

MÔ HÌNH TẦNG BIÊN THÊM LỤC ĐỊA

Lê Thị Quỳnh Hà - Viện Cơ học ứng dụng

Trường Đại học Khí tượng Thủy văn Odessa, Ukraine

Mô hình 3 chiều không dừng của tầng biên thêm lục địa (TBTLĐ) được xây dựng trên cơ sở giải hệ các phương trình thủy động lực học và nhiệt động lực học. Hệ phương trình này được khép kín trong phạm vi K - Lý thuyết với các phương trình động năng chảy rối và vận tốc tiêu tán của nó, hệ thức Kolmogorov và Smagorinsky. Mô hình tính đến tác động của gió bề mặt, khoảng cách đến bờ, độ sâu của biển đến cấu trúc của TBTLĐ. Xác lập sự thay đổi của mực nước biển do tác động của gió cần phải tính đến trong mô hình TBTLĐ.

Thực nghiệm số của mô hình được tiến hành cho các điều kiện hình thái học và khí tượng thủy văn khác nhau. Trong các cuộc thực nghiệm đã nhận được sự lệch trái của dòng chảy bề mặt so với vectơ gió, cùng với sự quay trái của vectơ dòng chảy theo độ sâu ở nửa cầu bắc. Mô hình được áp dụng để tính các đặc tính của TBTLĐ vịnh Odessa đối với gió có vận tốc và hướng có tần suất năm lớn nhất. Sự so sánh giữa các số liệu quan trắc và kết quả tính toán cho thấy có sự trùng khớp tốt.

Trong thời gian gần đây vấn đề sử dụng và khai thác vùng thêm lục địa đang đóng vai trò quan trọng trong nền kinh tế quốc dân. Trong rất nhiều bài toán ứng dụng hiện đại, sự hiểu biết cấu trúc hoàn lưu - chảy rối của vùng nước cận ven bờ biển là hết sức cần thiết. Bởi vậy, việc xây dựng các phương pháp miêu tả định lượng hiện đại các thông số này đang là một vấn đề khoa học được chú ý nhiều. Trong bài báo này chúng tôi xin trình bày một trong những phương án nghiên cứu của vấn đề đã nêu.

1. Đặt vấn đề mô hình tầng biên thêm lục địa và các phương trình cơ bản

Chúng ta xem xét bài toán miêu tả vùng nước cận ven bờ hoặc đại dương, các quá trình trong vùng được xác định bởi các hiệu ứng không dừng của các chuyển động có trật tự theo phương ngang và phương thẳng đứng, các trao đổi rối theo phương thẳng đứng và phương ngang, của sự phân tầng, tà áp (baroclinic) và sự quay của trái đất. Chúng ta sẽ gọi vùng này là tầng biên thêm lục địa (TBTLĐ). Các yếu tố ngoài đối với sự hình thành cấu trúc TBTLĐ là tác động động lực của khí quyển, sự tương tác lẫn nhau của TBTLĐ với các bề mặt nhám của đáy và bờ biển, hiệu ứng phá vỡ sóng bề mặt và hiện tượng dâng rút nước do gió. Trong vùng ven bờ, gió gây ra dòng chảy trôi và tạo ra một độ nghiêng đáng kể của bề mặt nước biển tự do do hiện tượng dâng rút nước do gió. Từ đó suy ra sự cần thiết phải tính đến ảnh hưởng của các dòng chảy địa chuyển liên quan đến độ nghiêng mực nước biển này. Ảnh hưởng của sự không bằng phẳng của đáy được tính đến bằng cách đưa vào cao độ không thứ nguyên $\eta = z/H(x, y)$; η tính từ mực nước biển cân bằng.

