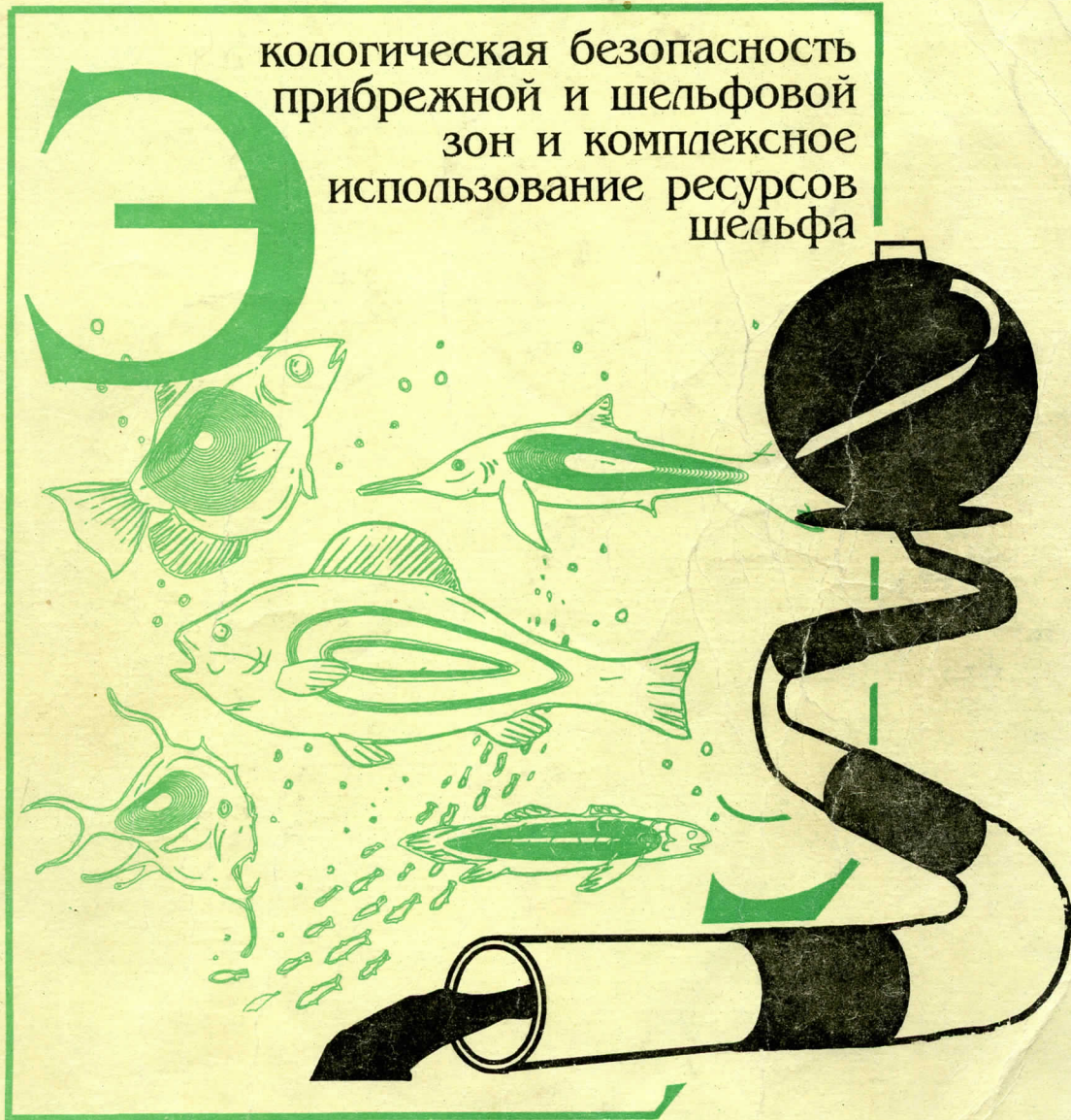


Лепет

Национальная Академия наук Украины
Морской гидрофизический институт

Экологическая безопасность
прибрежной и шельфовой
зон и комплексное
использование ресурсов
шельфа



Севастополь
1999г

2

Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: Сб. науч. тр. / НАН Украины, МГИ, Редкол.: Иванов В.А. (отв. ред.) и др. – Севастополь, 1999. – С.306. Ил.116. Табл.40.

