

# МЕТОДОЛОГИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ МОНИТОРИНГА МОРСКИХ АКВАТОРИЙ

УДК 551.465

Г.К. Коротаев, Ю.Б. Ратнер, Т.М. Баянкина,  
М.В. Иванчик, М.В. Мартынов, С.Ф. Пряхина,  
А.И. Кубряков, А.Л. Холод, Н.Н. Воронина,  
Н.В. Инюшина, В.М. Бурдюгов, Е.П. Давыдова,  
М.В. Шокуров, В.С. Барабанов, В.Н. Ситов\*,  
Ю.И. Попов\*, Ю.О. Паламарчук\*, И.П. Неверовский\*,  
Л.А. Савтер\*, В.В. Украинский\*, М.А. Щоголева\*

*Морской гидрофизический институт НАН Украины, Севастополь  
\* Гидрометеорологический центр Черного и Азовского морей, Одесса*

## СОПОСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЧЕРНОГО МОРЯ С ДАННЫМИ НАБЛЮДЕНИЙ НА МОРСКИХ И БЕРЕГОВЫХ СТАНЦИЯХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ УКРАИНЫ

В работе изложены результаты создания и практической отработки Национального модуля морских и атмосферных прогнозов над акваторией экономической зоны Украины в Черном море. Прогнозы выполнялись в Экспериментальном центре морских прогнозов МГИ НАН Украины и оперативно передавались в ГМЦ ЧАМ Украины для анализа, а также в МО УкрНИГМИ для апробации методологии использования результатов прогнозов в оперативной практике и сопоставления с данными синоптического анализа и наблюдениями на прибрежных гидрометеорологических станциях. На основе регулярной передачи данных морских и атмосферных прогнозов проведена оценка качества и эффективности методики численного прогнозирования, используемой в МГИ НАН Украины.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *Черное море, температура морской поверхности, скорость течений, соленость, прогнозирование, моделирование.*

### **Введение.**

Одним из актуальных направлений контроля состояния и использования ресурсов Черного моря является комплексный мониторинг его гидрофизических полей. С этой целью в МГИ НАН Украины разработана и успешно функ-

© Г.К. Коротаев, Ю.Б. Ратнер, Т.М. Баянкина, М.В. Иванчик, М.В. Мартынов, С.Ф. Пряхина, А.И. Кубряков, А.Л. Холод, Н.Н. Воронина, Н.В. Инюшина, В.М. Бурдюгов, Е.П. Давыдова, М.В. Шокуров, В.С. Барабанов, В.Н. Ситов, Ю.И. Попов, Ю.О. Паламарчук, И.П. Неверовский, Л.А. Савтер, В.В. Украинский, М.А. Щоголева, 2011

ционирует система мониторинга диагноза и прогноза полей температуры, солености и скорости течений, позволяющая выполнять расчеты в квазиоперативном режиме для бассейна Черного моря. Конечной целью выполняемых работ является внедрение этих разработок и технологий в оперативную деятельность гидрометслужбы и других организаций Министерства охраны окружающей среды и ведомств Украины. Кроме того, разработанные модели должны с достаточной точностью воспроизводить циркуляцию и учитывать специфические особенности прибрежных морских зон. Среди них можно отметить относительно малые глубины, большую неравномерность рельефа дна, речной сток, которые приводят к изменению роли и значения различных физических процессов по сравнению с открытыми областями глубоководного океана. Ветровые течения испытывают сильное влияние берега, в одних районах это приводит к возникновению апвеллинга, в других – служит причиной штормовых нагонов. Речной сток является причиной распреснения морской воды и, как следствие, уменьшения ее плотности. Кроме того, прибрежные области испытывают большие вариации температуры и являются областями с относительно большими градиентами солености, температуры и плотности. Интенсивные течения, проходящие над континентальным склоном, также оказывают большое влияние на прибрежные воды. Эти факторы существенно усложняют прогнозирование состояния морской среды в прибрежных районах и требуют уделять большое внимание оценке их достоверности. Оценка достоверности локальных прогнозов должна выполняться в оперативном режиме с использованием всех доступных, в том числе и прибрежных, наблюдений. Задачей настоящей работы является описание прототипа <sup>1)</sup> системы, разработанной совместно специалистами МГИ НАН Украины и ГМЦ ЧАМ в 2010 г., позволяющей получать результаты оценок достоверности атмосферных и гидрологических прогнозов для района Морской экономической зоны Украины на Черном море.

#### **Физико-географические особенности Черного моря и синоптическая ситуация в сентябре-октябре 2010 года.**

Черное море – это вытянутый с запада на восток глубокий водоем, который расположен в относительно низких широтах – между параллелями 46,5° и 41,0° с.ш. Наибольшая длина моря между вершиной Бургазского залива и Кавказским берегом составляет 620 миль. Наибольшая ширина между портом Очаков и мысом Эрегли составляет 330 миль, а наименьшая – между мысами Керемпе и Сарыч составляет 145 миль. По рельефу дна море разделяется на две части: мелководную северо-западную с глубинами менее 100 м (к северу от линии, соединяющей мысы Калиакра и Тарханкут) и глубоководный бассейн (остальная часть моря). Средняя глубина моря составляет 1 282 м, максимальная 2 245 м. Формирование климата Черного моря и его побережья обусловлено географическим положением моря, условиями атмосферной циркуляции над ним и прилегающими районами суши, а также орографической сложностью его берегов [1]. Среди морей СНГ Черное море теплее всего не только по температуре воздуха над ним, но и по средней темпера-

туре воды. Наиболее холодной является северо-западная часть моря, а самыми теплыми районами – восточное и южное побережье.

Синоптическая ситуация в период проведения исследований (сентябрь-октябрь 2010 г.) над акваторией Азово-Черноморского бассейна характеризовалась относительно равномерными погодными условиями с непродолжительными возмущениями на большей части акватории Черного моря и критериев стихийных явлений не наблюдалось.