Để miêu tả TBTLĐ chúng ta sử dụng kết quả các nghiên cứu hiện đại trong lĩnh vực thủy động lực học địa vật lý [1, 2, 3]. Hệ phương trình khép kín miêu tả TBTLĐ được viết dưới dạng sau:

Phương trình chuyển động

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + L(u) = & -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P_a}{\partial x} - gH \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{gH}{\rho} \int_{\zeta}^{\eta} \frac{\partial \rho}{\partial x} d\eta' + \frac{g}{\rho} \frac{\partial H}{\partial x} \int_{\zeta}^{\eta} \rho d\eta' + \\ & + g\eta \frac{\partial H}{\partial x} + fv + \frac{1}{H^2} \frac{\partial}{\partial \eta} K_z \frac{\partial u}{\partial \eta} + F_u, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + L(v) = & -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P_a}{\partial y} - gH \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{gH}{\rho} \int_{\zeta}^{\eta} \frac{\partial \rho}{\partial y} d\eta' + \frac{g}{\rho} \frac{\partial H}{\partial y} \int_{\zeta}^{\eta} \rho d\eta' + \\ & + g\eta \frac{\partial H}{\partial y} - fu + \frac{1}{H^2} \frac{\partial}{\partial \eta} K_z \frac{\partial v}{\partial \eta} + F_v, \end{aligned} \quad (2)$$

phương trình đối với độ lệch mực nước biển

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = \frac{\partial S_x}{H \partial x} + \frac{\partial S_y}{H \partial y} + \frac{\zeta u_{\zeta}}{H} \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\zeta v_{\zeta}}{H} \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{S_x}{H^2} \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{S_y}{H^2} \frac{\partial H}{\partial y}, \quad (3)$$

phương trình truyền nhiệt

$$\frac{\partial T}{\partial t} + L(T) = \alpha_T \frac{1}{H^2} \frac{\partial}{\partial \eta} K_z \frac{\partial T}{\partial \eta} + F_T, \quad (4)$$

khuếch tán độ mặn

$$\frac{\partial S}{\partial t} + L(S) = \alpha_s \frac{1}{H^2} \frac{\partial}{\partial \eta} K_z \frac{\partial S}{\partial \eta} + F_s, \quad (5)$$

cân bằng động năng chảy rối

$$\begin{aligned} \frac{\partial b}{\partial t} + L(b) = & \frac{K_z}{H^2} \left[\left(\frac{\partial u}{\partial \eta} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial \eta} \right)^2 \right] - \alpha_p \frac{g}{\rho} \frac{K_z}{H} \frac{\partial \rho}{\partial \eta} + \\ & + \alpha_b \frac{1}{H^2} \frac{\partial}{\partial \eta} K_z \frac{\partial b}{\partial \eta} - \alpha_{\varepsilon} \frac{b^2}{K_z} + K_L (D_s^2 + D_T^2), \end{aligned} \quad (6)$$

vận tốc tiêu tán động năng rối

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + L(\varepsilon) = & \alpha_1 \frac{\varepsilon}{b} \frac{K_z}{H^2} \left[\left(\frac{\partial u}{\partial \eta} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial \eta} \right)^2 \right] - \\ & - \alpha_4 \frac{\varepsilon}{b} \frac{g}{\rho} \frac{K_z}{H} \frac{\partial \rho}{\partial \eta} + \alpha_2 \frac{1}{H^2} \frac{\partial}{\partial \eta} K_z \frac{\partial \varepsilon}{\partial \eta} - \alpha_3 \frac{\varepsilon^2}{b}, \end{aligned} \quad (7)$$

phương trình liên tục

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{1}{H} \frac{\partial w}{\partial \eta} - \frac{\eta}{H} \left(\frac{\partial H}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial \eta} + \frac{\partial H}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial \eta} \right) = 0, \quad (8)$$

thủy tĩnh

$$\frac{1}{H} \frac{\partial P}{\partial \eta} = g \rho, \quad (9)$$

trạng thái

$$\rho = \rho(T, S, \eta) \quad (10)$$

hệ thức Kolmogorov

$$K_\varepsilon = \alpha_\varepsilon b^2 / \varepsilon, \quad (11)$$

hệ thức Smagorinsky

$$K_L = C_2 [(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2] \sqrt{D_T^2 + D_S^2}, \quad (12)$$

