

**Г.К. Коротаев¹, Ю.Б. Ратнер¹, Т.М. Баянкина¹, М.В. Иванчик¹, М.В. Мартынов¹,
Н.В. Инюшина¹, С.Ф. Пряжина¹, А.И. Кубряков¹, В.М. Бурдюгов¹, Е.П. Давыдова¹,
М.В. Шокуров¹, В.С. Барабанов¹, В.Н. Сытов², Ю.И. Попов², Ю.О. Паламарчук²,
И.Н. Неверовский², Л.А. Савтер², В.В. Украинский², М.А. Щоголева²**

¹ Морской гидрофизический институт НАН Украины, Севастополь

² Гидрометеорологический центр Азовского и Черного морей, Одесса

НАЦИОНАЛЬНЫЙ МОДУЛЬ ЧЕРНОМОРСКИХ ПРОГНОЗОВ КАК ЭЛЕМЕНТ ЕВРОПЕЙСКОЙ СИСТЕМЫ



Разработана автоматизированная система диагноза и прогноза состояния акватории Черного моря. Приведены иллюстративные примеры результатов работы системы и сведения о достоверности численных прогнозов, выполненных в сентябре–ноябре 2010 года.

Ключевые слова: автоматизированная система, численные прогнозы, спутниковые данные, приподный слой атмосферы, скорость течений, соленость, температура, уровень моря.

Глобальные изменения климата и возрастание антропогенной нагрузки на акваторию Черного моря в последние десятилетия сопровождаются целым спектром негативных явлений, влияющих на комплекс процессов естественного функционирования морской среды в целом и на хозяйственную деятельность в регионе в частности. Усиливается вероятность возникновения опасных и особо опасных стихийных гидрометеорологических явлений и крупных техногенных катастроф. Одним из основных направлений предупреждения и снижения неблагоприятных последствий подобных явлений является развитие новых технологий и систем контроля состояния морской среды.

Развитием тематического мониторинга в интересах широкого круга пользователей является программа Глобального мониторинга окружающей среды и безопасности (ГМЕС), рассматриваемая Европейским Союзом как базовый европейский компонент программы ГЕО. В качестве основного инструмента мониторинга и прогноза состояния окружающей среды в рамках программы ГМЕС рассматриваются создаваемые в настоящее время базовые службы, ориентированные на широкую группу пользователей и производящие оперативную информацию, необходимую для решения множества прикладных задач. Первым шагом к организации на Черном море региональных систем морского прогноза, рассматриваемых как элементы единого Черноморского модуля ГСНО (Глобальная система наблюдения океана), послужил консорциум научно-исследовательских и оперативно-прогностических организаций Болгарии, Грузии, России, Румынии, Турции и Украины. Под эгидой Межправительственной

© Г.К. КОРОТАЕВ, Ю.Б. РАТНЕР, Т.М. БАЯНКИНА,
М.В. ИВАНЧИК, М.В. МАРТЫНОВ, Н.В. ИНЮШИНА,
С.Ф. ПРЯЖИНА, А.И. КУБРЯКОВ, В.М. БУРДЮГОВ,
Е.П. ДАВЫДОВА, М.В. ШОКУРОВ, В.С. БАРАБАНОВ,
В.Н. СЫТОВ, Ю.И. ПОПОВ, Ю.О. ПАЛАМАРЧУК,
И.Н. НЕВЕРОВСКИЙ, Л.А. САВТЕР, В.В. УКРАИНСКИЙ,
М.А. ЩОГОЛЕВА, 2012