#### **Общие сведения о выполнении и оценке достоверности локальных морских прогнозов.**

*Особенности и проблемы прогнозирования состояния морской среды в прибрежных районах.* В силу особенностей прибрежных районов их нельзя рассматривать вне связи с открытыми прилегающими областями моря. При этом возникает потребность получения информации о гидрологическом режиме в прибрежных зонах с намного большим пространственным разрешением, чем в открытых районах моря, а также – построения системы интегрированного управления прибрежной зоной с целью обеспечения ее устойчивого развития [1]. Решение подобных задач основано на построении комплексных математических моделей морской среды, позволяющих выполнять диагноз и прогноз ее состояния. Среди них выделяются модели циркуляции моря, на основе результатов работы которых далее строятся биогеохимические и экологические модели. Однако, несмотря на существенный прогресс в компьютерных технологиях, в настоящее время пока невозможно построить модель общей циркуляции моря с достаточно высоким разрешением и разумным временем счета. Выходом из этой ситуации является построение региональных моделей циркуляции. В этом случае на сравнительно небольшой, ограниченной акватории можно использовать достаточно малые шаги по пространству, сохраняя приемлемое время расчетов. Но при этом возникает очевидная необходимость учета влияния акватории открытого моря или океана, примыкающей к рассматриваемой области, которое практически всегда является доминирующим, несмотря на наличие собственной динамики в этой области. То есть возникает проблема постановки краевых условий на открытых жидких границах области. Постановка на открытой границе различного рода условий излучения (типа условия Зоммерфельда) даже в наиболее корректных версиях может приводить к искажению реальной картины течений. Одним из путей решения этой проблемы является использование технологии вложенных сеток при построении численной региональной модели. Эта технология давно используется в метеорологии и успешно применяется в самых разных океанологических задачах [2 – 5].

Для решения задачи диагноза и прогноза циркуляции вод в МГИ НАН Украины использована океанологическая модель *ROM* Принстонского Университета (США) [2, 6], адаптированная специалистами института применительно к физико-географическим особенностям района Азово-Черноморского бассейна, и создана автоматизированная система подготовки исходных данных для выполнения расчетов. В качестве исходных данных используются результаты диагноза и прогноза циркуляции Черного моря, получае-

мые с выхода системы бассейнового диагноза и прогноза циркуляции Черного моря в оперативном режиме [3]. Система бассейнового прогноза обеспечивает непрерывный диагноз и трехсуточный прогноз полей уровня моря, температуры, солёности морской воды и скоростей морских течений. Результаты расчетов с пространственным разрешением ~ 5 км по горизонтали и от 2,5 до 100 м по вертикали выдаются с периодичностью 1 час и записываются в оперативный архив, который далее используется для задания начальных и граничных условий для выполнения локальных прогнозов с пространственным разрешением 1 км по горизонтали. Кроме гидрологических параметров в оперативный архив также с периодичностью 1 час записываются проинтерполированные по пространству и времени данные атмосферного прогноза, выполненного по атмосферной модели *ALADIN* в Национальной Администрации по атмосфере (Румыния). Эти данные обеспечивают возможность полного задания начальных и граничных условий на твердых и жидких границах расчетного района, необходимых для выполнения локальных прогнозов.

Локальные прогнозы в районе выполняются оперативно в автоматизированном режиме с помощью подсистемы локальных прогнозов, разработанной в МГИ НАН Украины в рамках выполнения работ по национальным и международным проектам «Оперативная океанография», «Океанография», «Мониторинг», «*ЕССОП*» [3 – 5]. В результате выполнения прогнозов рассчитываются поля скоростей течений, температуры и солёности морской воды с пространственным разрешением 1 км по горизонтали на 18 горизонтах по вертикали. Получаемые результаты записываются в архив выходных данных локальных морских прогнозов с периодичностью 1 раз в 6 часов, в моменты времени, соответствующие 0, 6, 12 и 18 часам Всемирного координированного времени (*UTC*). Выбранная периодичность записи обусловлена возможностями хранения и передачи данных. При улучшении технических характеристик этих средств она может быть повышена практически до 1 раза в час, или полчаса.

*Оценка достоверности локальных морских прогнозов.* До сентября 2010 г. оценка достоверности выполнялась в неоперативном режиме в основном в рамках проекта «*ЕССОП*». Для изучения возможностей оперативной оценки достоверности локальных морских прогнозов на основе Договора о научно-техническом сотрудничестве между МГИ НАН Украины и ГМС ЧАМ был разработан прототип <sup>1)</sup> автоматизированной системы, предназначенной для сбора данных локальных морских прогнозов и прибрежных наблюдений с целью последующего их использования для оценки достоверности.

Для решения этих задач специалистами МГИ НАН Украины разработана подсистема подготовки данных морских прогнозов для сопоставления с данными наблюдений, выполняемыми метеорологическими станциями, расположенными вдоль прибрежной полосы экономической зоны Украины на Черном море. Подсистема позволяет осуществлять подготовку данных дистанционных измерений температуры поверхности моря, метеорологического прогноза, прогноза волнения, температуры, солёности и скоростей течений. Разработана архитектура и развернуты новые сетевые средства пе-

редачи и хранения данных, которые позволяют повысить надежность хранения и передачи данных по каналам сети *Internet*. С сентября по декабрь 2010 г. регулярно осуществлялась передача данных морских и атмосферных прогнозов в ГМЦ ЧАМ для последующего сопоставления с данными прибрежных наблюдений.

Схема автоматизированной подсистемы сбора и передачи данных морских прогнозов приведена на рис. 1.

Разработанная подсистема принимает и осуществляет обработку четырех потоков данных:

- 1) дистанционных измерений температуры поверхности моря;
- 2) метеорологического прогноза для региона Черного моря;
- 3) прогноза волнения Черного моря;
- 4) прогноза температуры, солёности, скоростей течений и уровня моря.