Các ký hiệu ở đây:

$$b = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 \overline{(u'_i)^2}, \quad \varepsilon = \frac{\nu}{2} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \overline{\left(\frac{\partial u'_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u'_j}{\partial x_i} \right)^2},$$

$$L(\mu) = \frac{\partial \mu u}{\partial x} + \frac{\partial \mu v}{\partial y} + \frac{1}{H} \frac{\partial \mu w}{\partial \eta} - \frac{\eta}{H} \left(\frac{\partial \mu u}{\partial \eta} \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial \mu v}{\partial \eta} \frac{\partial H}{\partial y} \right),$$

trong đó $\mu = [u, v, T, S, b, \varepsilon]$,

$$S_x = H \int_0^1 u d\eta,$$

$$S_y = H \int_0^1 v d\eta,$$

$$F_u = \frac{\partial(K_L \cdot D_T)}{\partial x} + \frac{\partial(K_L \cdot D_S)}{\partial y} - \frac{\eta}{H} \left(\frac{\partial H}{\partial x} \frac{\partial(K_L \cdot D_T)}{\partial \eta} + \frac{\partial H}{\partial y} \frac{\partial(K_L \cdot D_S)}{\partial \eta} \right),$$

$$F_v = \frac{\partial(K_L \cdot D_S)}{\partial x} - \frac{\partial(K_L \cdot D_T)}{\partial y} - \frac{\eta}{H} \left(\frac{\partial H}{\partial x} \frac{\partial(K_L \cdot D_T)}{\partial \eta} - \frac{\partial H}{\partial y} \frac{\partial(K_L \cdot D_T)}{\partial \eta} \right),$$

$$F_\mu = \frac{\partial(K_L \cdot \mu_1)}{\partial x} - \frac{\partial(K_L \cdot \mu_2)}{\partial y} - \frac{\eta}{H} \left(\frac{\partial H}{\partial x} \frac{\partial(K_L \cdot \mu_1)}{\partial \eta} - \frac{\partial H}{\partial y} \frac{\partial(K_L \cdot \mu_2)}{\partial \eta} \right),$$

$$\mu_1 = \frac{\partial \mu}{\partial x} - \frac{\eta}{H} \frac{\partial H}{\partial x} \frac{\partial \mu}{\partial \eta},$$

$$\mu_2 = \frac{\partial \mu}{\partial y} - \frac{\eta}{H} \frac{\partial H}{\partial y} \frac{\partial \mu}{\partial \eta},$$

trong đó $\mu = [T, S]$,

$$D_T = \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{\eta}{H} \left(\frac{\partial H}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial \eta} - \frac{\partial H}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial \eta} \right), \quad D_S = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\eta}{H} \left(\frac{\partial H}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial \eta} + \frac{\partial H}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial \eta} \right),$$

trong đó D_T, D_S : các thành phần ngang và dọc của vectơ biến dạng.

Ở đây t – thời gian; u, v, w, u', v', w' – các thành phần của các vectơ vận tốc trung bình và xung vận tốc theo các trục x, y, z ; ρ – khối lượng riêng của nước biển; P – áp suất; T – nhiệt độ; S – độ mặn; f – hệ số Coriolis; b, ε – động năng chảy rối và tốc độ tiêu tán của nó; K_z, K_L – hệ số khuếch tán rối theo phương thẳng đứng và phương ngang; g – gia tốc rơi tự do; ξ – độ lệch của mực nước biển đối với mực nước biển trung bình; $\zeta = -\xi/H$ – độ lệch tương đối; H – độ sâu; P_a – áp suất khí quyển tại mặt biển; $\Delta x, \Delta y$ – các bước lưới theo phương ngang; α với các chỉ số – các hằng số vận năng đã biết.

Ở đây chúng ta nói cụ thể hơn về phương pháp khép kín hệ phương trình thủy động lực học và nhiệt động lực học. Nói chung hiện nay trong các bài toán ứng dụng thì phép tham số hóa tầng biên thêm lục địa vẫn đang là cách tiếp cận tối ưu nhất. Hiệu quả của cách tiếp cận này ở một mức độ đáng kể phụ thuộc vào phương pháp xác định các hệ số chảy rối theo phương pháp thẳng đứng và phương ngang [3].