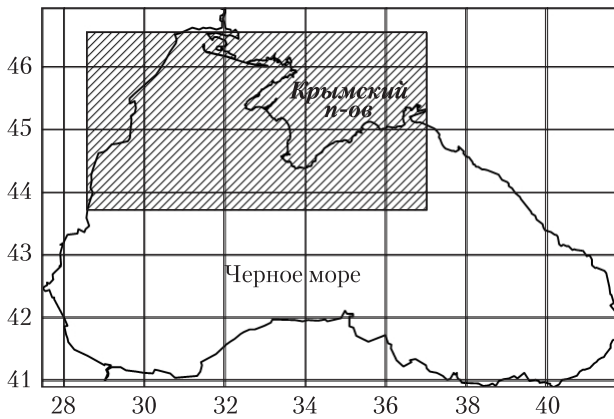


Рис. 1. Район локального прогноза для Украины

океанографической комиссии (МОК) ЮНЕСКО и на средства Комиссии Европейских Сообществ были выполнены проекты ARENA (2003–2006 гг.) и ASCABOS (2006–2008 гг.), которые стимулировали развитие оперативной океанологии в регионе Черного моря и внесли вклад в создание устойчивой европейской морской оперативной системы наблюдений и прогноза. Прогнозы состояния морской среды проводятся с использованием современных компьютеров, численных моделей океанических процессов и методов ассимиляции (сопоставления) наблюдений. Такие системы дают возможность оптимальным образом интегрировать разнородные измерения и представлять в удобной форме непрерывную эволюцию морской среды с достаточно высокой точностью. Созданная в Морском гидрофизическом институте (МГИ) НАН Украины система диагноза и прогноза динамики Черного моря базируется на многолетнем опыте и результатах исследований в областях спутниковой гидрофизики, информационных технологий, моделирования сложных систем. Принимались также во внимание результаты участия в различных международных (ARENA, ЕСООР, MyOcean и др.) и национальных («Оперативная океанография», «Методика», «Мониторинг» и др.) проектах.

В рамках инновационного проекта Президиума НАН Украины «Экспериментальное функ-

ционирование системы морских прогнозов» в 2010 г. в МГИ НАН Украины для бассейна Черного моря и экономической зоны Украины была разработана и успешно функционирует система диагноза и прогноза температуры, солености и скорости течений. В районе, включающем экономическую зону Украины, диагноз и прогноз гидрофизических полей выполняется с более высоким (в 5 раз) пространственным разрешением.

Соисполнители данного проекта — Гидрометеорологический центр Черного и Азовского морей (ГМЦ ЧАМ, г. Одесса) и Морское отделение Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института (МО УкрНИГМИ, г. Севастополь). В рамках проекта была осуществлена интеграция системы подготовки информации для сопоставления исходных данных, используемых для выполнения прогнозов, и самих результатов морских прогнозов с данными наблюдений метеостанций, расположенных вдоль прибрежной полосы экономической зоны Украины. В ходе выполнения работ были подготовлены задания управления вычислительным процессом обработки исходных данных, используемых для сопоставления, которые подключены к действующей системе морских прогнозов МГИ НАН Украины. Объект исследования — район акватории Черного моря, включающий экономическую зону Украины, — изображен на рис. 1.

ОСОБЕННОСТИ И ПРОБЛЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ В ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНАХ

Прибрежные районы нельзя рассматривать вне связи с открытыми прилегающими областями моря. Однако существенный прогресс в компьютерных технологиях в настоящее время все же не позволяет пока построить модель общей циркуляции моря с достаточно высоким разрешением и разумным временем счета. Выход из этой ситуации — в построении локальных моделей циркуляции, которые позволяют использовать достаточно малые шаги по

пространству, сохраняя приемлемое время расчетов. Специфической особенностью выполнения расчетов в отдельных районах бассейна является наличие жидких границ между рассматриваемым районом и водами остальной части бассейна. Проблема постановки краевых условий на открытых жидких границах области решена путем использования технологии вложенных сеток при построении численной локальной модели. Для решения задачи диагноза и прогноза циркуляции вод в районе, включающем черноморскую экономическую зону Украины, специалисты МГИ НАН Украины использовали океанологическую модель Принстонского Университета (США) — (Princeton Ocean Model POM). Модель адаптировали к физико-географическим особенностям исследуемого района. Для повышения оперативности диагноза и прогноза была создана автоматизированная система подготовки исходных данных для выполнения расчетов. В качестве исходных данных использовали результаты бассейнового диагноза и прогноза циркуляции Черного моря, получаемые в оперативном режиме с помощью региональной (бассейновой) прогностической системы версии V0, функционирующей в Международном Черноморском центре морских прогнозов BS MFC. Данный центр входит в состав Европейской системы центров морских прогнозов. Система создана в рамках Европейского проекта MyOcean (Project №: FP7-SPACE-2007-1) на базе разработок, выполненных в 2003—2008 гг. Она обеспечивает непрерывный диагноз и трехсуточный прогноз температуры, солёности и скорости морских течений. Результаты расчетов с пространственным разрешением ~5 км по горизонтали и 2,5÷2100 м по вертикали выдаются с периодичностью 1 час, записываются в оперативный архив и в дальнейшем используются для расчетов локальных прогнозов с пространственным разрешением 1 км по горизонтали. Кроме гидрологических параметров в оперативный архив также с периодичностью 1 час записываются проинтер-

