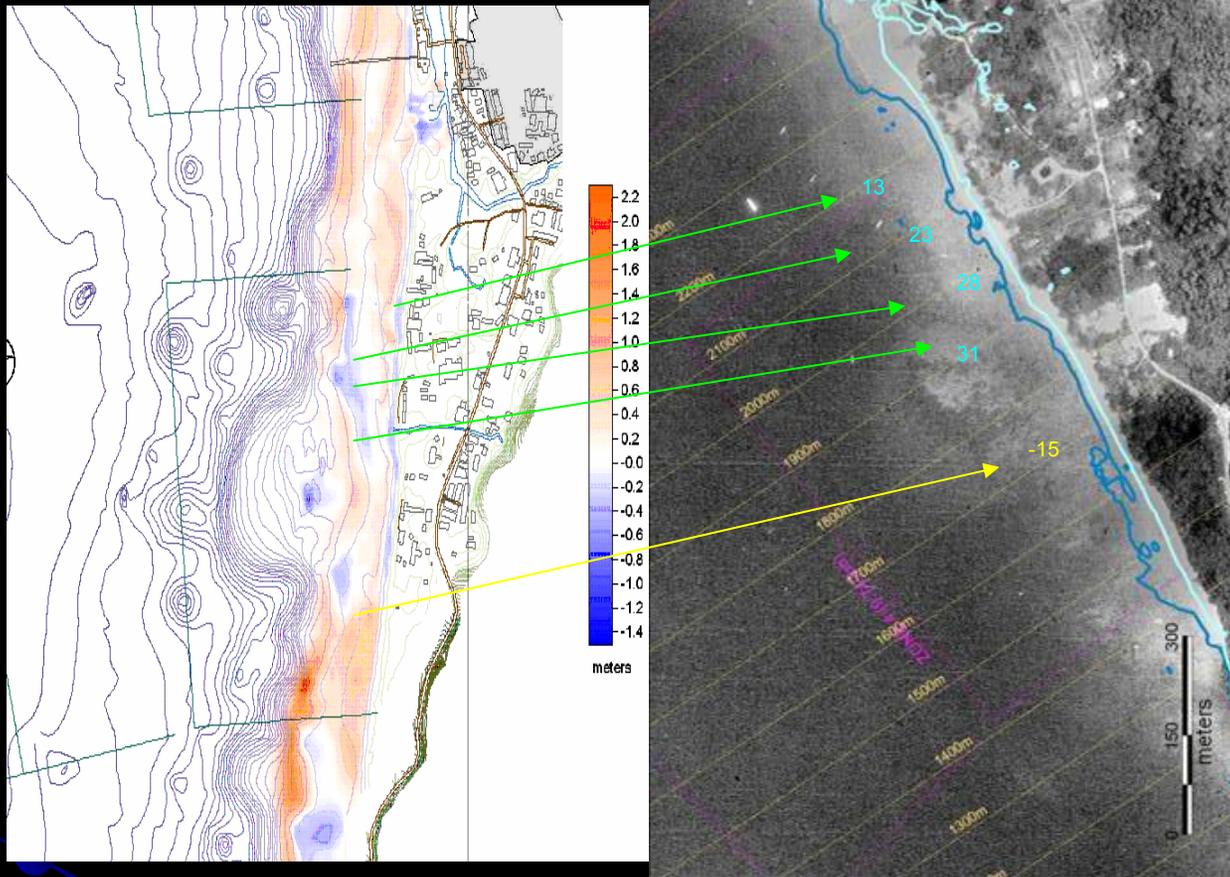


Nearshore wave transformation in Marina area

UCEWP HWAVE – refraction – diffraction mild slope equation model (similar to MIKE21-EMS)

Incoming wave hw=0.74m, T=4.2s, direction=355°.

