

**БАЗЫ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ
ДАННЫХ И ЗНАНИЙ
КАК ОСНОВА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
ИЗМЕНЧИВОСТИ УРОВНЯ
ЧЕРНОГО И СРЕДИЗЕМНОГО МОРей**

А. М. Суворов, А. В. Ингеров

Морской гидрофизический институт
НАН Украины

г. Севастополь, ул. Капитанская, 2.
e-mail: suvorov@alpha.mhi.iuf.net

При решении различных научных и практических задач возникает необходимость получения исторической, оперативной и прогностической информации о качественных и количественных характеристиках изменчивости уровня моря. Поскольку эта изменчивость характеризуется широким временным и пространственным спектрами, необходимы учет значительного числа факторов, формирующих ее в различных пространственно - временных диапазонах, анализ имеющихся рядов наблюдений, использование модельных и статистических подходов для диагностики и составления прогнозов. Для обеспечения потребителей подобной информацией и результатами ее анализа целесообразно применение современных компьютерных информационных систем, основанных на данных и знаниях.

Примером уже существующих систем, предоставляющих данные наблюдений за уровнем моря и программные средства управления ими, может служить информационная система GLOSS (Global Sea Level Observing System)[1] реализованная в рамках одноименного международного проекта, являющегося частью программы GOOS (Global Ocean Observing System). Эта программа была инициирована IOC (International Oceanographic Commission) при участии WMO (World Meteorological Organization). К достоинствам вышеупомянутой

информационной системы можно отнести тщательный отбор уровенных постов, используемых в системе, что обеспечивает высокую надежность получаемых данных, предоставление подробной полезной информации об особенностях осуществления измерений и их обработки, предоставление графической информации о местоположении уровенного поста и временной изменчивости уровня моря по результатам наблюдений. При создании новой системы, первая версия которой описывается ниже, идеи, заложенные в системе GLOSS, могут быть развиты в следующих направлениях:

- расширение возможностей выборки данных (GLOSS позволяет выбирать данные только по уровенным постам, тогда как интерес могут представлять выборки по сезонам, временным интервалам, диапазонам значений уровня моря и пр.);
- обеспечение открытости системы (возможности загрузки пользователем новых данных и их обработки для решения конкретных задач);
- использование унифицированных процедур визуализации и статистической обработки данных (GLOSS работает с заранее заготовленными графическими файлами);
- создание в перспективе базы знаний, включающей в себя иерархически организованные модели для осуществления диагноза и прогноза изменений уровня моря (от простых, дающих качественные оценки, до более точных и сложных, целесообразность применения которых определяется в процессе расчетов по простым моделям для уточнения полученных результатов), для проработки разнообразных сценариев изменения уровня моря в

- зависимости от различных факторов;
 - выдача экспертных оценок и рекомендаций на основе полученных прогнозов (в частности оценка подтопления прибрежных территорий и классификация их по степени опасности изменения уровня моря для данных участков побережья).
- Для решения перечисленных задач необходимо:

- создать базу данных наблюдений за уровнем моря, структура и формат хранения данных в которой обеспечивали бы выполнение любых запросов, касающихся выборки данных и соответствующих их характеру;
- создать вспомогательную базу данных, содержащую информацию, необходимую для модельных расчетов и оценок (рельеф приморской части суши, рельеф дна бассейнов и пр.);
- формализовать ввод новых данных для обеспечения открытости системы;
- создать базу знаний, включающую модели и методики, позволяющие осуществлять диагноз и прогноз изменений уровня моря и обеспечивающие выдачу экспертных оценок и рекомендаций;
- создать подсистему управления данными и знаниями.