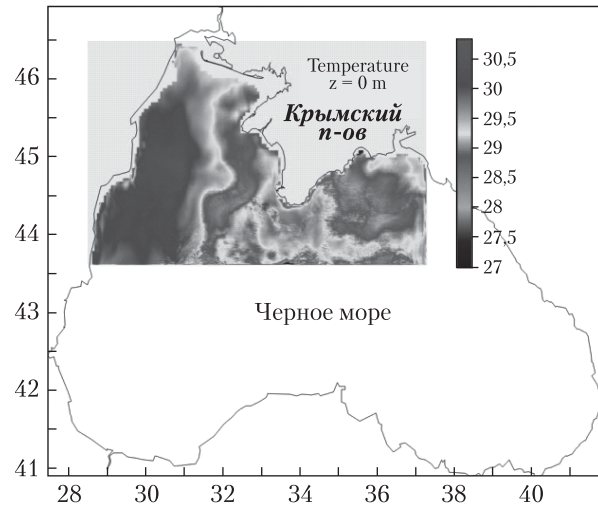


Рис. 2. Пример локального прогноза температуры поверхности моря

полированные по пространству и времени данные атмосферного прогноза, выполненного по атмосферной модели SKIRON, которая создавалась и развивалась в Афинском Университете (Греция) группой атмосферного моделирования и прогноза погоды (Atmospheric Modeling and Weather Forecasting Group). Эти данные обеспечивают возможность полного задания начальных и граничных условий на твердых и жидких границах расчетного района, необходимых для выполнения локальных прогнозов.

Локальные морские прогнозы уровня морской поверхности, а также температуры, солёности и скорости течений на 18-и горизонтах (2,5÷2100 м) в районе, включающем морскую экономическую зону Украины, рассчитываются с пространственным разрешением 1 км по горизонтали. Получаемые результаты записываются в архив выходных данных локальных морских прогнозов с периодичностью 1 раз в 6 часов — соответственно 0; 6; 12 и 18 часов Всемирного координированного времени (UTC). Выбранная периодичность записи обусловлена возможностями хранения и передачи данных. Примеры полученных результатов представлены на рис. 2 и 3.

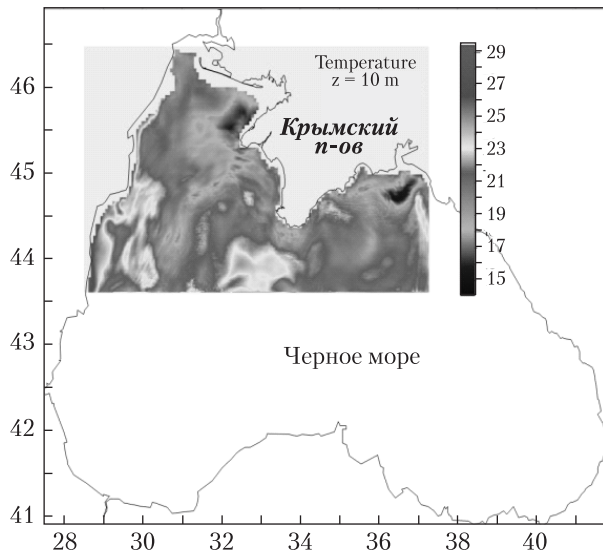


Рис. 3. Пример локального прогноза солености моря

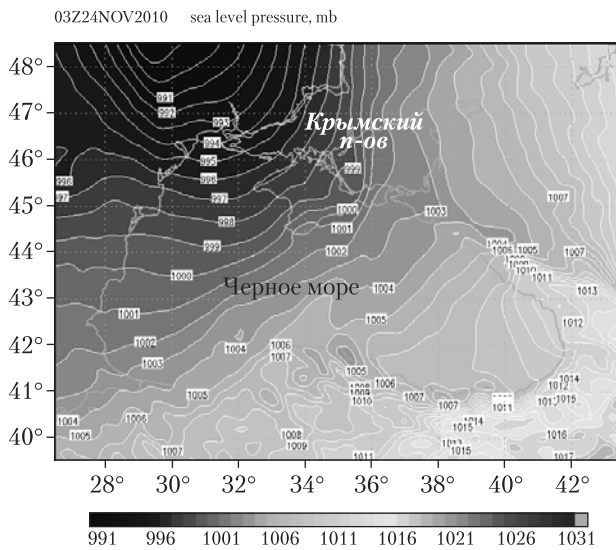


Рис. 4. Прогноз давления на уровне моря на срок 03 UTC (Всемирное координированное время) 24 ноября 2010 г.