Сборник является третьим в серии публикаций, представляющих результаты работ Головной организации Морского гидрофизического института Национальной Академии наук Украины последних лет, выполняемых в рамках Государственной программы Министерства науки Украины "Экологическая безопасность прибрежной зоны Черного и Азовского морей и комплексное использование ресурсов шельфа". Основными направлениями работ были выбраны изучение наиболее важных с точки зрения использования в народном хозяйстве прибрежных и шельфовых акваторий, разработка новых методов и средств изучения состояния морской среды, формирование базы данных мониторинга и моделирование экологического состояния изучаемых регионов, разработка перспективных направлений использования ресурсов шельфовых зон, в частности, пресных источников субмаринной разгрузки подземных вод. В сборник включены также некоторые интересные результаты работ, выполненных в других, традиционно исследуемых акваториях и имеющих отношение к ресурсам прибрежных и шельфовых зон моря.

Предназначен для широкого круга специалистов в области океанографии и экологии моря.

Печатается по решению Ученого совета МГИ НАН Украины

ISSN 966 – 02 – 1064 – 7

© Морской гидрофизический институт НАН Украины, 1999

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
1. Изучение особенностей гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических процессов на шельфе моря	
<i>Ю.Н.Горячкин, В.А.Иванов</i> Межгодовая изменчивость гидрометеорологического режима южного побережья Черного моря	7
<i>А.В.Григорьев, Л.А.Петренко</i> Черное море как фактор влияния на атмосферные процессы в регионе.....	17
<i>А.А.Щипцов, А.С.Кузнецов, С.В.Станичный</i> Натурные исследования системы поверхностных гидрографических фронтов у пролива Дарданеллы.....	27
<i>Ж.М.Ациховская, Е.А.Куфтаркова</i> Абиотические факторы среды в районе сброса сточных вод (акватория Севастополя).....	47
<i>С.А.Лонин, Ю.С.Тучковенко</i> Имитация сгонно-нагонных колебаний уровня моря в портах северо-западной части Черного моря.....	58
<i>Р.Я.Миньковская, А.Н.Демидов</i> Методика расчета обмена через двухмерные обменные проливы на примере теплообмена.....	67
<i>Р.Я.Миньковская</i> Волнение в Днепровско-Бугском лимане.....	72
<i>В.И.Власенко, Н.М.Стащук, В.А.Иванов, А.С.Романов, Ю.Л.Внуков</i> Исследование динамики полей кислорода и сероводорода в шельфовой зоне Южного берега Крыма во время протекания прибрежного апвеллинга.....	79
<i>Ю.П.Ильин, Е.М.Лемешко, С.В.Станичный</i> Изменение гидрологической структуры вод под действием ветра на Придунайском шельфе Черного моря по данным полигонных и спутниковых наблюдений.....	91
<i>С.И.Кондратьев, Н.С.Геворгиз</i> Влияние апвеллинга на гидрохимический режим районов устья Дуная и острова Змеиный осенью 1997 г.....	111
<i>С.И.Кондратьев, Ю.Л.Внуков</i> Структура вертикального распределения кислорода в водах приустьевых взморья Дуная в осенний период 1997 г.....	125
<i>Е.А.Агафонов, А.С.Кукушкин, Ю.А.Прохоренко</i> Особенности распределения показателя ослабления света в поверхностном слое черноморских вод прибрежной зоны Украины в осенний и зимний периоды.....	138
<i>В.И.Маньковский</i> Оптические характеристики прибрежных вод Черноморского побережья Украины.....	149
<i>Ю.Г.Моисеев, Н.А.Сорокина, А.И.Чепыженко</i> Прозрачность вод вблизи побережья Крыма в районе Феодосия – Керчь.....	153
<i>Е.А.Куфтаркова, Н.П.Ковригина</i> Изменчивость гидрохимических полей Судакско-Кара-Дагского взморья в весенне-летний период.....	161