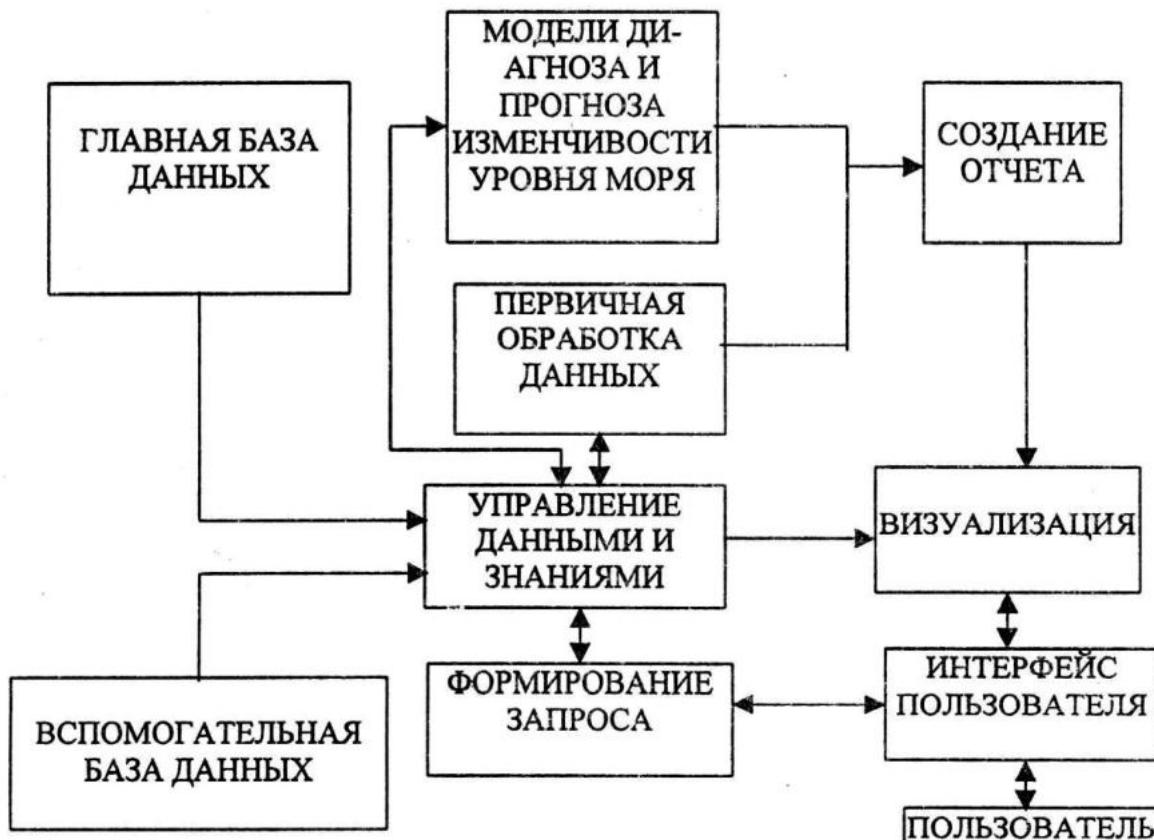


Рисунок1. Структурная схема информационно - аналитической системы уровня моря

В описанной далее информационно - аналитической системе уровня моря, структура которой приведена на рис.1,

учтены изложенные выше направления развития подобных разработок. Система условно делится на два взаимодействующих блока:

вующих блока – информационный блок, реализующий стандартные функции ский и спектральный анализ, осреднение и низкочастотную фильтрацию, и блок знаний, включающий модели диагноза и прогноза изменчивости уровня моря.

База данных построена на основе массива среднемесячных и среднегодовых значений уровня моря для Черноморского и Средиземноморского бассейна [2].

Информационный блок обеспечивает выборку данных, как визуальную, так и с использованием языка SQL, а также обработку и анализ данных.

Примеры выборки данных и получения отчетов в табличной и графической формах приведены на рис. 2 (визуальный выбор уровенных постов), рис. 3 (окно редактора SQL – запросов), рис. 4 (табличный отчет) и рис. 5 (вывод графической информации - в данном режиме периодограммы и спектра, графика межгодовой изменчивости с аппроксимацией по методу наименьших квадратов, скользящим осреднением и низкочастотной фильтрацией).

Блок знаний включает методики и модели диагноза и прогноза изменений уровня моря вызванных

- сейсмическими воздействиями (волны цунами);
- глобальными изменениями климата;
- солнечно-нагонными явлениями;
- приливными явлениями;
- сейшевыми колебаниями.

Первая версия блока базы знаний на данном этапе включает в себя три модели:

- лучевую модель для оценки изменений уровня моря, вызванных сейсмическими возмущениями;
- модель длинных волн в двумерном ограниченном бассейне, построен-

приложения баз данных, а также их статистиче-

ную на основе системы уравнений гидродинамики в приближении мелкой воды; модель позволяет вычислять изменения уровня моря, вызванные как атмосферными возмущениями так и начальными смещениями уровня (для исследования цунами).

- модель климатических изменений уровня моря, обусловленных глобальным потеплением, вызывающим в свою очередь таяние ледников и сток дополнительных вод в Мировой океан, а также объемное расширение воды в поверхностном слое.

Одним из факторов изменения уровня моря являются длинные поверхностные волны, вызванные сейсмическими возмущениями, т.е. цунами. Исторические примеры цунами для средиземноморского и черноморского бассейнов свидетельствуют о существенной опасности, а иногда и катастрофических последствиях цунами для приморских территорий. Лучевая модель распространения волн цунами [3], реализованная в системе, дает наиболее простой и эффективный способ изучения закономерностей распространения цунами в море с учетом реального рельефа дна. Она позволяет оценивать время добегания волны до различных участков побережья, конфигурацию фронта волны и ее амплитуду. Расчеты на основе модели дают возможность построить карты распространения волн цунами в виде лучей или изохрон и получить оценки изменения амплитуды по ходу распространения волны от эпицентра к берегу. При этом расчеты карт могут быть проведены как для точечных и так и для распределенных источников возмущений.