В системе «Национальный модуль Черноморских прогнозов как элемент единой Европейской системы» функционирует «Система анализа и прогноза атмосферной циркуляции» для Черного моря, основанная на свободно распространяемой мезомасштабной модели MM5 версии 3.7, адаптированная версия кото-

рой с успехом используется в МГИ НАН Украины в течение ряда лет. Расчетная область данной модели была выбрана специально с целью детального воспроизведения состояния атмосферы над акваторией Черного моря. Для оперативного прогноза на трое суток в качестве начальных и граничных условий используются данные американского массива GFS (Global Forecast System) с исходным разрешением $0,5^\circ$, имеющегося в открытом доступе на сервере nomads.ncep.noaa.gov. В модели MM5 предусмотрена реализация различных схем параметризации подсеточных процессов, выбор которых осуществляется исходя из пространственного разрешения, географического расположения доменов и других особенностей конкретной реализации модели. Детальные сведения о реализованных параметризациях могут быть найдены в документации модели на веб-сайте. Примеры результатов прогноза карты 14 метеопараметров с 3-часовым интервалом ежедневно выставляются на веб-сайте vao.hydrophys.org. Начиная с 01.04.2011 г. работает система прогноза атмосферной циркуляции отдельно для Крыма и расположена на этом же веб-сайте. Использовать прогноз атмосферной циркуляции все желающие могут бесплатно.

На рис. 4 и 5 приведены примеры карт прогноза атмосферной циркуляции.

Результаты расчетов по модели атмосферной циркуляции МГИ НАНУ используются в модели WAM, разработанной WAMDI Group (США) и адаптированной для прогнозирования волнения в заданном районе.

ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ЛОКАЛЬНЫХ МОРСКИХ ПРОГНОЗОВ

Для решения этих задач специалистами МГИ НАН Украины разработана подсистема подготовки данных морских прогнозов для сопоставления с данными наблюдений метеорологических станций, расположенных вдоль прибрежной полосы экономической зоны Украины. Выполнен расчет и проведен анализ достоверности численных прогнозов морского волне-

ния и температуры поверхности моря, созданных с привлечением моделей МГИ НАН Украины, по северо-западному району Черного моря (см. рис. 1). Период исследования составил два месяца (сентябрь—октябрь 2010 г.). Оценка достоверности прогнозов выполнялась заблаговременно от 6 до 72 часов на восьми гидрометеорологических станциях и постах: Одесса (порт), Очаков, Приморское, Усть-Дунайск, Феодосия, Хорли, Черноморское, Ялта.

Выполненный в МГИ НАН Украины сравнительный анализ морских прогнозов и фактических наблюдений на метеорологических станциях ГМЦ ЧАМ показал, что прогнозы скорости ветра и высоты волн, согласно требований, действующих в Государственной гидрометеорологической службе Украины, независимо от их заблаговременности имеют высокую достоверность и составляют в среднем 95,1—97,0 %. Самыми точными были численные прогнозы скорости и направления ветра, высоты и направления волн для портов Одессы (73,8 %), Очакова (72,8 %), Ялты (72,5 %) и Хорли (72,0 %).

Наиболее успешные прогнозы температуры воды были получены для порта Ялта, где оправдываемость прогноза составляла около 80 %. Вместе с тем для других портов были отмечены не столь хорошие результаты. Основная причина этой неточности заключается в том, что имеющийся вариант модели РОМ требует более точных сведений о глубине моря в мелководных районах северо-западного шельфа, которыми специалисты МГИ НАНУ на момент проведения исследований не располагали.