С.А.Лонин, Ю.С.Тучковенко

ИМИТАЦИЯ СГОННО – НАГОННЫХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ МОРЯ В ПОРТАХ СЕВЕРО – ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Обсуждаются результаты адаптации к условиям северо-западной части Черного моря гидродинамической модели, построенной на основе уравнений теории мелкой вода, с целью анализа и прогноза обусловленных ветровым воздействием, колебаний уровня моря на акваториях портов Одесса и Ильичевск. Определены направления совершенствования модели для улучшения ее прогностических свойств и использования в оперативной практике Гидрометцентром Черного и Азовского морей в качестве инструмента автоматизированного прогноза сгонно-нагонных колебаний уровня моря.

В настоящее время для обеспечения безопасности функционирования морехозяйственных объектов в украинском секторе Азово-Черноморского бассейна актуальной является задача автоматизированного диагноза и оперативного прогноза изменчивости гидрометеорологических параметров состояния природной среды. Среди многочисленных гидрофизических параметров, подлежащих определению, прежде всего следует отметить уровень моря. Колебания уровня поверхности, связанные с инициированными ветром сгонно-нагонными процессами, могут приводить к катастрофическим последствиям на побережье и влиять на судоходство. В частности, при штормовых сгонах уменьшаются глубины на барах и отмелях, в гаванях и подходных портовых каналах, что затрудняет работу морского флота. Положение уровня при сгонах влияет на динамическое воздействие волн и течений на берега и морские гидротехнические сооружения.

Непериодические сгонно-нагонные колебания уровня являются следствием реакции свободной поверхности моря на воздействие касательного напряжения ветра и морфометрических особенностей бассейна. В настоящее время в практике оперативного прогноза колебаний уровня моря используются два подхода: статистический, основанный на анализе большого числа данных натурных наблюдений за изменчивостью ветровых условий и колебаниями уровня моря с целью установления статистической связи между ними [1, 2], и гидродинамический, основанный на решении уравнений динамики морских вод в приближениях теории "мелкой воды" [3 – 5].

Статистические методы прогноза уровня моря работают лишь для тех пунктов акватории моря, наблюдения в которых использовались при анализе. Как правило, статистические методы обладают формализмом и не физичны. Наиболее достоверным и физически оправданным методом восстановления и прогноза гидрофизических параметров морской среды является математическое моделирование, основанное на применении уравнений сохранения ее физических

свойств. Подобные методы успешно применяются в оперативной прогностической практике многих стран и их внедрение в систему гидрометеобеспечения Азово-Черноморского бассейна позволит наиболее эффективно и с достаточно высокой оправдываемостью давать прогнозы опасных явлений и гидрологического состояния.

В данной статье представлены результаты адаптации к условиям северо-западной части Черного моря (СЗЧМ) гидродинамической модели для диагноза и прогноза сгонно-нагонных колебаний уровня моря на акваториях портов Одесского региона (Одесса, Ильичевск, Южный). Актуальность данной проблемы продиктована прежде всего угрозой безопасности мореплавания крупнотонажных судов с осадкой более 10 м, возникающей при сильных ветровых сгонах. Например, поскольку акватория п.Ильичевск искусственно углублена до 14 м, а крупнотонажные суда имеют осадку до 13,8 м, то запас воды под килем составляет в подходных каналах всего 20 см. Следовательно, при спаде уровня возникает реальная угроза посадки судов на грунт.