Лучевая модель включает систему обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} dx/dt &= C(x, y) \cos(\theta), \\ C_y(x, y) \cos(\theta), \end{aligned} \quad (1)$$

с начальными условиями

$$x(0) = x_0; y(0) = y_0; \theta(0) = \theta_0; \quad (4)$$

Здесь $x(t)$, $y(t)$ - горизонтальные координаты точек на луче в момент времени t ,

$\theta(t)$ - угол наклона касательной к оси ОХ в точке луча (x, y) , C - локальная фазовая скорость поверхностных волн, определяемая из соотношения:

$$C = (g H(x, y))^{1/2}, \quad (5)$$

где g - ускорение свободного падения, H - переменная глубина бассейна [3, 4].

Примеры карт распространения волны цунами построенных на основе лучевой модели, для Черного и Средиземного морей приведены на рисунках 6 и 7. На рис. 8 представлены оценки времени добегания волны цунами до некоторых населенных пунктов черноморского побережья для случая расположения источника цунами, приведенного на рис. 6.

В подсистему базы знаний входит так же гидродинамическая модель [5], позволяющая вычислять изменения уровня моря, вызванные движущимися атмосферными циклонами, которые как известно являются характерной особенностью атмосферных процессов над районами Черного и Средиземного морей]. Эта модель включает следующую систему уравнений мелкой воды:

$$U_t + g H \zeta_x - f V = -H P_x \rho^{-1} + \rho^{-1}(\tau_1^w - \tau_1^h), \quad (9)$$

$$V_t + g H \zeta_y + f U = -H P_y \rho^{-1} + \rho^{-1}(\tau_2^w - \tau_2^h), \quad (10)$$

$$\zeta_t = -U_x - V, \quad (11)$$

$$dy/dt = C(x, y) \sin(\theta), \quad (2)$$

$$d\theta/dt = C_x(x, y) \sin(\theta) -$$

граничное условие равенства нулю нормальной составляющей вектора полного потока на границе бассейна:

$$U_n|_{\Gamma=0} = 0, \quad (12)$$

и начальные условия:

$$\begin{aligned} U(x, y, 0) &= 0, V(x, y, 0) = 0, \\ \zeta(x, y, 0) &= 0, P(x, y, 0) = 0, \end{aligned} \quad (13)$$

здесь $U(x, y, t)$, $V(x, y, t)$ проекции вектора полного потока жидкости на горизонтальные оси ОХ и ОY соответственно; $\zeta(x, y, t)$ - отклонение уровня жидкости от невозмущенного состояния, $P(x, y, t)$ - возмущение атмосферного давления, ρ - плотность жидкости, индексы t , x , y означают дифференцирование по соответствующей переменной; f - параметр Кориолиса, τ_1^w , τ_2^w - проекции касательного напряжения ветра на оси ОХ и ОY, τ_1^h , τ_2^h - проекции напряжения придонного трения.

На основе этой же системы уравнений (9) – (11) можно исследовать изменение уровня моря, вызванные прохождением волны цунами. При этом ветровые напряжения в (9), (10) полагаются равными нулю, а в (13) задается начальное смещение поверхности моря, вызванное подвижками дна бассейна. Примеры результатов расчетов эволюции поля уровня моря, вызванного начальным смещением поверхности моря, приведены на рис. 9, 10. Оценки подтопления отдельных участков побережья Черного моря в связи с климатическими изменениями уровня [6] проводились нами ранее [7].