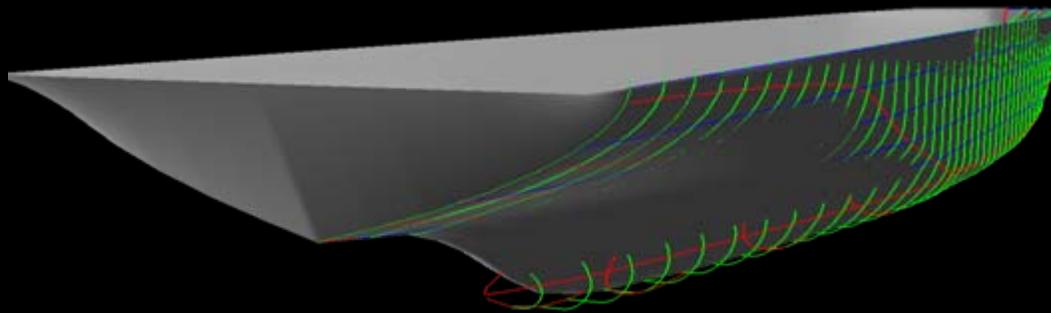
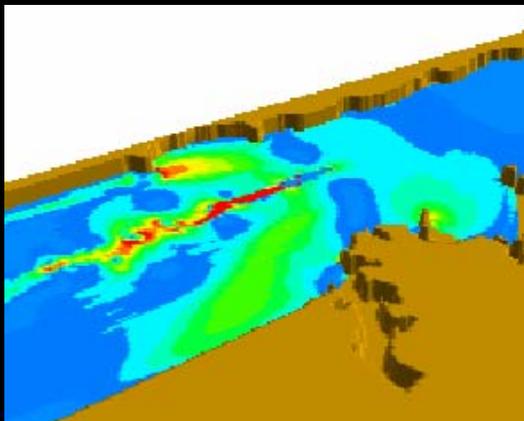




3 year simulation of morphodynamics under joint actions of waves and currents, comparison with 15 years changes of coastline from satellite picture . Proper simulation of the zones of erosion (blue) and deposition (yellow)

Моделирование корабельных волн с использованием уравнений мелкой воды и уравнений Буссинеска

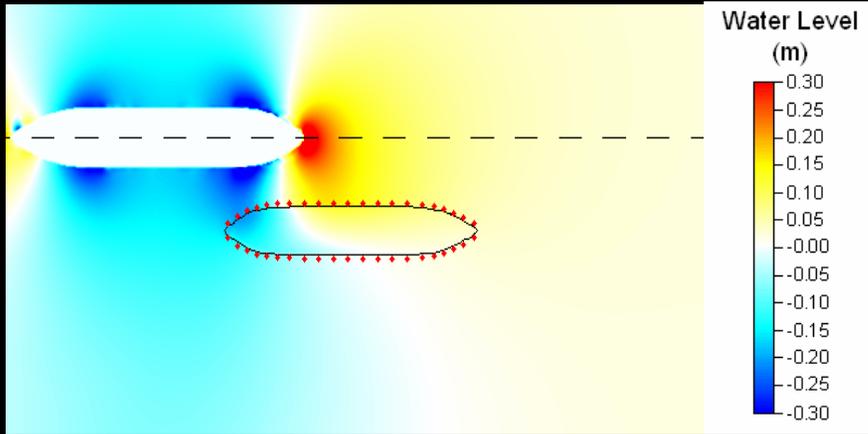
BOUSSZ



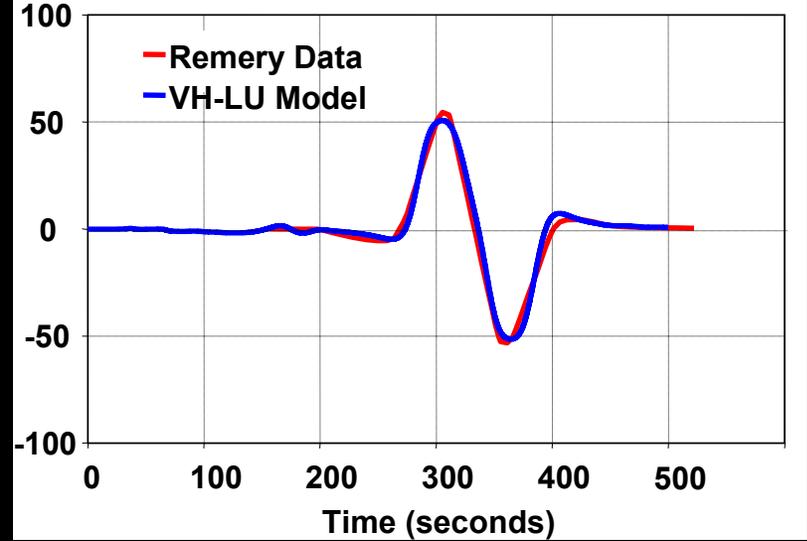
Валидация модели USEWP-BOUSSZ по лабораторным данным