Расчет интегральной по глубине циркуляции вод и колебаний уровня моря в СЗЧМ выполнялся на основе уравнений теории мелкой воды в двумерном приближении [1, 3, 4, 6]:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} - fV + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} = \frac{1}{\rho_w H} (\tau_{xx} - \tau_{bx}), \quad (1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + fU + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} = \frac{1}{\rho_w H} (\tau_{xy} - \tau_{by}), \quad (2)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial (HU)}{\partial x} + \frac{\partial (HV)}{\partial y} = 0. \quad (3)$$

Здесь U , V – компоненты по осям x и y вектора V средней по глубине скорости течений; $H = h + \zeta$ – полная глубина; h – глубина на невозмущенной воде; ζ – отклонение уровенной поверхности от невозмущенного состояния; ρ_w – плотность воды; $\tau(\tau_{xx}, \tau_{xy}), \tau(\tau_{bx}, \tau_{by})$ – векторы касательных напряжений поверхностного и донного трения, соответственно; $f = 2 \cdot \omega \cdot \sin \varphi$ – параметр Кориолиса; ω – вертикальная составляющая вектора углового вращения Земли; φ – широта места; g – ускорение свободного падения; τ – время.

Уравнения (1) – (3) считаются заданными в некоторой области изменения пространственных переменных с достаточно гладкой границей, совпадающей с естественными границами акватории СЗЧМ.

Известно, что геострофическое приспособление длинноволновых (баротропных) мод происходит на расстояниях, сравнимых с внешним радиусом деформации Россби

$$R_o = (gH)^{1/2} / f. \quad (4)$$

где H – характерная глубина водоема. Средняя глубина СЗЧМ составляет ≈ 30 м. Подставляя эту величину в уравнение (4), получаем $R_0 = 170$ км. Следовательно, при моделировании сгонно-нагонных колебаний уровня моря в портах СЗЧМ необходимо рассматривать всю акваторию СЗЧМ, размеры которой соизмеримы с величиной R_0 .

В качестве граничных условий на твердых границах $\Gamma_{тв}$ для системы (1) – (3) ставится условие непротекания: $V_n = 0$; на жидкой границе $\Gamma_{ж}$ – условие излучения [1, 3]: $V_n = \zeta \sqrt{g/H}$, $\partial V_\tau / \partial n = 0$ (V_n и V_τ – соответственно нормальная и тангенциальная к границе составляющие вектора скорости течения, n – единичная внешняя нормаль к граничному контуру Γ).

Вектор касательного напряжения трения ветра определяется следующей зависимостью:

$$\tau_s = \rho_a C_d |\bar{W}_a| \bar{W}_a, \quad (5)$$

где ρ_a – плотность воздуха ($\rho_a = 1,25$ кг/м³); $\bar{W}_a$ – вектор скорости ветра;

$$C_d = \begin{cases} 1,1 \cdot 10^{-3} & \text{при } \bar{W}_a < 6 \text{ м/с,} \\ 10^{-3}(0,61 + 0,063 \bar{W}_a) & \text{при } 6 < \bar{W}_a < 22 \text{ м/с.} \end{cases}$$

Вектор касательного напряжения донного трения определяется квадратичным законом сопротивления

$$\tau_b = \rho_w C_H |\bar{V}| \bar{V}, \quad (6)$$

где $C_H = 2,6 \cdot 10^{-3}$ – коэффициент донного трения.

Оценим время приспособления поля течений и уровенной поверхности СЗЧМ к стационарному ветровому воздействию, используя эмпирические зависимости, приведенные в [7]:

$$T = 1,0 \cdot 10^6 \cdot V \cdot H / W^2, \quad (7)$$

где T – время развития ветрового течения (с), V – средняя по глубине скорость установившегося ветрового течения (м/с), H – средняя глубина исследуемой акватории, W – скорость ветра (м/с).