Спутниковые данные ИСЗ *NOAA* зачисляются с FTP-сервера МГИ НАН Украины – морского портала (<http://mhi.net.ua/NOAASST/>) и заносятся в файловый архив, затем выполняется фильтрация облачности и запись полученных результатов в файлы спутниковых ТПМ. Для использования этих данных в ГМЦ ЧАМ происходит извлечение данных ТПМ для точек морской акватории, ближайших к местам расположения метеорологических станций.

Для метеорологического прогноза и прогноза волнения данные зачисляются с FTP-сервера МГИ НАН Украины (<http://hydrophys.org/>) и заносятся в файловый архив. Оттуда они извлекаются для предварительной обработки, в процессе которой выполняется интерполяция данных в точках морской акватории, ближайших к метеостанциям, затем данные заносятся в соответствующие файлы (см. рис. 1).

Все обработанные данные копируются и записываются на FTP-сервер МГИ НАН Украины (<http://mhi.net.ua>).

Общие сведения о данных наблюдений на прибрежных гидрометеорологических станциях. В работе выполнен расчет и анализ достоверности численных прогнозов, созданных с привлечением модели МГИ НАН Украины, по северо-западному району Черного моря, карта-схема которого показана на рис. 2. Период исследования составляет два месяца: сентябрь-октябрь 2010 г. Оценка достоверности прогнозов с заблаговременностью от 6 до 72 часов выполнялась с привлечением данных наблюдений восьми гидрометеорологических станций и постов: Одесса (порт), Очаков, Приморское, Усть-Дунайск, Феодосия, Хорлы, Черноморское, Ялта, расположение которых в регионе также показано на рис. 2.

Данные прогноза скоростей течений, температуры, солёности морской воды и уровня моря формируются в результате выполнения оперативных локальных морских прогнозов по модели *РОМ*. Исходя из номенклатуры измерений на прибрежных метеостанциях для сопоставления используются только результаты прогноза температуры морской поверхности.

В ходе сравнения результатов моделирования и данных фактических наблюдений к рассмотрению были приняты следующие характеристики:

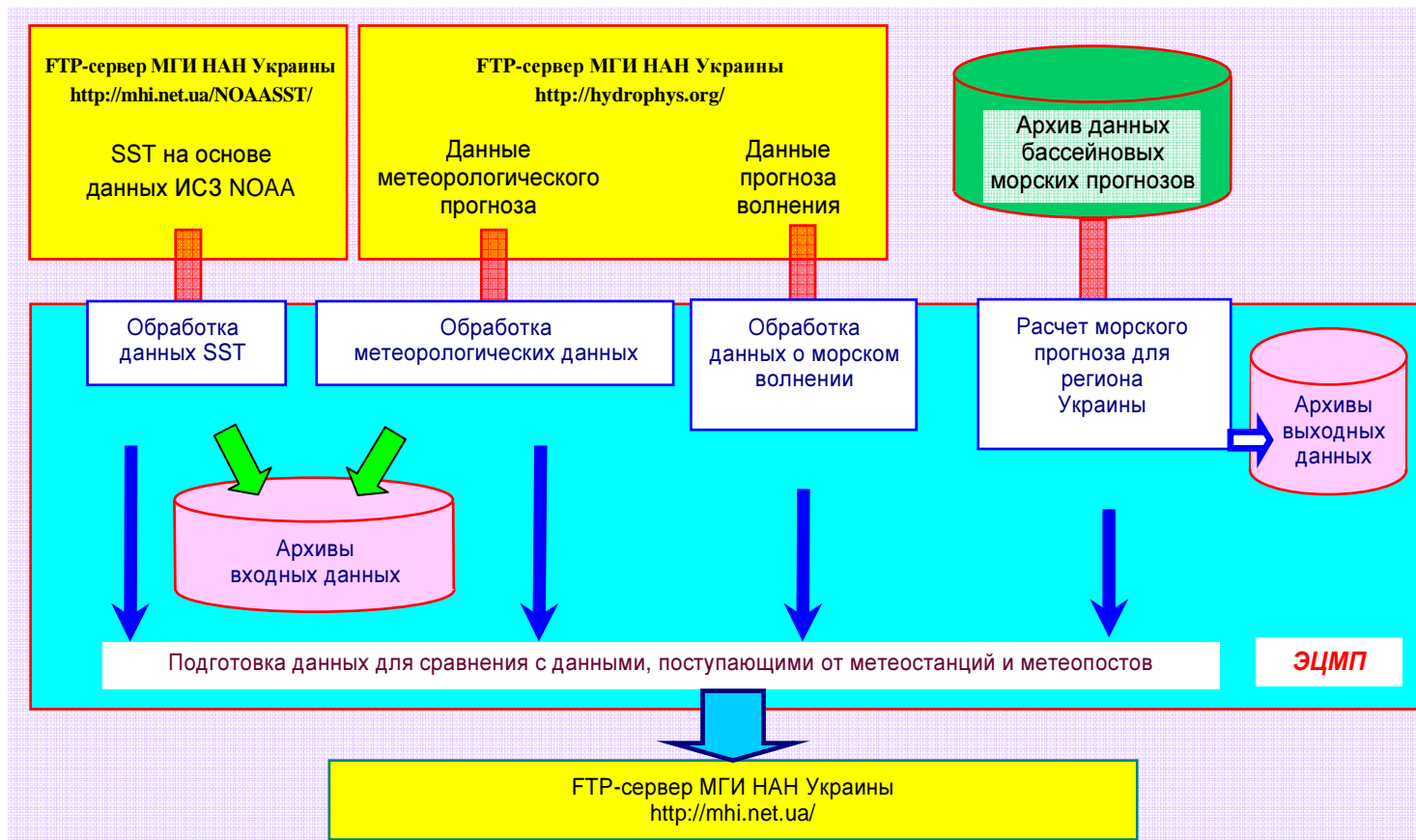


Рис. 1. Схема формирования потоков данных в прототипе <sup>1)</sup> оперативной автоматизированной системы подготовки данных для оценки достоверности морских прогнозов.