Remery (1974) Test #1

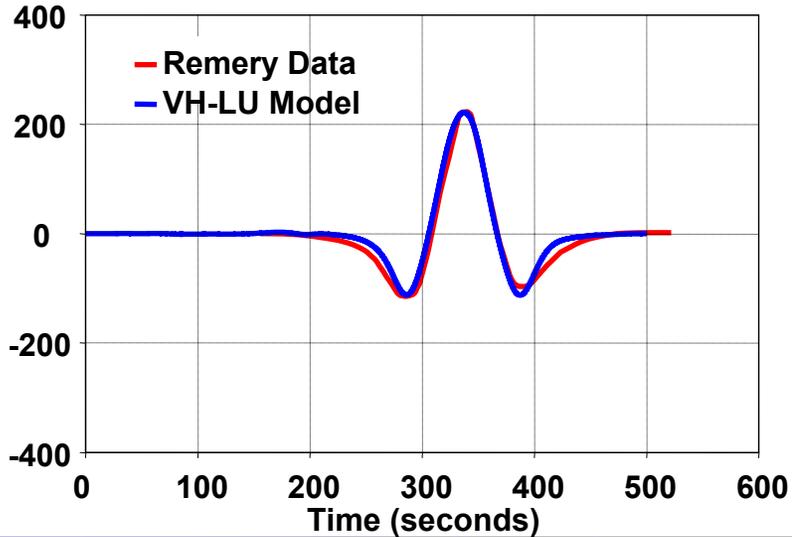
Water level fluctuations



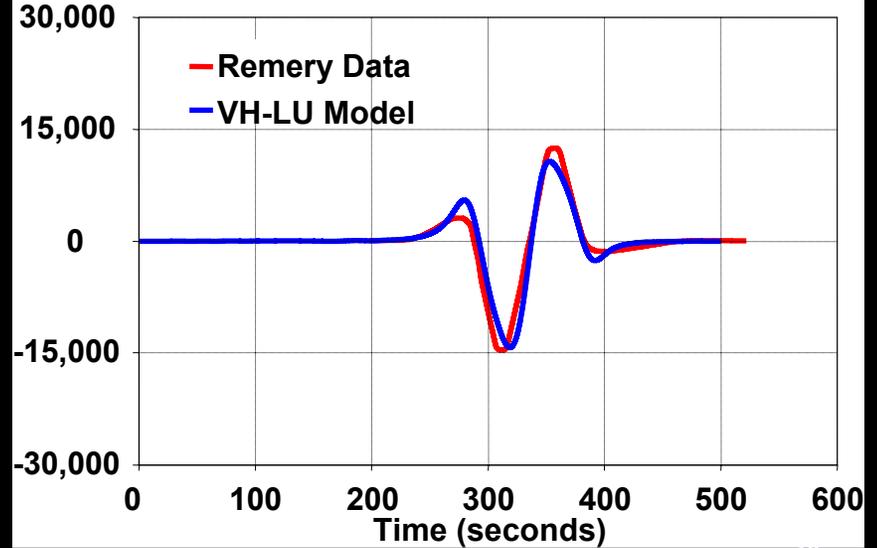
Longitudinal Load (metric tons)



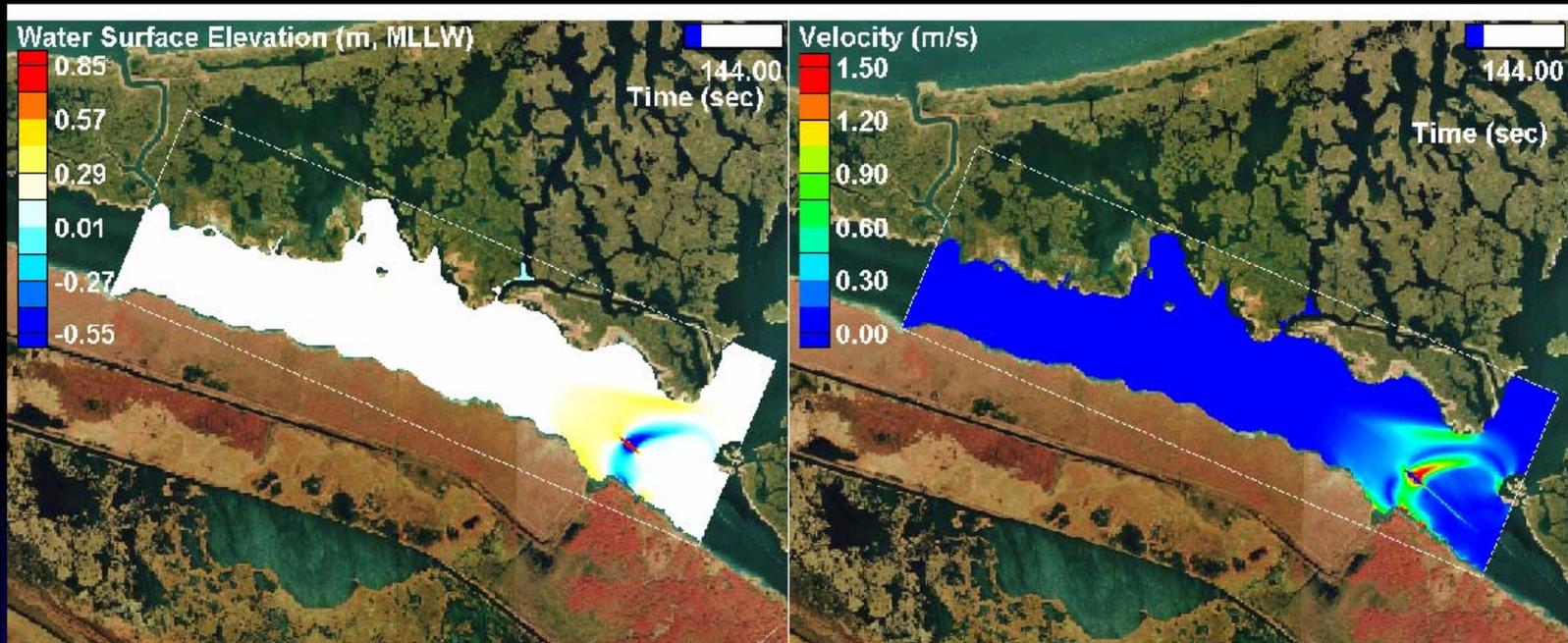
Lateral Load (metric tons)