Скорость ветрового течения на поверхности акватории определим, исходя из теории Экмана:

$$V_{z=0} = 0,0127 \cdot W / \sqrt{\sin \varphi}. \quad (8)$$

От скорости дрейфового течения можно перейти к средней по вертикали скорости разнонаправленного по глубине ветрового течения, используя полученное эмпирическим путем соотношение:

$$V = 0,31 \cdot V_{z=0}. \quad (9)$$

Полагая $H = 30$ м, $\varphi = 46^\circ$ по формулам (7) – (9) получаем, что время установления ветровой циркуляции на акватории СЗЧМ при неизменном ветре силой 10 м/с составляет $\approx 4,5$ ч, при 5 м/с $T \approx 8$ ч. Таким образом, предварительные оценочные расчеты показывают, что

развитие стонно-нагонных колебаний происходит за время, не превышающее необходимую заблаговременность прогноза (1 сут).

В качестве начальных условий задается состояние покоя:

$$\vec{V}(x, y) = 0, \quad \zeta(x, y) = 0 \quad \text{при } t = 0. \quad (10)$$

Это вполне оправдано, поскольку время приспособления течений к внешнему воздействию невелико и значительно меньше рассматриваемых масштабов изменчивости — естественно-синоптического периода.

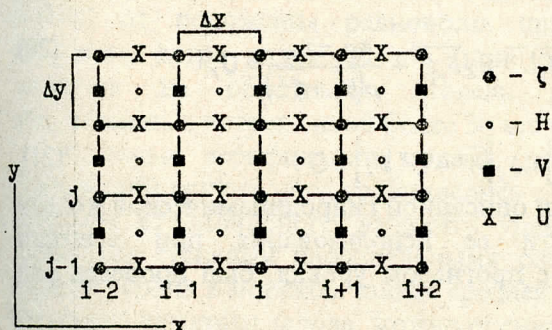


Рис. 1. Структура разностной расчетной сетки и расположение расчетных узлов для конечно-разностной схемы, используемой в модели.

Уравнения модели (1) — (3) с соответствующими граничными условиями аппроксимируются на перемежающейся пространственной сетке (рис. 1) с помощью численного конечно-разностного метода, предложенного в [5]. Приведем его краткое описание.

Положение точки с координатами (x, y, t) задается на дискретной пространственно-временной сетке как $(i\Delta x, j\Delta y, n\Delta t)$, где $i, j, n = 0, \pm 1/2, \pm 1, \pm 3/2, \dots$; $\Delta x, \Delta y, \Delta t$ — шаги по пространству и времени соответственно.

Представление в пространственной области производных и средних значений моделируемых величин покажем на примере переменной x

$$F^x = \frac{1}{2} \{F[(i + \frac{1}{2})\Delta x, j\Delta y, n\Delta t] + F[(i - \frac{1}{2})\Delta x, j\Delta y, n\Delta t]\}, \quad (11)$$

$$\delta_x F = \frac{1}{\Delta x} \{F[(i + \frac{1}{2})\Delta x, j\Delta y, n\Delta t] - F[(i - \frac{1}{2})\Delta x, j\Delta y, n\Delta t]\}, \quad (12)$$

$$\bar{F} = \frac{1}{4} \{F[(i + \frac{1}{2})\Delta x, (j + \frac{1}{2})\Delta y, n\Delta t] + F[(i + \frac{1}{2})\Delta x, (j - \frac{1}{2})\Delta y, n\Delta t] + F[(i - \frac{1}{2})\Delta x, (j + \frac{1}{2})\Delta y, n\Delta t] + F[(i - \frac{1}{2})\Delta x, (j - \frac{1}{2})\Delta y, n\Delta t]\}. \quad (13)$$

Для y и t используются аналогичные аппроксимации, за исключением величин, соответствующих промежуточным временным уровням:

$$\delta_{+1/2} F = \frac{2}{\Delta t} \{F[i\Delta x, j\Delta y, (n + \frac{1}{2})\Delta t] - F(i\Delta x, j\Delta y, n\Delta t)\}, \quad (14)$$

$$F_+ = F[i\Delta x, j\Delta y, (n + \frac{1}{2})\Delta t], \quad (15)$$

$$F_- = F[i\Delta x, j\Delta y, (n - \frac{1}{2})\Delta t], \quad (16)$$

$$F^{1/2} = \frac{1}{2} \{F[i\Delta x, j\Delta y, (n + \frac{1}{2})\Delta t] + F(i\Delta x, j\Delta y, n\Delta t)\}. \quad (17)$$

На каждом временном интервале Δt решение ищется на двух временных подуровнях, которые соответствуют отрезкам времени $[0, n + 1/2]$ и $[n + 3/2, n + 1]$ продолжительностью $\Delta t/2$ каждый.