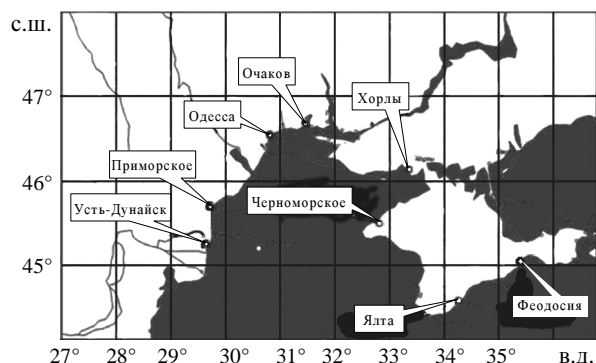


Рис. 2. Расположение метеорологических постов и пунктов наблюдения.

- температура поверхности морской воды ( $^{\circ}\text{C}$ );
- скорость ветра (м/с);
- направление ветра (градус);
- высота морских волн (м);
- период волн (с).

Оценка прогнозов выполнялась согласно действующим Установкам, представленным в [7 – 9]. В ночное время в ряде пунктов морской гидрометеорологической сети наблюдения не выполняются, поэтому именно этим предопределены пропуски в представленном анализе. В табл. 1 приведено количество данных сравнительного анализа прогноза и фактических наблюдений температуры морской воды в Черном море.

Таблица 1. Количество совместимых данных прогноза и наблюдений температуры воды в Черном море в период сентябрь-октябрь 2010 г.

| Пункт наблюдений | Заблаговременность прогноза (час) |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|------------------|-----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                  | 6                                 | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 | 42 | 48 | 54 | 60 | 66 | 72 |
| Одесса           | 35                                | 35 | 35 | 34 | 34 | 34 | 34 | 33 | 33 | 33 | 33 | 32 |
| Очаков           | 34                                | -  | 32 | -  | 34 | -  | 32 | -  | 32 | -  | 31 | 34 |
| Приморское       | 34                                | -  | 33 | -  | 34 | -  | 33 | -  | 33 | -  | 32 | 34 |
| Усть-Дунайск     | 34                                | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 32 | 33 | 33 | 33 | 31 |
| Феодосия         | 34                                | -  | 33 | -  | 34 | -  | 33 | -  | 33 | -  | 32 | -  |
| Хорлы            | 34                                | 34 | 34 | -  | 34 | 34 | 34 | -  | 33 | 33 | 33 | -  |
| Черноморское     | 34                                | 34 | 34 | -  | 34 | 34 | 33 | -  | 33 | 33 | 33 | -  |
| Ялта             | 35                                | 35 | 35 | -  | 34 | 33 | 34 | -  | 33 | 32 | 33 | -  |

### Примеры сопоставления результатов локальных морских и атмосферных прогнозов для района, включающего экономическую зону Украины.

Согласно работам [8, 9], проводилась оценка достоверности прогноза гидрологических элементов по числовому значению, где подсчитывалось число станций, в которых ошибка прогноза не превышала допустимую погрешность, потом находилось отношение числа этих станций к общему числу используемых станций, по которым велась проверка достоверности прогнозов. Общая достоверность поля гидрологического элемента рассчитывалась по формуле:

$$P = \frac{m}{n} \cdot 100\% ,$$

где  $P$  – общая достоверность;  $m$  – число станций, в которых прогноз оправдался;  $n$  – общее число станций, по которым велась проверка достоверности прогнозов.

Оценка совокупности прогнозов за сентябрь-октябрь 2002 г. выполнялась путем определения их общей достоверности, то есть путем вычисления процентного отношения количества прогнозов, которые оправдались, к общему числу оцененных прогнозов. Достоверность прогнозов считается отличной при  $P = 90 - 93 \%$ , хорошей при  $P = 84 - 92 \%$ , удовлетворительной при  $P = 75 - 86 \%$  и неудовлетворительной при  $P = 75 \%$  и меньше.

Анализ достоверности численного прогноза температуры поверхности морской воды.

Общие оценки достоверности прогнозов температуры поверхности морской воды (в %) приведены в табл. 2.

Таблица 2. Достоверность прогнозов температуры поверхности морской воды (%) в Черном море (сентябрь-октябрь 2010 г.).

| Заблаговременность прогноза, час | Пункт наблюдения |        |            |              |          |       |              |      |
|----------------------------------|------------------|--------|------------|--------------|----------|-------|--------------|------|
|                                  | Одесса           | Очаков | Приморское | Усть-Дунайск | Феодосия | Хорлы | Черноморское | Ялта |
| 6                                | 48,6             | 32,4   | 2,9        | 17,6         | 14,7     | 20,6  | 58,8         | 82,9 |
| 12                               | 54,3             | -      | -          | 32,4         | -        | 23,5  | 50,0         | 82,9 |
| 18                               | 51,4             | 37,5   | 27,3       | 38,2         | 12,1     | 23,5  | 50,0         | 80,0 |
| 24                               | 50,0             | -      | -          | 26,5         | -        | -     | -            | -    |
| 30                               | 52,9             | 32,4   | 2,9        | 17,6         | 23,5     | 20,6  | 47,1         | 88,2 |
| 36                               | 61,8             | -      | -          | 32,4         | -        | 20,6  | 50,0         | 76,5 |
| 42                               | 61,8             | 34,4   | 27,3       | 29,4         | 24,2     | 17,6  | 51,5         | 82,4 |
| 48                               | 51,5             | -      | -          | 25,0         | -        | -     | -            | -    |
| 54                               | 48,5             | 28,1   | 3,0        | 15,2         | 30,3     | 15,2  | 36,4         | 72,7 |
| 60                               | 60,6             | -      | -          | 27,3         | -        | 12,1  | 45,5         | 59,4 |
| 66                               | 57,6             | 32,3   | 31,3       | 33,3         | 25,0     | 9,1   | 42,4         | 63,6 |
| 72                               | 43,8             | -      | -          | 22,6         | -        | -     | -            | -    |

Из приведенных в табл. 1 данных следует, что максимальная достоверность прогнозов поверхностной температуры воды наблюдается по пункту наблюдения Ялта и достигает максимума 80,0 – 88,2 % с заблаговременностью от 6 до 30 часов. Несколько хуже результаты были получены для пункта наблюдения в порту Одесса, где достоверность прогноза составляет 61,8 % с заблаговременностью 36 – 42 часа.