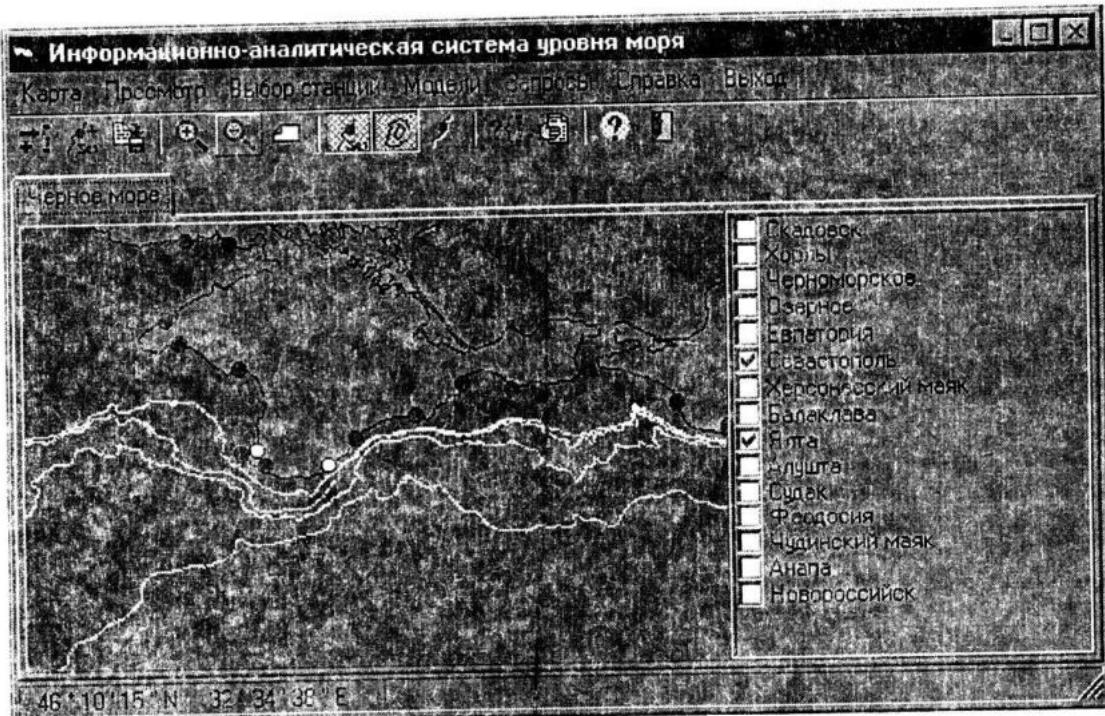


Рисунок 2. Визуальный выбор поста

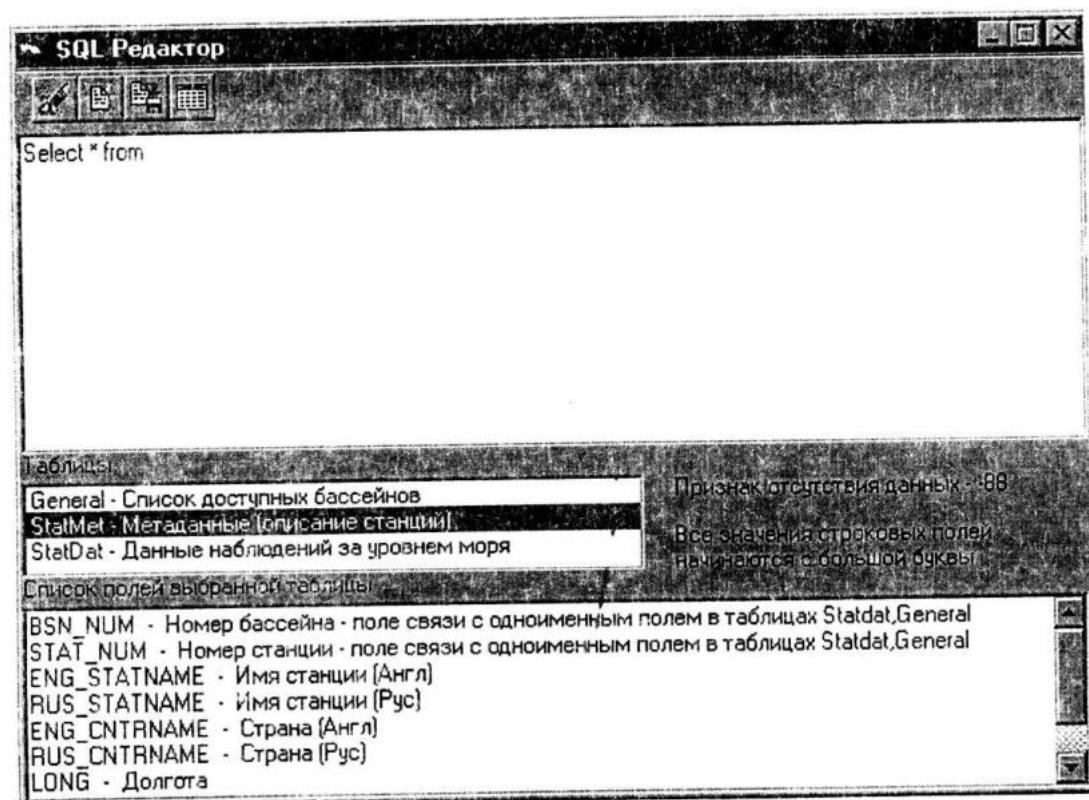


Рисунок 3. SQL - редактор

Отчет

Графики Сохранить

Уровенный пост Ялта

| год | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Среднее за год |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|----------------|
| 1927 | 465 | 467 | 462 | 470 | 473 | 475 | 472 | 471 | 466 | 463 | 460 | 464 | 467 |
| 1928 | 463 | 464 | 457 | 452 | 470 | 476 | 474 | 461 | 458 | 454 | 456 | 469 | 464 |
| 1929 | 467 | 461 | 454 | 458 | 472 | 480 | 478 | 474 | 465 | 459 | 462 | 462 | 466 |
| 1930 | 457 | 458 | 456 | 463 | 474 | 475 | 472 | 468 | 462 | 460 | 461 | 467 | 464 |
| 1931 | 470 | 474 | 478 | 479 | 484 | 490 | 493 | 484 | 471 | 466 | 469 | 466 | 477 |
| 1932 | 463 | 461 | 461 | 472 | 487 | 492 | 487 | 485 | 472 | 463 | 451 | 458 | 472 |
| 1933 | 452 | 457 | 459 | 464 | 474 | 477 | 484 | 477 | 468 | 468 | 476 | 478 | 470 |
| 1934 | 475 | 466 | 463 | 459 | 473 | 470 | 470 | 472 | 471 | 463 | 460 | 459 | 468 |
| 1935 | 460 | 463 | 467 | 459 | 475 | 476 | 469 | 464 | 457 | 456 | 466 | 469 | 466 |
| 1936 | 473 | 482 | 483 | 483 | 488 | 488 | 490 | 479 | 463 | 467 | 472 | 475 | 479 |
| 1937 | 468 | 472 | 476 | 483 | 485 | 482 | 477 | 472 | 471 | 472 | 470 | 480 | 478 |
| 1938 | 485 | 481 | 473 | 475 | 481 | 483 | 482 | 477 | 471 | 462 | 461 | 464 | 474 |
| 1939 | 472 | 472 | 467 | 470 | 475 | 479 | 483 | 484 | 476 | 473 | 473 | 477 | 475 |