Рассмотренные ветровые ситуации являются типичными для СЗЧМ с точки зрения возникновения экстремальных сгонных явлений. Так, например, первая ситуация характеризовалась экстремальным понижением уровня моря в п.Одесса и п.Ильичевск (до 1 м) в результате прохождения центра циклона 3 – 4 ноября 1981 г. над СЗЧМ. Вторая ситуация обусловлена прохождением над СЗЧМ ложбины циклона, центр которого располагался над северной частью Украины. При этом, 18 января 1992 г. наблюдалось опасное для судоходства понижение уровня моря в районах указанных портов на величину около 70 см.

Поскольку для рельефа дна СЗЧМ характерен резкий овал глубин с 5 до 20 м в узкой прибрежной полосе, ширина которой значительно меньше пространственного шага расчетной сетки, то возрастание амплитуды колебаний уровня моря при выходе длинной волны на мелководье учитывалось введением пересчетного множителя:

$$\zeta_{ш} = \zeta_{г} \sqrt{H_{г}/H_{ш}}. \quad (23)$$

Здесь $\zeta_{г}$ – уровень моря в глубокой части моря (модельный), $\zeta_{ш}$ – уровень моря в точке наблюдения (в прибрежной полосе), $H_{г}$ и $H_{ш}$ – глубины в ближайшей к берегу расчетной точке и в точке наблюдения соответственно. Соотношение (23) следует из условия неразрывности полного потока $Q = \zeta \sqrt{gH}$ при выходе длинной волны на кромку шельфа [8] и фактически представляет собой упрощенную форму телескопизации.

Результаты верификации модели по данным наблюдений гидрометстанций портов представлены на рис.3.

В целом расчеты показали, что используемая гидродинамическая модель способна правильно описывать тенденции к пог ижению уровня моря в результате ветровых сгонов, наблюдаемых при конкретных синоптических ситуациях. Получено удовлетворительное соответствие модельных и наблюдаемых кривых временного хода уровня моря на акваториях аванпортов Одесского региона, хотя и имеют место некоторые количественные расхождения в величинах сгонов и поведении кривых.

На наш взгляд количественные ошибки при имитации колебаний уровня моря с помощью гидродинамической модели в рассмотренных выше примерах обусловлены несколькими причинами: заданием поля ветра, неизменным по пространству; крупным пространственным шагом расчетной сетки, привязкой к данным наблюдений, которые выполнены на незначительном удалении от береговой кромки моря (в зоне прибрежного мелководья), где колебания уровня поверхности моря определяются не только ветровым, но и волновым нагоном [3]. В результате указанных причин не учитываются локальные (с точки зрения принятой пространственной дискретизации) особенности зон, в которых расположены наблюдательные посты.