Khi miêu tả sự xáo trộn rối ngang chúng ta tính rằng quy mô các xoáy tham gia vào trao đổi thực tế có thể thay đổi từ những nhiễu loạn nhỏ đến những nhiễu loạn có quy mô so sánh được với kích thước của vùng được xét. Do đó, sự miêu tả rối ngang có thể chia ra làm miêu tả ngẫu nhiên và miêu tả xác định tùy vào quy mô tới hạn phân chia các quá trình nền và quá trình dưới lưới. Một cách tự nhiên ta chọn quy mô tới hạn bằng hai lần bước chia lưới, đại lượng này cũng được coi là quy mô đặc trưng của các xoáy. Như vậy, các xoáy với quy mô $L < 2\delta S$ là các xoáy “dưới lưới” và có thể miêu tả bằng phương pháp tham số hóa. Bản chất của phương pháp này trong phạm vi “K – lý thuyết chảy rối” là như sau:

Thứ nhất, chúng ta sử dụng lý thuyết rối hai chiều, theo đó các dòng xung lượng rối tỷ lệ thuận với các thành phần của vectơ biến dạng vận tốc.

Thứ hai, sử dụng tương tự của hệ thức Prandtl theo đó hệ số khuếch tán rối ngang tỷ lệ với tích của bình phương quy mô đặc trưng của xoáy với modun vectơ biến dạng.

Từ những điều trên công thức cho hệ số khuếch tán ngang sẽ có dạng hệ thức Smagorinsky.

Để khép kín theo hệ số rối thẳng đứng ta sử dụng giả thiết Kolmogorov [4], theo đó khi mô phỏng sự trao đổi rối thẳng đứng có thể lựa chọn hai đặc tính chủ đạo của khuếch tán rối, qua đó có thể xác định đơn trị các đặc tính khác. Một trong hai đặc tính chủ đạo này một cách tự nhiên ta chọn là động năng các xoáy rối, còn đặc tính thứ hai – vận tốc tiêu tán động năng chảy rối. Sự lựa chọn này xuất phát từ cơ sở là cùng với động năng rối, vận tốc tiêu tán này xác định khoảng thời gian đặc trưng của các quá trình dưới lưới. Trên cơ sở các lý lẽ trên chúng ta nhận được hệ thức Kolmogorov cho hệ số khuếch tán rối thẳng đứng.

Như vậy, theo sơ đồ khép kín trên bài toán xác định chảy rối dẫn đến xác định thêm hai ẩn số bổ sung – động năng chảy rối b và vận tốc tiêu tán động năng

chảy rối ε . Để xác định chúng ta sử dụng các phương trình nhận được trên cơ sở các phương trình cho các momen bậc hai của các xung vận tốc, các phương trình này đến lượt mình nhận được từ các phương trình Nave – Stock và Reynolds [1, 3, 5]. Sự kiện các phương trình dành cho b và ε xây dựng trên cơ sở một phương pháp luận thống nhất là một ưu điểm rõ ràng của sơ đồ khép kín này. Ngoài ra phương trình tính ε miêu tả dòng động năng từ vùng các xoáy mang năng lượng sang vùng tiêu tán và sự hấp thụ trong dãy tiêu tán, điều này phù hợp với quan niệm mô phỏng các xoáy lớn [6]. Các lý lẽ trên là luận chứng quan trọng cho quyết định vận dụng sơ đồ khép kín “ $b - \varepsilon$ ” trong mô hình TBTLD.