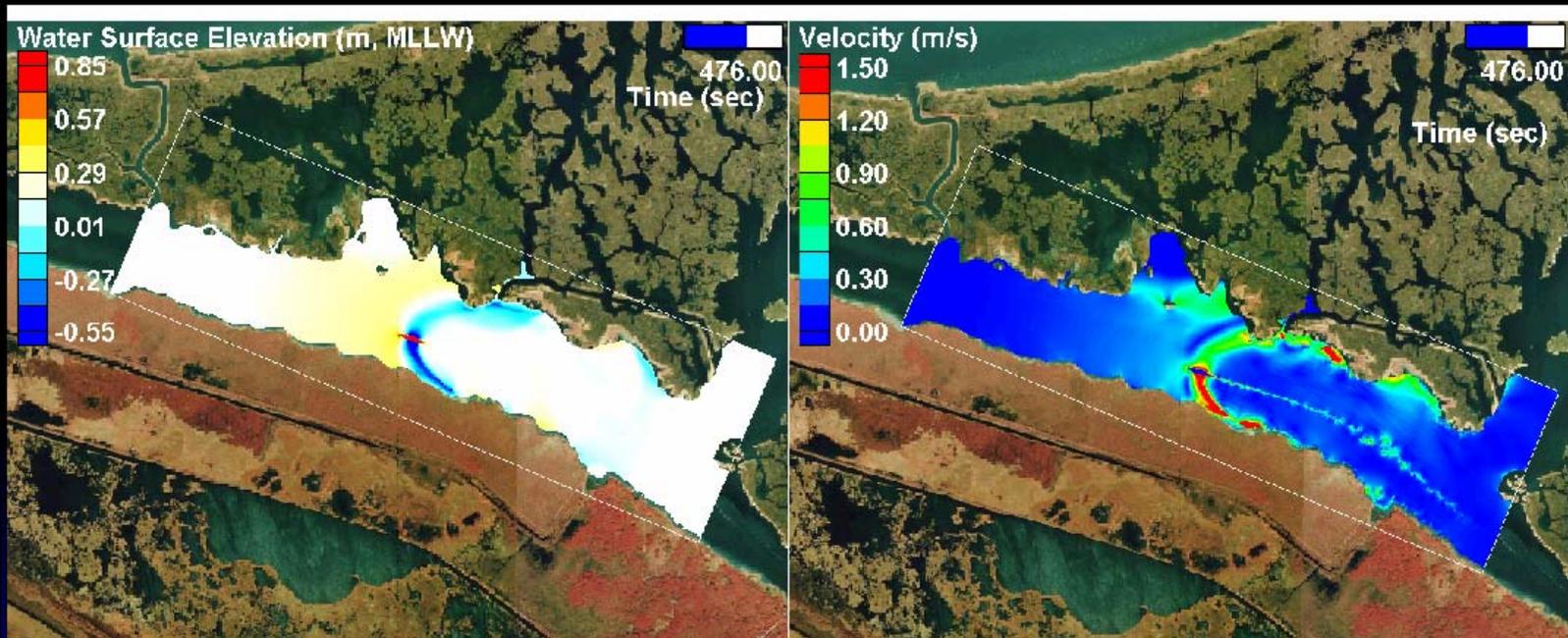
Moment (metric ton-meters)