Рисунок 4 Табличный отчет

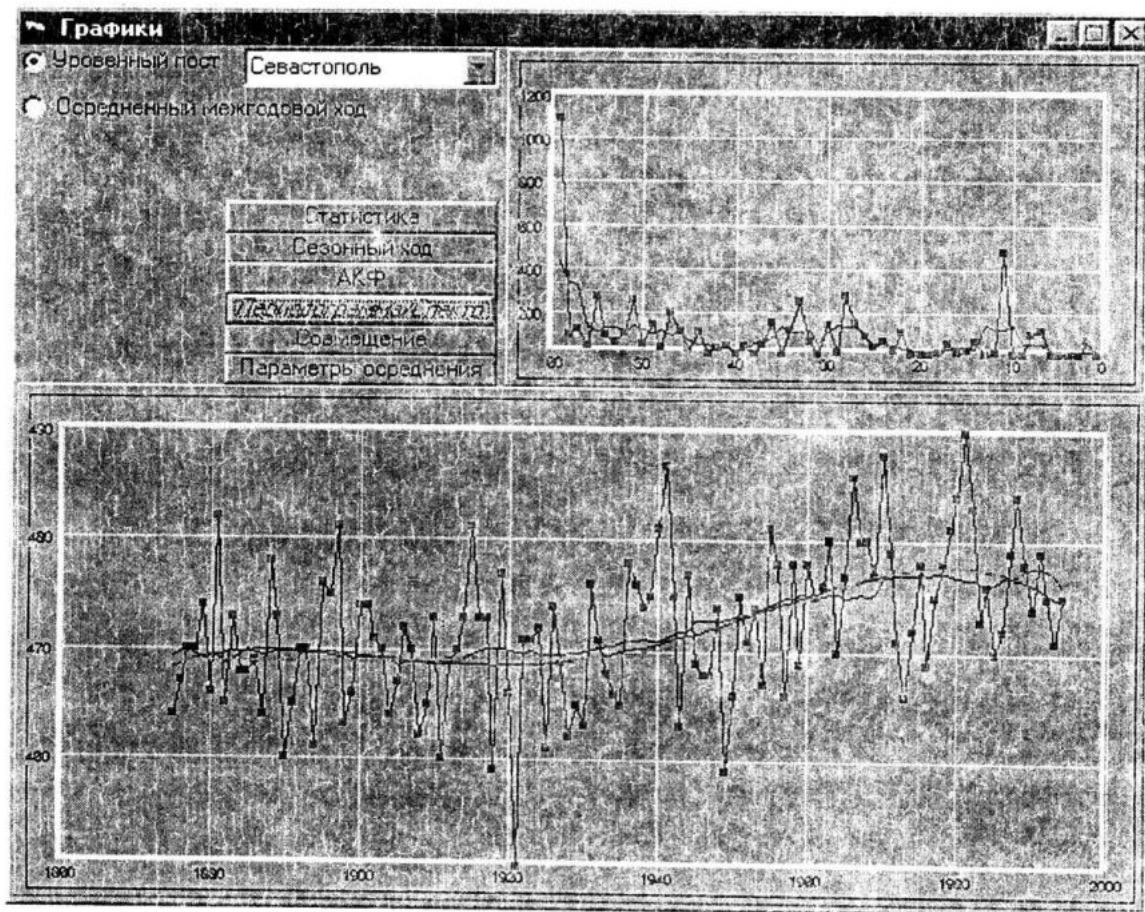


Рисунок 5. Графическая форма отчета

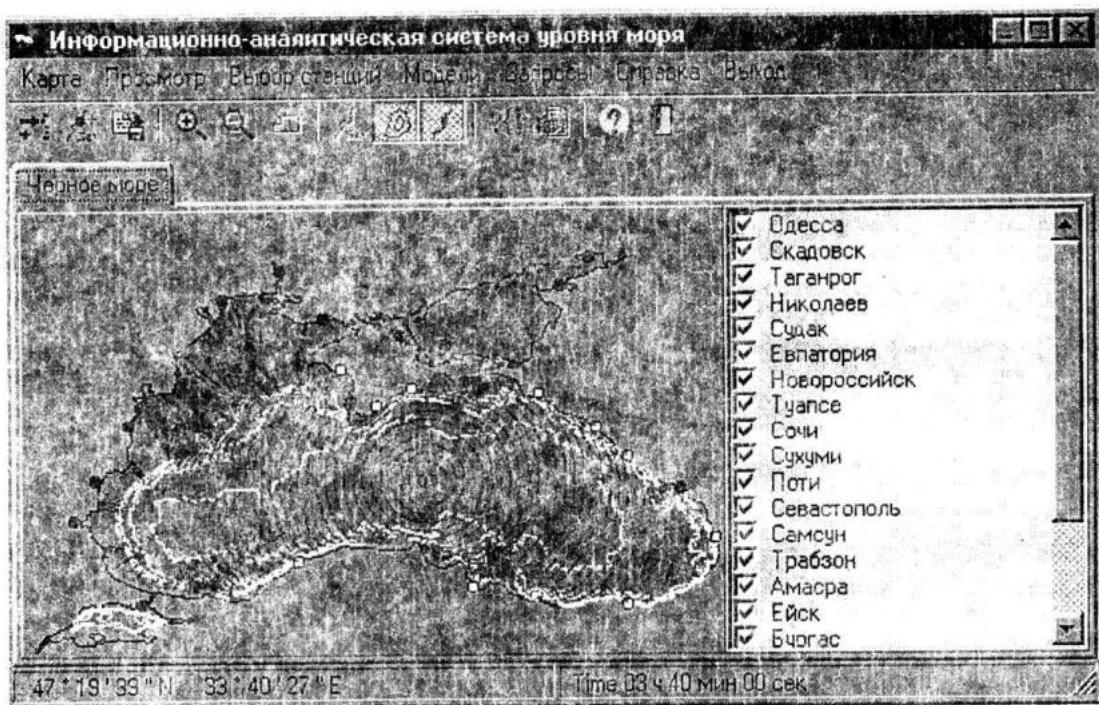