Таким образом, в оперативной практике есть возможность использования численных прогнозов параметров ветра и высоты волн на Черном море, рассчитанных в МГИ НАН Украины. Очевидно, что для более глубокого и всестороннего анализа качества отображения численными средствами будущего состояния погоды и морской поверхности необходимо привлечение большего числа наблюдений и прогнозов. Именно такой подход позволит обнаружить

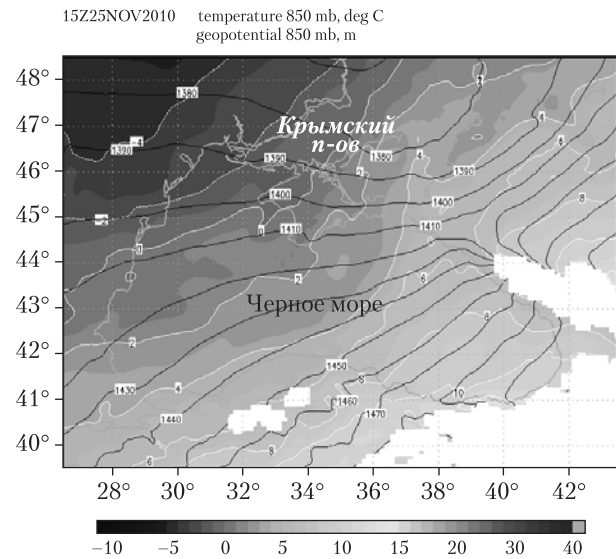


Рис. 5. Карта прогноза температуры и геопотенциала на уровне 850 мб на срок 15 UTC (Всемирное координированное время) 25 ноября 2010 г.

как сезонные особенности работы модели МГИ НАН Украины, так и ее поведение в условиях процессов, достигающих уровней штормовых и стихийных отметок.

Работы по совершенствованию и расширению оперативных возможностей созданной системы будут выполняться сотрудниками МГИ в 2011—2013 гг. в рамках темы «Оперативный морской прогноз». Основные направления работ:

- ✦ совершенствование схем адаптации модели расчета температуры, солености и скоростей течений в районах мелководья, непосредственно примыкающих к морским берегам;
- ✦ расширение района прогнозирования на Азовское море;
- ✦ создание номенклатуры моделей морской среды, в частности включение моделей прогнозирования биологических параметров и характеристик ледового покрова в Азовском море;
- ✦ развертывание полномасштабной подсистемы отображения результатов локальных морских прогнозов, подобной ныне дей-

твующей в рамках международной системы центров морских прогнозов, созданной в рамках проекта MyOcean, с которой можно ознакомиться, посетив web-портал <http://www.myocean.eu.org/>

*Г.К. Коротаев, Ю.Б. Ратнер, Т.М. Баянкінна,
М.В. Івчик, М.В. Мартинов, А.Л. Холод, Н.В. Інюшина,
С.Ф. Пряхіна, О.І. Кубряков, В.М. Бурдюгов,
О.П. Давидова, М.В. Шокуров, В.С. Барабанов,
В.М. Ситов, Ю.І. Попов, Ю.О. Паламарчук,
І.П. Неверовський, Л.А. Савтер,
В.В. Український, М.А. Щоголева*

НАЦІОНАЛЬНИЙ МОДУЛЬ
ЧОРНОМОРСЬКИХ ПРОГНОЗІВ ЯК ЕЛЕМЕНТ
ЄВРОПЕЙСЬКОЇ СИСТЕМИ

Розроблена автоматизована система діагнозу і прогнозу стану акваторії Чорного моря. Наведені ілюстративні приклади результатів роботи системи і дані про достовірність чисельних прогнозів, виконаних у вересні–листопаді 2010 року.

Ключові слова: автоматизована система, чисельні прогнози, супутникові дані, приводний шар атмосфери, швидкість течій, солоність, температура, рівень моря.

*G.K. Korotaev, Yu.B. Ratner, T.M. Bayankina,
M.V. Ivanchik, M.V. Martynov, A.L. Kholod, N.V. Inushina,
S.F. Pryakhina, A.I. Kubryakov, V.M. Burdyugov,
E.P. Davydova, M.V. Shokurov, V.S. Barabanov, V.M. Sytov,
Y.I. Popov, I.O. Palamarchuk, I.P. Neverovskyy, L.A. Savter,
V.V. Ukrayinskyy, M.A. Shchogoleva*

NATIONAL MODULE
OF THE BLACK SEA FORECAST
AS AN ELEMENT OF THE EUROPEAN SYSTEM

The automated system of diagnosis and prognosis of the Black Sea state is developed. Illustrative examples of the results of the system operation and data on the accuracy of numerical forecasts of numerical forecasts performed in September – November, 2010 are presented.

Key words: automated system, numerical forecasts, satellite data, atmospheric near-surface layer, current velocity, salinity, temperature, sea level.

Стаття надійшла до редакції 15.04.11