Неудовлетворительные результаты прогнозов определяются по пунктам Очаков, Приморское, Усть-Дунайск (достоверность не превышает 38 %), а самая низкая достоверность, не превышающая 23,5 %, наблюдается по пункту Хорлы.

Такие оценки в основном обусловлены систематическим завышением модельного прогноза температуры воды в среднем на 1,7 – 3,1 °С, что значительно превышает разрешенный уровень погрешности 1,2 °С.

На рис. 3 показано изменение средней ошибки прогноза ТПМ с увеличением заблаговременности прогноза в порту Одесса. Нетрудно видеть, что в этом пункте наблюдается постоянное завышение температуры воды по прогнозу в среднем от 0,8 до 1,2 °С.

Изменение среднеквадратического отклонения ТПМ для Одесса (сентябрь-2010 г.) по на рис. 4.



Рис. 3. Средняя ошибка прогноза ТПМ в порту

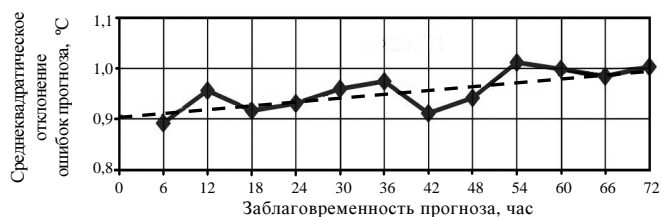


Рис. 4. Среднеквадратическое отклонение прогноза ТПМ в порту Одесса (сплошная линия) и его тренд (пунктир) в зависимости от заблаговременности прогноза.

Как видно, среднеквадратические отклонения ТПМ в порту Одесса, в осенний период (с сентября по октябрь 2010 г.) находятся в пределах 0,8 – 0,9 °С с заблаговременностью прогноза 48 часов и составляют ~ 1,0 °С – при заблаговременности прогноза от 64 до 72 часов.

Расчет коэффициента корреляции по станциям показал, что высокий коэффициент корреляции фактической ТПМ и прогноза (0,8 – 0,9) происходит за счет тренда в результате общего осеннего охлаждения поверхности моря.

Результат регрессионного анализа указывает на значительное завышение температуры воды по прогнозу. Свободный член в регрессионном уравнении составляет -5,4 для пункта наблюдения Приморское и -11,4 для пункта наблюдения Очаков.

Анализ достоверности прогноза скорости ветра. Количество данных принятых к сравнительному анализу прогноза и фактических наблюдений скорости ветра приведено в табл. 3.

Таблица 3. Количество совместимых данных прогноза и наблюдений ветра по Черному морю в период сентябрь-октябрь 2010 г.

| Пункт наблюдений | Заблаговременность прогноза (часы) |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|------------------|------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                  | 6                                  | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 | 42 | 48 | 54 | 60 | 66 | 72 |
| Одесса           | 57                                 | 57 | 57 | 54 | 56 | 56 | 56 | 53 | 55 | 55 | 55 | 52 |
| Очаков           | 56                                 | -  | 54 | -  | 55 | -  | 53 | -  | 54 | -  | 52 | -  |
| Приморское       | 55                                 | -  | 55 | -  | 54 | -  | 54 | -  | 53 | -  | 53 | 55 |
| Усть-Дунайск     | 54                                 | 55 | 56 | 52 | 53 | 54 | 55 | 51 | 52 | 53 | 54 | 50 |
| Феодосия         | 52                                 | 53 | 52 | -  | 51 | 52 | 51 | -  | 50 | 51 | 50 | -  |
| Хорлы            | 56                                 | 56 | 56 | -  | 55 | 55 | 55 | -  | 54 | 54 | 54 | -  |
| Черноморское     | 50                                 | 56 | 56 | -  | 49 | 55 | 55 | -  | 49 | 54 | 54 | -  |
| Ялта             | 54                                 | 55 | 53 | -  | 53 | 54 | 52 | -  | 52 | 53 | 51 | -  |

Следует отметить, что в период, принятый для сравнительного анализа, не привлекались данные штормовых оповещений о максимальных порывах ветра, так как в синоптический срок наблюдений на станциях измеряется только средняя скорость ветра.

Расчет численного прогноза показал, что достоверность прогнозов скорости ветра для всех пунктов высокая – составляет от 84 до 100 % для всех заблаговременностей прогноза. Несколько худшей оказалась достоверность для пункта Усть-Дунайск (84,0 – 92,9 %), однако она также достаточно высокая.

Недооценивание прогноза средней скорости ветра в среднем на 1 – 3 м/с можно наблюдать практически на всех пунктах наблюдений, но в пунктах наблюдения Черноморское и Хорлы оно не настолько заметно (близко 1 м/с). При анализе и сопоставлении данных о скорости ветра выяснилось, что в целом определяется общая тенденция к снижению достоверности прогнозов скорости ветра и повышению среднего квадратичного отклонения погрешности прогноза с ростом их заблаговременности. При повышении повторяемости штормовых ветров также достоверность прогнозов скорости ветра значительно снижается. Определяется некоторое запаздывание фазы повышения и уменьшения скорости ветра по прогнозу относительно фактических данных, полученных в пункте Усть-Дунайск. Коэффициент корреляции фактической скорости ветра и прогноза уменьшается в зависимости от заблаговременности прогноза в среднем от 0,7 – 0,8 до 0,4 – 0,5.

*Оценка достоверности прогнозов направления ветра.* Согласно действующим Установкам по оперативной работе направление ветра оценивается лишь при условии, если значения скорости превышали штормовые критерии [7 – 9]. Однако с целью исследования качества работы модели, функционирующей в МГИ НАН Украины, выполнялась оценка достоверности не штормового ветра, а оценка достоверности прогнозов направления ветра – данные приведены в табл. 4.