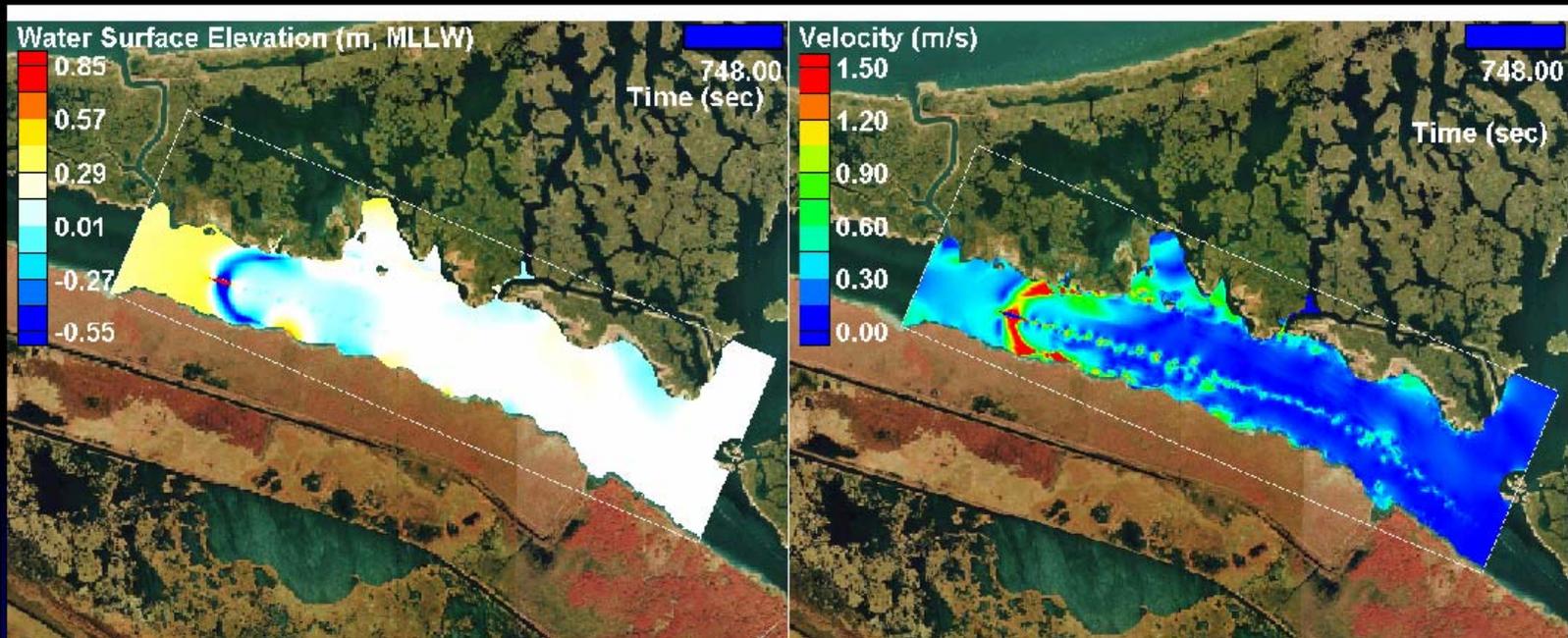
Water Level (left) and Velocity (right) Results from the “TMM Tabasco” at 9.9 knots in the Mississippi River Gulf Outlet, June 6th, 2002.



Water Level (left) and Velocity (right) Results from the “TMM Tabasco” at 9.9 knots in the Mississippi River Gulf Outlet, June 6th, 2002.



Water Level (left) and Velocity (right) Results from the “TMM Tabasco” at 9.9 knots in the Mississippi River Gulf Outlet, June 6th, 2002.



Заключение

Разработанный программный комплекс численного моделирования гидродинамических и литодинамических процессов прибрежной зоны тестирован по лабораторным данным и результатам измерений различных морских объектов.

Результаты применения программного комплекса разработчиком и его партнерами для большого числа задач береговой инженерии показали его эффективность.

По уровню используемых моделей и вычислительных методов разработанный моделирующий комплекс конкурентоспособен в сопоставлении с программными продуктами ведущих европейских и американских центров.