

**ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЯ
І ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО
СЕРЕДОВИЩА — 2002**



Міністерство освіти і науки України
Одеський державний екологічний університет

**“Гідрометеорологія і охорона навколишнього
середовища-2002”**

*Тези доповідей до ювілейної міжнародної конференції,
присвяченої 70-річчю утворення
Одеського державного екологічного університету*

45. Ляшенко А.В., Харченко Т.А. Экологические проблемы Килийской дельты Дуная.....	216
46. Щербак А.В., Соседко М.М. Система непрерывного прогнозирования десятидневных витрат і рівнів води на річкових ділянках Дунаю із завчасністю 10, 20 і 30 діб.....	218
47. Кір'янова К.В. Водогосподарський комплекс Північно- Західного регіону України.....	220
48. Кузниченко С.Д. О моделировании водно-солевого баланса оз.Ялпуг-Кугурлай.....	222
49. Родошкіна К.О. Про особливості формул граничної інтенсивності.....	223
50. Шаменкова О.И. Оценка грунтового стока рек Дунай-Днестровского междуречья с использованием естественных ортогональных функций.....	224
51. Краснова О.В. О коэффициентах паводочного стока в Закарпатье.....	226

ОКЕАНОЛОГИЯ

1. Полонский А.Б., Башарин Д.В., Воскресенская Е.Н., Джиганшин Г.Ф. Северо-атлантическое и Южное колебания, изменчивость характеристик деятельного слоя океана в Северной Атлантике и европейский климат.....	227
2. Ivanov S.V. Adjoint sensitivity calculations in mesoscale data assimilation.....	228
3. Ломакін П.Д. Океанографічні дослідження України в Антарктиці. Досвід, проблеми та перспективи.....	230
4. Суховой В.Ф., Говоруха Л.С., Тимофеев В.Е., Сыгов В.Н. Гидрометеорологические исследования на украинской антарктической станции "Академик Вернадский" и их перспективы.	232
5. Ломакин П.Д. Океанографические условия в зоне слияния вод морей Уэдделла и Скотия осенью 1997, 1998 гг. и их влияние на распределение криля и салпы.....	234
6. Малюга Э.Е. Изменчивость циркуляционного Антарктического течения в проливе Дрейка.....	236
7. Ациховская Ж.М., Иванов В.Н., Ломакин П.Д., Немировский М.С. Структура вод и течения у побережья Севастополя.....	238
8. Андрианова О.В., Скипа М.И. Использование акустических методов в задачах контроля состояния морской среды (на примере Черного моря).....	240
9. Воля Е.Г., Рыжко В.Е. Роль метеорологических факторов в биологических процессах (на примерах двух водоемов северо-западного Причерноморья).....	242
10. Капочкин Б.Б., Кучеренко Н.В., Лисоводский В.В., Равичева Т.В., Доля В.Д. Прогноз погоды в приземном слое атмосферы как элемент общего прогноза синоптической обстановки.....	244
11. Тучковенко Ю.С. Численная гидродинамическая модель для расчета суммарных течений в эстуарных зонах и лиманах СЗЧМ.....	246
12. Доценко С.А. Изменчивость термохалинной структуры и циркуляции вод в Одесском регионе.....	248

ЧИСЛЕННАЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ РАСЧЕТА СУММАРНЫХ ТЕЧЕНИЙ В ЭСТУАРНЫХ ЗОНАХ И ЛИМАНАХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Рассматриваемая гидродинамическая модель построена по аналогии с известной моделью Хесса МЕССА (Model for Estuarine and Coastal Circulation Assessment) [1] для эстуарных зон. Эта модель позволяет рассчитывать трехмерную термохалинную структуру вод, интенсивность турбулентного обмена, а также приливные, ветровые и плотностные течения в эстуариях, заливах, лиманах и на мелководном континентальном шельфе.

Характерной особенностью данной модели является то, что она позволяет одновременно производить расчеты динамики вод и распространения примеси на акватории сопряженных водных объектов как сеточного, так и подсеточного масштабов. В данном случае, под водными объектами сеточного масштаба понимаются заливы, бухты, лиманы, участки морского шельфа, пространственные размеры которых намного превышают шаг горизонтальной расчетной сетки численной модели. Подсеточными называются водные объекты, одна из горизонтальных геометрических характеристик которых значительно меньше шага расчетной сетки (например, узкие реки, каналы, проливы).

Указанное свойство модели имеет особенно важное значение для корректного описания динамики вод в устьевых областях рек Дунай, Днепр, Южный Буг, а также циркуляции вод как в самих лиманах, где есть узости (например, Сухой лиман), так и водообмена между ними и северо-западной частью Черного моря через узкие проливы.