Рисунок 6. Карта распространения волны цунами (лучевая модель, Черное море)

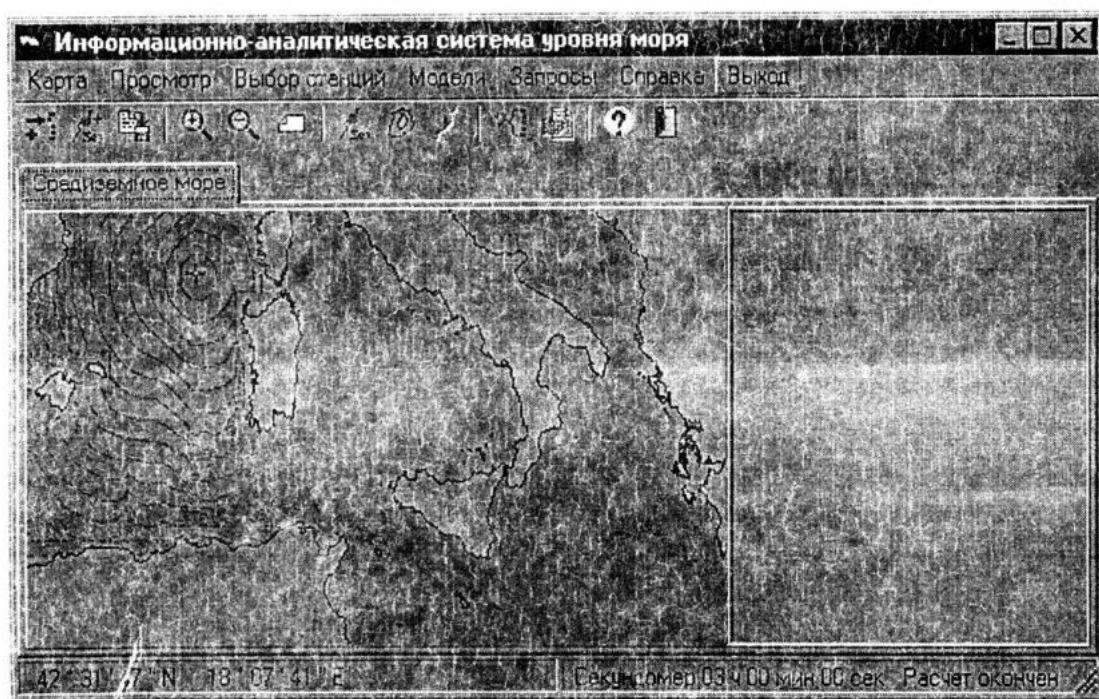


Рисунок 7. Карта распространения волны цунами
(лучевая модель, Средиземное море)