Таблица 4. Достоверность прогнозов направления ветра (%).

| Пункт наблюдений | Заблаговременность прогноза (часы) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                  | 6                                  | 12   | 18   | 24   | 30   | 36   | 42   | 48   | 54   | 60   | 66   | 72   |
| Одесса           | 70,0                               | 65,0 | 70,0 | 63,2 | 66,1 | 67,8 | 67,8 | 60,7 | 65,5 | 74,1 | 63,8 | 58,2 |
| Очаков           | 91,5                               | -    | 75,9 | -    | 87,9 | -    | 75,5 | -    | 80,7 | -    | 73,1 | -    |
| Приморское       | 44,1                               | -    | 55,2 | -    | 44,8 | -    | 56,1 | -    | 31,6 | -    | 50,0 | -    |
| Усть-Дунайск     | 77,2                               | 87,9 | 69,5 | 80,0 | 78,6 | 84,2 | 69,0 | 72,2 | 65,5 | 73,2 | 56,1 | 73,6 |
| Феодосия         | 65,5                               | 73,2 | 43,6 | -    | 57,4 | 67,3 | 44,4 | -    | 58,5 | 66,7 | 41,5 | -    |
| Хорлы            | 76,3                               | 64,4 | 64,4 | -    | 67,2 | 63,8 | 58,6 | -    | 70,2 | 59,6 | 68,4 | -    |
| Черноморское     | 83,1                               | 78,0 | 76,3 | -    | 77,4 | 69,0 | 70,7 | -    | 80,4 | 63,2 | 70,2 | -    |
| Ялта             | 54,4                               | 63,8 | 33,9 | -    | 41,1 | 50,9 | 38,2 | -    | 38,2 | 53,6 | 38,9 | -    |

Из приведенных в табл. 4 данных видно, что наблюдается значительное изменение достоверности прогнозов направления ветра от пункта к пункту. Максимальная достоверность прогнозов направления ветра (73,1 – 91,5 %) была в пункте Очаков, а минимальная в порту Одесса и в пунктах Черноморское и Усть-Дунайск. Наименее удачными были прогнозы направления ветра в пункте Приморское (31,6 – 56,1 %). Такое поведение прослеживается и в значениях коэффициентов корреляции, которые изменяются в среднем от 0,9 в пунктах, где достоверность высокая, до 0,1 – 0,2 в пунктах, где достоверность низкая, и прогнозы направления ветра не оправдались. С повышением заблаговременности прогноза определяется общая тенденция к снижению достоверности прогнозов направления ветра, роста среднего и среднего квадратичного значения погрешности прогноза. По данным пункта Приморское уже с заблаговременностью 6 часов среднее значение погрешности прогноза превышает допустимую градацию – отклонение напрямую ветра по прогнозу от фактического не более 45° (см. табл. 4).

Оценка достоверности моделирования волнения моря.

*Высота волн.* Оценка достоверности прогнозов высоты волн с различной заблаговременностью приведена в табл. 5.

Таблица 5. Достоверность прогнозов высоты волн (%) с различной заблаговременностью в Черном море в период сентябрь-октябрь 2010 г.

| Пункт наблюдений | Заблаговременность прогноза (часы) |      |      |    |      |      |      |    |      |      |      |    |
|------------------|------------------------------------|------|------|----|------|------|------|----|------|------|------|----|
|                  | 6                                  | 12   | 18   | 24 | 30   | 36   | 42   | 48 | 54   | 60   | 66   | 72 |
| Одесса           | 97,3                               | 93,6 | 100  | -  | 94,6 | 95,7 | 100  | -  | 89,2 | 95,7 | 100  | -  |
| Очаков           | 100                                | -    | -    | -  | 100  | -    | -    | -  | 91,8 | -    | -    | -  |
| Приморское       | 95,0                               | -    | 91,4 | -  | 94,8 | -    | 94,7 | -  | 91,2 | -    | 94,6 | -  |
| Усть-Дунайск     | 96,5                               | 93,1 | 93,2 | -  | 87,5 | 87,7 | 91,4 | -  | 80,3 | 77,0 | 82,0 | -  |
| Феодосия         | 100                                | 98,1 | 100  | -  | 100  | 96,3 | 100  | -  | 98,1 | 98,1 | 100  | -  |
| Хорлы            | 100                                | 100  | 100  | -  | 100  | 100  | 100  | -  | 100  | 100  | 100  | -  |
| Черноморское     | 90,4                               | 94,8 | 94,6 | -  | 96,2 | 93,1 | 94,8 | -  | 98,0 | 93,0 | 93,0 | -  |
| Ялта             | 94,8                               | 94,8 | 93,1 | -  | 96,6 | 93,0 | 94,8 | -  | 89,5 | 89,3 | 89,5 | -  |

Как следует из приведенных в табл. 5 данных, большинство прогнозов оправдалось более чем на 90 %. Следует отметить, что к оценкам волнения, получаемым в пункте Хорлы (всегда 100 %) следует относиться осторожно, поскольку длина рядов наблюдений в этом пункте недостаточна для объективно-

го вывода. Незвизрая на то, что на наблюдения в большинстве из исследуемых портов влияют береговые защитные сооружения, и соответственно не реалистично отображаются процессы, достоверность также высокая. С повышением повторяемости штормовых ситуаций и заблаговременности прогнозов достоверность их уменьшается.

На рис. 5 показана зависимость коэффициента корреляции фактической и прогнозируемой высот волн в порту Одесса (сплошные линии). Там же показана линейная составляющая тренда изменения корреляции реальных высот волн (фактических) и прогнозируемых высот волн в зависимости от заблаговременности прогноза.