Để giải hệ khép kín của các phương trình miêu tả TBTLD ta cần phải thiết lập điều kiện biên và điều kiện ban đầu. Điều kiện biên trên mặt biển được ghi dưới dạng các hệ thức miêu tả các cơ chế hình thành các dòng xung lượng rối, có tính đến việc phân phối chúng để tạo thành dòng chảy trôi và sóng, các dòng động năng rối do sụp đổ sóng bề mặt, sự tiêu tán trong bề mặt, sự tiêu tán trong tầng nhám của biển, các trường nhiệt độ và độ mặn bề mặt. Ở đây đặt điều kiện dính, điều kiện các dòng rối nhiệt và độ mặn không chuyển từ nước vào đất, giá trị của động năng chảy rối và vận tốc tiêu tán ở đáy. Các giá trị này được xác định qua giá trị vận tốc động ở đáy và độ nhám của đáy biển, giá trị này được dẫn ra ở [7].

Trên mặt biển dòng động năng rối có tính đến hiệu ứng sụp đổ sóng bề mặt. Giá trị của ε nhận được bằng cách vận dụng hệ thức Kolmogorov cho tầng tiêu tán cực đại. Độ dày của tầng này được xác định theo công thức thực nghiệm [8].

Đối với các thành phần của vận tốc dòng chảy tại biên cứng (bờ biển) chúng ta đặt điều kiện dính, tại các biên lỏng chúng ta đặt điều kiện chảy tự do. Đối với các tham số của khuếch tán rối, nhiệt độ và độ mặn chúng ta đặt điều kiện chảy tự do tại tất cả các biên.

Lựa chọn điều kiện ban đầu cho bài toán này là một vấn đề khá phức tạp. Nếu như với các đại lượng thủy lý trường giá trị ban đầu có thể nhận được từ số liệu quan trắc, thì b và ε chỉ có thể nhận được bằng tính toán. Do trong các phương trình này không có các tác động cưỡng bức; nên thuật toán để tính các giá trị ban đầu phải sao cho khi sử dụng chúng trong bài toán không dùng phải được thực hiện nhánh có ý nghĩa vật lý, chứ không phải nhánh “ảo”. Do đó, để tính các hàm số cần tìm ở thời điểm đầu đã sử dụng phiên bản giả hai chiều của bài toán, trong đó có tính đến ảnh hưởng của dòng chảy địa chuyển [9, 10]. Thực nghiệm số cho thấy rằng mô hình giả hai chiều phản ánh được các yếu tố chủ chốt của sự hình thành cấu trúc không gian của tầng biên thềm lục địa và có thể sử dụng để tính các giá trị ban đầu.

Như vậy, bài toán mô hình TBTLD nêu trên là bài toán khép kín, có tính đến các cơ cấu vật lý chủ yếu của sự hình thành các đặc tính thủy vật lý và chảy rối trung bình trong không gian ba chiều của vùng ven bờ, và có thể thực hiện được với các phương pháp số hiện đại.

Sự miêu tả định lượng các quy luật phân bố không gian của dòng chảy và các đặc tính rối được thực hiện theo hai hướng:

1. Bằng phương pháp thực nghiệm số nghiên cứu phản ứng của một cấu trúc TBTLD đối với các ảnh hưởng ngoài cho trước,
2. Phục hồi sự phân bố ngang và dọc của các đặc tính TBTLD cho một vùng ven bờ cụ thể (Vịnh Odessa).

Các kết quả nhận được sẽ được xem xét trong các phần sau của bài báo.

2. Kết quả thực nghiệm số

Các thực nghiệm số của mô hình TBTLD được thực hiện cho miền hình chữ nhật có ba biên lỏng và một biên cứng (bờ). Dọc theo bờ ta hướng trục Oy sao cho ở phía trái là đất liền. Hướng gió φ được tính từ trục Oy theo chiều kim đồng hồ. Thực nghiệm số được tiến hành cho các tham số ngoài không đổi và biến thiên theo trục x . Dọc theo trục y các tham số ngoài không thay đổi. Do đó, trong tất cả các thực nghiệm số, sự không thuần nhất của các đại lượng nhận được theo dọc bờ là không lớn vì không có nguyên nhân để phát sinh sự không thuần nhất này. Chúng ta dẫn ra kết quả của 3 cuộc thực nghiệm số (bảng 1), trong bảng này do những điều nói trên chúng ta sẽ chỉ đề ý đến phân bố của các giá trị này theo khoảng cách từ bờ.