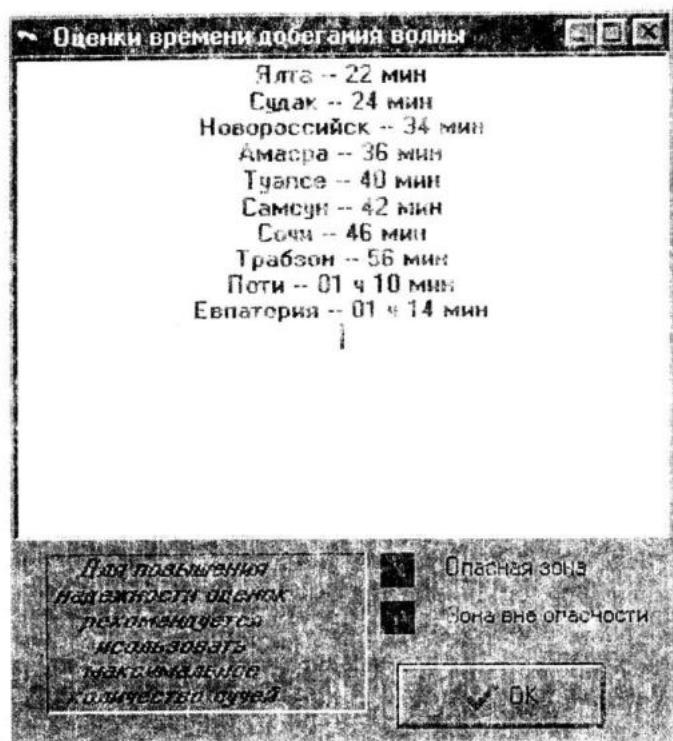


Рисунок 8. Оценки времени добегания волны цунами до населенных пунктов.

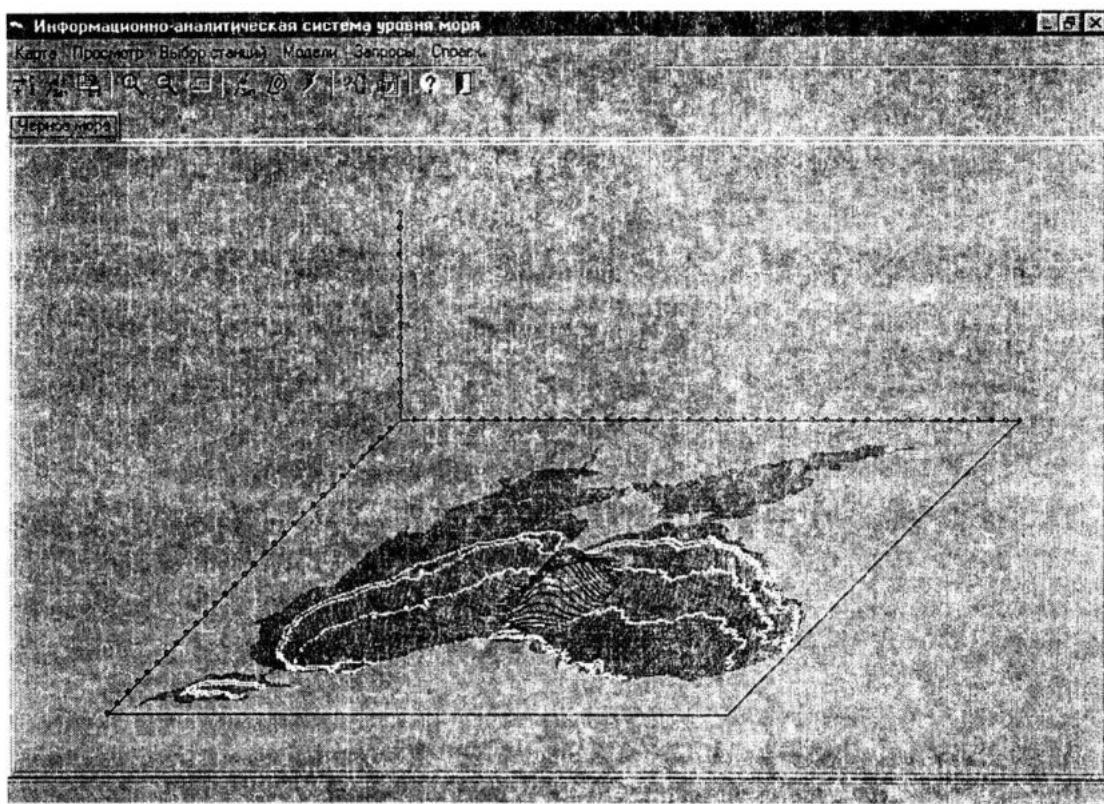


Рисунок 9. Начальное смещение поверхности
(гидродинамическая модель, Черное море)