Базовыми уравнениями модели являются:

• уравнения движения в приближении Буссинеска в правой декартовой системе координат:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial uw}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} + fv + \frac{\partial}{\partial x} \left(2A_h \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_h \left[\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right] \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_v \frac{\partial u}{\partial z} \right), \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial vu}{\partial x} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial vw}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial y} - fu + \frac{\partial}{\partial y} \left(2A_h \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(A_h \left[\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right] \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_v \frac{\partial v}{\partial z} \right), \quad (2)$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} = -g\rho, \quad (3)$$

• уравнение неразрывности:
$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad (4)$$

• уравнение состояния:
$$\rho = \rho(T, S), \quad (5)$$

• уравнения сохранения для температуры и солёности:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(uS - D_h \frac{\partial S}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(vS - D_h \frac{\partial S}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(wS - D_v \frac{\partial S}{\partial z} \right) = 0, \quad (6)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(uT - D_h \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(vT - D_h \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(wT - D_v \frac{\partial T}{\partial z} \right) = R, \quad (7)$$

Здесь u, v, w - компоненты вектора скорости течений \vec{v} в направлениях x, y, z , соответственно; t - время; P - давление, $\rho_0 = const$; f - параметр Кориолиса; A_h, A_v - коэффициенты горизонтальной и вертикальной турбулентности, соответственно; ρ - плотность воды; g - ускорение свободного падения; D_h и D_v - коэффициенты

горизонтальной и вертикальной диффузии, соответственно; R - внутренний источник тепла, связанный с поглощением солнечной радиации; T, S - температура и соленость воды.

Для моделирования течений и переноса субстанций в каналах или реках на подсеточных масштабах, исходная система уравнений интегрировалась поперек потока (т.е. в нормальном к потоку направлении в горизонтальной плоскости). Пределы интегрирования определяют ширину потока (реки, канала). Новая система уравнений, используемая в модели, получается в результате объединения проинтегрированных поперек потока и исходных уравнений таким образом, чтобы при отсутствии канала (трехмерный поток) получалась исходная система уравнений, а при его наличии – осредненные поперек потока уравнения (двумерный поток):

$$\frac{\partial u}{\partial t} + B_x^{-1} \frac{\partial B_x u^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial uw}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} + f_v + B_x^{-1} \frac{\partial}{\partial x} \left(2B_x A_h \frac{\partial u}{\partial x} \right) + (1 - \beta_c) \frac{\partial}{\partial y} \left(A_h \left[\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right] \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_v \frac{\partial u}{\partial z} \right) - \beta_c C_{ws} B_x^{-1} |u|, \quad (8)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial vu}{\partial x} + B_y^{-1} \frac{\partial B_y v^2}{\partial y} + \frac{\partial vw}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial y} - f_u + B_y^{-1} \frac{\partial}{\partial y} \left(2B_y A_h \frac{\partial v}{\partial y} \right) + (1 - \beta_c) \frac{\partial}{\partial x} \left(A_h \left[\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right] \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_v \frac{\partial v}{\partial z} \right) - \beta_c C_{ws} B_y^{-1} |v|, \quad (9)$$

$$B_x^{-1} \frac{\partial B_x u}{\partial x} + B_y^{-1} \frac{\partial B_y v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad (10)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + B_x^{-1} \frac{\partial}{\partial x} \left(B_x u S - B_x D_h \frac{\partial S}{\partial x} \right) + B_y^{-1} \frac{\partial}{\partial y} \left(B_y v S - B_y D_h \frac{\partial S}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(w S - D_v \frac{\partial S}{\partial z} \right) = 0, \quad (11)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + B_x^{-1} \frac{\partial}{\partial x} \left(B_x u T - B_x D_h \frac{\partial T}{\partial x} \right) + B_y^{-1} \frac{\partial}{\partial y} \left(B_y v T - B_y D_h \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(w T - D_v \frac{\partial T}{\partial z} \right) = R. \quad (12)$$

Здесь B_x и B_y - ширина потока в направлениях x и y , соответственно; β_c - множитель, равный нулю, если канал отсутствует; C_{ws} - коэффициент бокового трения о стенку канала. Уравнения (8)-(12) автоматически переходят в уравнения (1), (2), (4), (6) и (7), если положить $\beta_c = 0$ и $B_x = B_y = 1$. Уравнения гидростатики и состояния не изменяются.

При численной реализации приведенной выше системы уравнений используется криволинейная по вертикали система координат, что, с одной стороны, улучшает вычислительные свойства модели, а с другой - позволяет более точно описать вертикальную динамическую и термохалинную структуру вод в области малых глубин.

Модель построена так, что позволяет рассчитывать как суммарные течения, так и выделять отдельно их ветровую, термохалинную и стоковую составляющие. Поскольку структура модели и ее возможности максимально соответствуют гидродинамическим условиям северо-западной части Черного моря, ее предполагается использовать в качестве базовой для построения более общей модели качества вод исследуемой экосистемы.

Список литературы

1. Hess K.W. MECCA Program Documentation NOAA. Technical Report NESDIS 46.- Wash., D.C., USA, 1989. - 200 p.