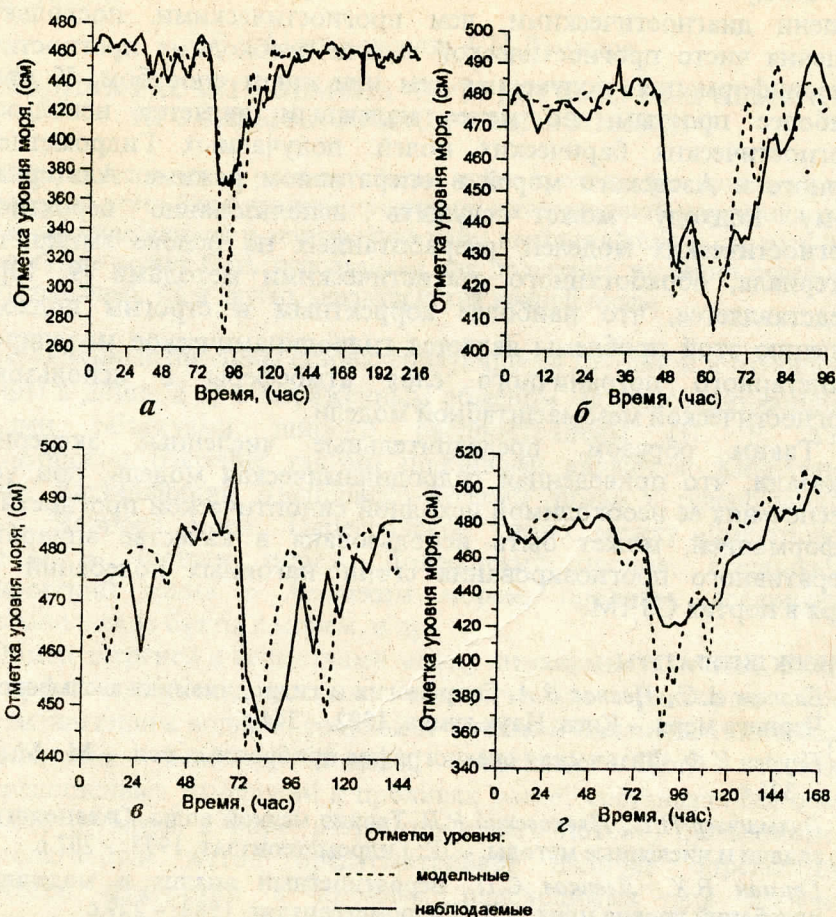


Рис. 3. Реальные и рассчитанные по модели колебания отметок уровня моря в п.Ильичевск (а – в) и п.Южный (г) при конкретных синоптических ситуациях, приводящих к опасным сгонам в периоды 0 часов 31 октября – 23 часа 8 ноября 1981 г. (а); 0 часов 16 января – 23 часа 19 января 1992 г. (б); 6 часов 26 января – 12 часов 31 января 1997 г. (в); 6 часов 5 апреля – 12 часов 11 апреля 1997 г. (г).

Можно полагать, что для существенного улучшения точности расчетов необходимо:

1. Для детализации морфометрических особенностей в зонах прогноза перейти к обобщенной криволинейной системе координат, либо решать задачу телескопизации.
2. Привлечение метеорологической информации с сети гидрометстанций, позволяющей воспроизводить пространственную структуру полей атмосферного давления и ветра в приводном слое СЗЧМ.
3. Учитывать анемобарический эффект и волновой нагон в изменении уровня моря.

Следует отметить, что выполненные расчеты являются в большей степени диагностическими, чем прогностическими, поскольку для решения чисто прогностической задачи необходима прогностическая метеоинформация, полученная тем или иным способом. К примеру наиболее простым, но менее надежным является использование прогностических барических полей, получаемых Гидрометцентром Черного и Азовского морей в оперативном режиме. Альтернативой этому подходу может служить использование вероятностных прогностических моделей, разработанных на основе эмпирического материала, обработанного статистическими методами [9, 10]. Нам представляется, что наиболее корректным и строгим подходом к решению этой проблемы является гидродинамическое моделирование планетарного пограничного слоя атмосферы с использованием прогностической мезомасштабной модели.