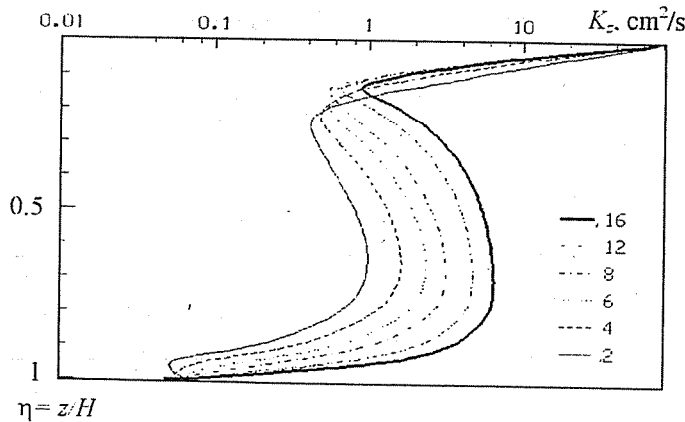
Bảng 1. Vận tốc dòng chảy bề mặt (tử số, cm/s) và góc lệch với vectơ gió (mẫu số, độ)

N ^o exp.	V _a m/s	H m	x km	Hướng gió trên mặt biển φ (độ)												
				-180	-135	-90	-45	0	45	90	135					
1	10	7	2	<u>27,8</u> 20	<u>21,1</u> 8	<u>17,3</u> 44	<u>25,8</u> 41	<u>27,7</u> 20	<u>21,0</u> 8	<u>16,9</u> 45	<u>25,9</u> 41					
1	10	11	6	<u>23,3</u> 30	<u>17,6</u> 24	<u>16,9</u> 46	<u>22,6</u> 45	<u>23,3</u> 30	<u>17,6</u> 24	<u>16,6</u> 47	<u>22,6</u> 45					
1	10	15	10	<u>20,1</u> 31	<u>16,1</u> 27	<u>15,6</u> 43	<u>19,7</u> 43	<u>20,1</u> 31	<u>16,1</u> 27	<u>15,2</u> 44	<u>19,7</u> 43					
1	10	21	16	<u>18,0</u> 29	<u>15,4</u> 26	<u>14,7</u> 38	<u>17,4</u> 38	<u>18,0</u> 29	<u>15,4</u> 26	<u>14,7</u> 38	<u>17,4</u> 38					
N ^o exp.	V _a m/s	H m	x km	Hướng gió trên mặt biển φ (độ)												
				-180	-150	-120	-90	-60	-30	0	30	60	90	120	150	
2	10	5	0.2	<u>29,0</u> 2	<u>26,3</u> -21	<u>18,2</u> -39	<u>6,6</u> 24	<u>20,6</u> 50	<u>27,1</u> 27	<u>29,0</u> 2	<u>26,9</u> -20	<u>18,2</u> -39	<u>6,5</u> 24	<u>20,6</u> 50	<u>27,1</u> 27	
2	10	5	0.6	<u>28,3</u> 6	<u>25,4</u> -16	<u>17,6</u> -28	<u>9,5</u> 36	<u>20,9</u> 47	<u>26,8</u> 28	<u>28,3</u> 6	<u>25,4</u> -16	<u>17,6</u> -28	<u>9,5</u> 36	<u>21,2</u> 48	<u>26,8</u> 28	
2	10	5	1	<u>27,8</u> 9	<u>24,7</u> -10	<u>17,1</u> -18	<u>11,7</u> 39	<u>21,4</u> 46	<u>26,6</u> 29	<u>27,7</u> 9	<u>24,7</u> -10	<u>17,1</u> -18	<u>11,7</u> 39	<u>21,4</u> 46	<u>26,6</u> 29	
N ^o exp.	V _a m/s	H m	x km	Hướng gió trên mặt biển φ (độ)												
				-180	-120	-90	-30	0	60	90	150					
3	6	5	2	<u>22,8</u> 11	<u>17,6</u> 3	<u>15,8</u> 19	<u>21,8</u> 21	<u>22,8</u> 11	<u>17,6</u> 3	<u>15,9</u> 19	<u>21,9</u> 21					
3	8	5	6	<u>21,0</u> 25	<u>16,4</u> 26	<u>16,4</u> 38	<u>20,8</u> 34	<u>20,9</u> 26	<u>16,1</u> 26	<u>16,1</u> 38	<u>20,8</u> 34					
3	10	5	10	<u>28,0</u> 27	<u>24,7</u> 28	<u>24,9</u> 36	<u>27,9</u> 32	<u>27,9</u> 27	<u>24,2</u> 28	<u>24,5</u> 36	<u>27,8</u> 32					
3	13	5	16	<u>36,4</u> 24	<u>34,2</u> 25	<u>34,1</u> 28	<u>36,3</u> 27	<u>36,3</u> 24	<u>33,7</u> 25	<u>33,6</u> 28	<u>36,1</u> 27					