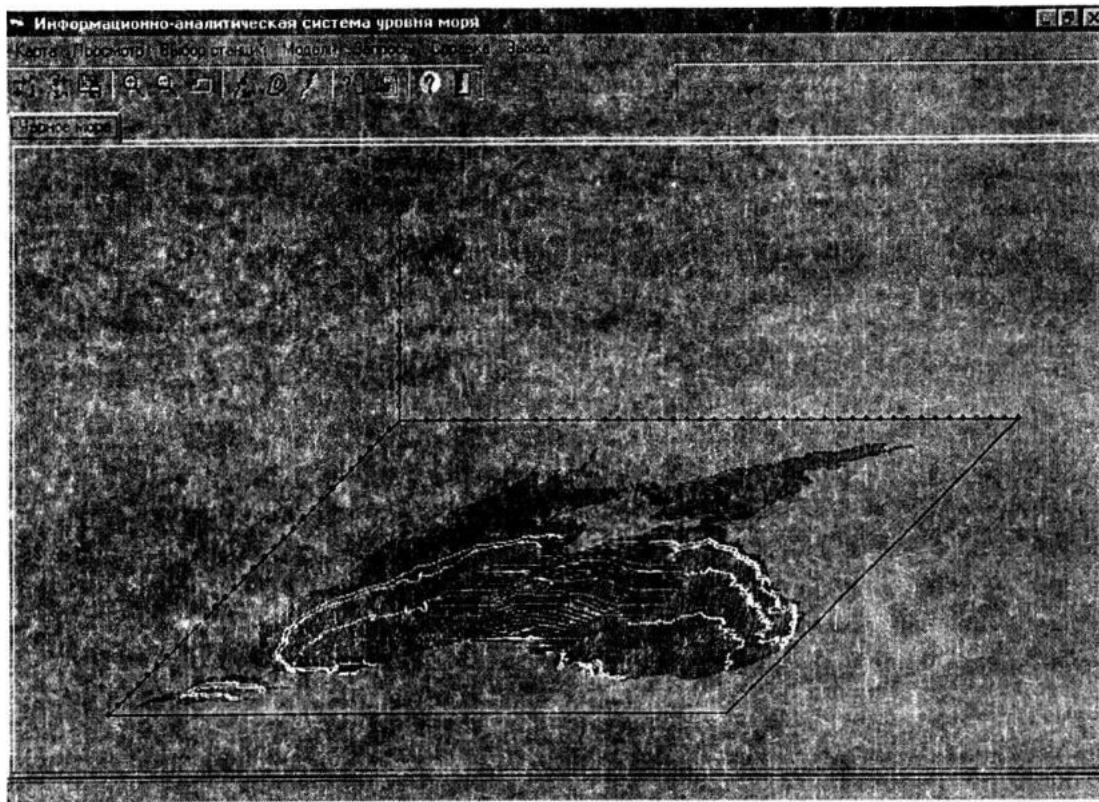


Рисунок 10. Распространение волны цунами
(гидродинамическая модель, Черное море)

ЛИТЕРАТУРА

1. [http://www.nbi.ac.uk/psmsl/
sea_level.html](http://www.nbi.ac.uk/psmsl/sea_level.html).
2. Каталог наблюдений за уровнем Черного и Азовского морей п/р Победоносцева С. В., Зотина М. И., 1990 г.
3. Доценко С.Ф. Черноморские цунами. Изв. АН РАН, ФАО, 1984, т.30, N 4.
4. Алешков Ю. З. Теория волн на поверхности тяжелой жидкости. Л.: Изд - во ЛГУ, 1981г.
5. Коновалов А.В., Черкесов Л. В. Моделирование баротропных длинных волн в Черном море, вызываемых движущимися барическими возмущениями // Труды конференции "Проблемы Черного моря". - Севастополь: МГИ 1992.- С. 145.
6. Hoffman J. D. at all, Projecting future sea-level rise: Meiheorology Estimates to the Year 2100 and research needs, 2-nd rev-d U.S. GRO, Washington, 1993
7. Суворов А. М., Ингеров А.В. Информационная система уровня Черного моря. Системы контроля окружающей среды: Сб. научн. тр./НАН Украины. МГИ: Редкол. Гайский В.А.(отв. ред.) и др. - Севастополь, 1998г.