Таким образом, предварительные численные эксперименты показали, что приведенная гидродинамическая модель, при условии обеспечения ее необходимой исходной синоптической прогностической информацией, может быть использована в качестве аппарата для оперативного прогнозирования сгонно-нагонных колебаний уровня моря в портах СЗЧМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блатов А.С., Иванов В.А. Гидрология и гидродинамика шельфовой зоны Черного моря. – Киев: Наук.думка, 1992. – 344 с.
2. Боуден К.Ф. Физическая океанография прибрежных вод. – М.: Мир, 1988. – 326 с.
3. Волыцингер Н.Е., Пясковский Р.В. Теория мелкой воды. Океанологические задачи и численные методы. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 207 с.
4. Герман В.Х., Левиков С.П. Вероятностный анализ и моделирование колебаний уровня моря. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 229 с.
5. Макаринский О.Н. К вопросу о статистическом моделировании ветровых ситуаций // Метеорология, климатология и гидрология. – Одесса: ОГМИ, 1995. – С. 35 – 51.
6. Некрасов А.В. Приливные волны в окраинных морях. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – С. 195 – 200.
7. Солаков Д., Филипов А. Исследование непериодических колебаний уровня в порту Ильичевки // Проблемы географии, кн.4. – София, 1981. – С. 47 – 53.
8. Судольский А.С. Динамические явления в водоемах. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 262 с.
9. Цветова Е.А. О параметризации атмосферных воздействий в задачах численного моделирования динамики моря // Метеорология и гидрология. – 1979. – № 2. – С. 105 – 108.
10. Liu S.K., Leendertse J.J. Multidimensional numerical modeling of estuaries and coastal seas // Adv. Hydrosce. – № 11. – 1978. – P. 95 – 164.

Гидрометцентр Черного и Азовского морей,
Одесский филиал Института биологии южных морей НАН Украины,
г.Одесса

Следует отметить, что выполненные расчеты являются в большей степени диагностическими, чем прогностическими, поскольку для решения чисто прогностической задачи необходима прогностическая метеоинформация, полученная тем или иным способом. К примеру, наиболее простым, но менее надежным является использование прогностических барических полей, получаемых Гидрометцентром Черного и Азовского морей в оперативном режиме. Альтернативой этому подходу может служить использование вероятностных прогностических моделей, разработанных на основе эмпирического материала, обработанного статистическими методами [9, 10]. Нам представляется, что наиболее корректным и строгим подходом к решению этой проблемы является гидродинамическое моделирование планетарного пограничного слоя атмосферы с использованием прогностической мезомасштабной модели.

Таким образом, предварительные численные эксперименты показали, что приведенная гидродинамическая модель, при условии обеспечения ее необходимой исходной синоптической прогностической информацией, может быть использована в качестве аппарата для оперативного прогнозирования сгонно-нагонных колебаний уровня моря в портах СЗЧМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блатов А.С., Иванов В.А. Гидрология и гидродинамика шельфовой зоны Черного моря. – Киев: Наук.думка, 1992. – 344 с.
2. Боуден К.Ф. Физическая океанография прибрежных вод. – М.: Мир, 1988. – 326 с.
3. Вольцингер Н.Е., Пясковский Р.В. Теория мелкой воды. Океанологические задачи и численные методы. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 207 с.
4. Герман В.Х., Левиков С.П. Вероятностный анализ и моделирование колебаний уровня моря. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 229 с.
5. Макаринский О.Н. К вопросу о статистическом моделировании ветровых ситуаций // Метеорология, климатология и гидрология. – Одесса: ОГМИ, 1995. – С. 35 – 51.
6. Некрасов А.В. Приливные волны в окраинных морях. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – С. 195 – 200.
7. Солаков Д., Филипов А. Исследование непериодических колебаний уровня в порту Ильичевки // Проблемы на географията, кн.4. – София, 1981. – С. 47 – 53.
8. Судольский А.С. Динамические явления в водоемах. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 262 с.
9. Цветова Е.А. О параметризации атмосферных воздействий в задачах численного моделирования динамики моря // Метеорология и гидрология. – 1979. – № 2. – С. 105 – 108.
10. Liu S.K., Leendertse J.J. Multidimensional numerical modeling of estuaries and coastal seas // Adv. Hydrosoci. – № 11. – 1978. – P. 95 – 164.

Гидрометцентр Черного и Азовского морей,
Одесский филиал Института биологии южных морей НАН Украины,
г.Одесса