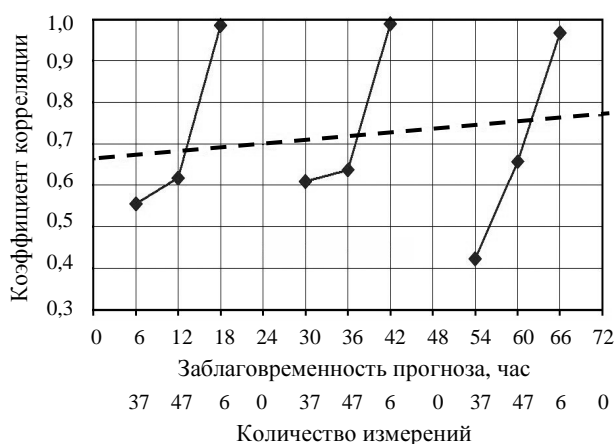


Рис. 5. Достоверность прогноза высоты волн в порту Одесса в период с сентября по октябрь 2010 г. (сплошные линии) и линейная составляющая тренда (пунктир).

Коэффициенты корреляции фактической и прогнозируемой высот волн в каждом из пунктов, определенных к сравнительному анализу, изменяются в широком диапазоне – от 0,1 до 0,8 (в частности, для порта Одесса см. рис. 5).

*Период волн.* Достоверность прогнозов периода волн с различной заблаговременностью приведена в табл. 6.

Таблица 6. Достоверность прогнозов периода волн (%).

| Пункт наблюдений | Заблаговременность прогноза (часы) |      |      |    |      |      |      |    |      |      |      |    |
|------------------|------------------------------------|------|------|----|------|------|------|----|------|------|------|----|
|                  | 6                                  | 12   | 18   | 24 | 30   | 36   | 42   | 48 | 54   | 60   | 66   | 72 |
| Одесса           | 21,9                               | 50,0 | 80,0 | -  | 50,0 | 47,5 | 80,0 | -  | 56,3 | 55,0 | 60,0 | -  |
| Очаков           | 0,0                                | -    | -    | -  | 79,3 | -    | -    | -  | 79,3 | -    | -    | -  |
| Приморское       | 57,6                               | -    | 67,2 | -  | 77,6 | -    | 80,7 | -  | 63,2 | -    | 69,6 | -  |
| Усть-Дунайск     | 26,3                               | 34,5 | 35,6 | -  | 50,0 | 40,4 | 41,4 | -  | 43,6 | 32,1 | 43,9 | -  |
| Феодосия         | 14,5                               | 56,4 | -    | -  | 37,0 | 37,0 | -    | -  | 54,7 | 52,8 | -    | -  |
| Хорлы            | 24,1                               | 89,8 | 85,2 | -  | 71,9 | 72,4 | 80,8 | -  | 85,7 | 82,5 | 92,0 | -  |
| Черноморское     | 20,5                               | 22,7 | -    | -  | 33,3 | 36,8 | 40,9 | -  | 34,6 | 40,5 | 47,6 | -  |
| Ялта             | 54,2                               | 51,7 | 33,9 | -  | 41,4 | 52,6 | 37,9 | -  | 50,9 | 64,3 | 54,4 | -  |

Из данных, приведенных в табл. 6, следует, что наиболее реалистичными были прогнозы периода волн по пункту Приморское при достоверности от 57,6 до 80,7 %. По пункту Очаков следует отметить некачественную фактическую информацию относительно периода волн, поскольку при разной высоте волн сообщаются постоянные значения периода волн 3 с. Поэтому достоверность прогнозов периода волн с заблаговременностью 6 часов составила за сравнительный период 0 %. В целом по прогнозу определяется завышение периода волн от 0,4 до 1,5 с, особенно при заблаговременности 6 часов, поэтому на отдельных пунктах наблюдается некоторая тенденция повышения достоверности прогнозов с увеличением заблаговременности прогноза. Коэффициенты корреляции фактического и прогнозируемого периодов волн находятся в среднем на уровне 0,1 – 0,5. Наиболее тесная связь фактических и прогнозируемых периодов волн (коэффициент корреляции 0,95) наблюдается при заблаговременности прогноза 66 часов по порту Одесса.

*Обобщенные данные поэлементных достоверностей прогнозов.* Обобщенные данные средних поэлементных достоверностей прогнозов с заблаговременностью от 6 до 72 ч за период сентябрь-октябрь 2010 г., полученные на основании приведенных расчетов, представлены в табл. 7.

#### **Заключение.**

Сравнительный анализ поэлементной достоверности морских прогнозов, выполняемых в МГИ НАН Украины с заблаговременностью от 6 до 72 часов по Черному морю в период сентябрь-октябрь 2010 г., данные о которой представлены в табл. 7, и данных фактических наблюдений показал, что прогнозы скорости ветра и высоты волн, согласно Установок, действующих в Государственной гидрометеорологической службе Украины, независимо от их заблаговременности, имеют высокую достоверность, составляющую в среднем 95,1 – 97,0 % – в частности, наиболее точными являются (при осреднении за сентябрь-октябрь и по всем предсказаниям достоверность составляет 99 – 100 %) прогнозы:

- скорости ветра в Очакове и Хорлы;
- высоты волн в Феодосии и Хорлы.

Среди исследуемых портов северного, северо-западного побережья Черного моря и проанализированных прогностических элементов самыми успешными были численные прогнозы для порта Одесса (73,8 %) и пунктов Очаков (72,8 %), Ялта (72,5 %) и Хорлы (72,0 %). Хуже всего численные прогнозы в среднем по всем элементам исполнились для пункта Усть-Дунайск (63,1 %). В частности, неудачными были прогнозы температуры воды (средняя достоверность 36,6 %), что может быть связано с неучетом апвеллинга вод прибрежных районов или с недостатками в расчетах тепло-балансового обмена поверхности моря и атмосферы. На это указывают значительные постоянные завышения прогностической температуры воды.

Сравнительный анализ выполнен в сентябре-октябре, то есть в период с относительно стабильными гидрометеорологическими условиями, а это в свою очередь способствовало высокому уровню общей достоверности прогнозов. Как и следовало ожидать, независимо от пункта расположения и элемента прогноза отмечается общая тенденция ухудшения прогнозов с ростом их заблаговременности.

Таблица 7. Средняя поэлементная достоверность прогнозов (%) с заблаговременностью от 6 до 72 часов в течение периода сентябрь-октябрь 2010 г.

| Пункт наблюдений             | Средняя за период достоверность по параметрам: |                |                   |             |             |                   |
|------------------------------|--|----------------|-------------------|-------------|-------------|-------------------|
|                              | температура воды                               | скорость ветра | направление ветра | высота волн | период волн | средняя по пункту |
| Одесса                       | 53,6   | 97,7           | 66,0              | 96,2        | 55,6        | 73,8              |
| Очаков                       | 32,9   | 100,0          | 80,8              | 97,3        | 52,9        | 72,8              |
| Приморское                   | 15,8   | 94,7           | 47,0              | 93,6        | 69,3        | 64,1              |
| Усть-Дунайск                 | 26,5   | 88,7           | 73,9              | 87,6        | 38,6        | 63,1              |
| Феодосия                     | 21,6   | 99,1           | 57,6              | 99,0        | 42,1        | 63,9              |
| Хорлы                        | 18,1   | 99,8           | 65,9              | 100,0       | 76,0        | 72,0              |
| Черноморское                 | 48,0   | 98,0           | 74,3              | 94,2        | 34,6        | 69,8              |
| Ялта                         | 76,5   | 98,3           | 45,9              | 92,8        | 49,0        | 72,5              |
| Средний поэлементный прогноз | <b>36,6</b>                                    | <b>97,0</b>    | <b>63,9</b>       | <b>95,1</b> | <b>52,3</b> | <b>69,0</b>       |

Таким образом, в оперативной практике возможно использование 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 более длительных рядов наблюдений и прогнозов. Именно такой подход позволит обнаружить как сезонные особенности работы модели, используемой в МГИ НАН Украины, так и ее поведение в условиях процессов, которые влекут достижение штормовых и стихийных отметок.

Выполненную работу следует рассматривать, как начальный этап на пути внедрения системы морского и атмосферного прогнозов, которые выполняются в ЭЦМП МГИ НАН Украины. Опыт, полученный в ходе выполнения этих работ, используется для последующего совершенствования прогностической системы и внедрения в практику работ не только ГМЦ ЧАМ, но и других хозяйственных субъектов Украины, которые занимаются эксплуатацией и охраной ресурсов морской экономической зоны Украины в Черном море. Методики создания прогностических продуктов прошли апробацию в ГМЦ ЧАМ, специалисты которого отметили актуальность выполненных совместных исследований и необходимость их продолжения для накопления более длительных рядов для совместного анализа результатов прогноза и данных контактных измерений на прибрежных метеостанциях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Справочник по климату Черного моря.* Под редакцией А.И. Соркиной. – М.: Гидрометеиздат, 1974. – 406 с.
2. *Blumberg A.F., Mellor G.L.* A description of a three-dimensional coastal ocean model. in *Three Dimensional Shelf Models, Coastal Estuarine Sci.*, edited by N. Hearn, p. 1-16, AGU, Washington, D. C. 1987. – v. 5. – P. 1-16.
3. *Ратнер Ю.Б., Иванчик М.В., Баянкина Т.М., Мартынов М.В.* Структура системы и управления вычислительным процессом моделирования динамики Черного моря // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика». – 2006. – С. 150-158.
4. *Ратнер Ю.Б., Мартынов М.В., Баянкина Т.М., Бородин С.В.* Информационные потоки в системе оперативного мониторинга гидрофизических полей Черного моря и автоматизация процессов их обработки // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика». – 2005. – С. 140-149.
5. *Kubryakov A., Korotaev G., Ratner Yu.* Diagnosis and forecasting of the circulation in the Black Sea nearshore regions adjoining to the Crimea Peninsula. / Аерокосмічні спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки. GEO-UA 2008. (Перша Всеукраїнська конференція з запрошенням закордонних учасників. Матеріали доповідей). – К.: Наукова думка. – 2008. – С. 210.
6. *Hunter J.R.* OzPOM: A Version of the Princeton Ocean Model. Сайт «Antarctic Climate&Ecosystems – Cooperative Research Centre. ACE-CRC». [Электронный ресурс]. <http://staff.acecrc.org.au/~johunter/ozpom.html>. (Проверено 01.08.2011).
7. *Настанова по службі прогнозів та попереджень про небезпечні та стихійні явища погоди.* Державна гідрометеорологічна служба. – Київ, 2003. – 37 с.
8. *Наставление по службе прогнозов.* Служба морских гидрологических прогнозов. Раздел 3. Часть III. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 144 с.
9. *Руководство по морским гидрологическим прогнозам.* – С-Пб.: Гидрометеиздат, 1994. – 526 с.

Материал поступил в редакцию 13.01.2011 г.

После доработки 15.05.2011 г.

#### ПРИМЕЧАНИЯ И КОММЕНТАРИИ РЕДАКТОРА

<sup>1</sup> Использование авторами термина «прототип» – прообраз, «... что-либо (кто-либо), являющиеся предшественником, образцом последующего», – в контексте статьи представляется излишним, поскольку в ней речь идет о конкретной системе – об Экспериментальном Центре морских прогнозов (ЭЦМП), созданном и работающем в МГИ НАН Украины. При этом не говорится о том, что ЭЦМП является прототипом иной, не называемой в статье, системы.

Более оправданным, в данном случае, представляется использование стандартной терминологии, принятой, например, в ДСТУ 3974-2000 «Система разработки и постановки продукции на производство. Правила выполнения опытно-конструкторских работ. Общие положения (Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Правила виконання дослідно-конструкторських робіт. Загальні положення)» – макет, экспериментальный образец, опытный образец и т.д.

Кстати, авторы эту терминологию, возможно и неосознанно, используют, называя описываемую систему *Экспериментальным* Центром морских прогнозов.