Do kích thước bài báo có hạn nên chúng ta chỉ dẫn ra ở đây một số kết quả tiêu biểu. Thực nghiệm số 1 được tiến hành cho điều kiện gió có vận tốc không đổi

10m/s, hướng thay đổi (từ 0 đến 360 độ, bước 45 độ), độ sâu thay đổi (từ 5 đến 15m), kích thước của miền tính toán là 20km x 10km. Trong cuộc thực nghiệm này vận tốc dòng chảy bề mặt phụ thuộc đáng kể vào hướng gió khi khoảng cách đến bờ không quá 5km. Hệ số rối thẳng đứng K_z ít phụ thuộc vào hướng gió. Trên mặt biển K_z đạt giá trị cực đại khoảng 70-80cm²/s; giá trị này gắn với hiệu ứng phá vỡ sóng bề mặt. Giá trị cực đại thứ hai theo phương thẳng đứng đạt được khi độ sâu không thứ nguyên vào khoảng 0,6 – 0,7 và gắn với gradien thẳng đứng của vận tốc dòng chảy (hình 1).

Trong cuộc thực nghiệm 2 vận tốc gió không đổi ($V_a = 10$ m/s), hướng biến thiên (từ 0 đến 360⁰, bước 30⁰), độ sâu của biển là hằng số $H = 5$ m, miền tính toán có kích thước 1 km x 1 km. Kết quả thực nghiệm cho thấy sự phụ thuộc đáng kể của vectơ dòng chảy bề mặt vào hướng gió. Khi vectơ gió nằm trong góc vuông số 2 và 4, góc giữa dòng chảy địa chuyển và dòng chảy trôi đạt giá trị khoảng 20 – 30⁰, và vận tốc dòng chảy bề mặt tăng lên khi khoảng cách tới bờ tăng lên, trên mặt biển vectơ dòng chảy lệch về bên phải so với vectơ gió. Khi vectơ gió nằm trong góc vuông số 1 và số 3, góc giữa dòng chảy địa chuyển và dòng chảy trôi đạt giá trị lớn (> 90⁰). Do đó vận tốc dòng chảy bề mặt giảm đi khi khoảng cách tới bờ tăng lên, còn vectơ dòng chảy bề mặt lệch về phía trái so với vectơ gió trong toàn bộ vùng tính toán. Các giá trị cực đại của góc lệch này đạt được ở gần bờ và phụ thuộc đáng kể vào hướng gió (hình 7). Ở các hướng gió này vectơ dòng chảy quay về phía trái cùng với độ sâu, càng gần bờ thì sự quay này càng thể hiện rõ hơn. Hệ số khuếch tán K_z hầu như không phụ thuộc vào hướng gió và khoảng cách đến bờ, theo phương thẳng đứng thì hệ số này giảm đơn điệu trong toàn bộ vùng tính toán. Trên mặt biển K_z đạt giá trị cực đại khoảng 80 cm²/s, từ độ sâu $\eta = 0,3$ đến $\eta = 0,8$ giá trị của K_z hầu như không thay đổi theo chiều sâu (khoảng 10 cm²/s), ở gần đáy giá trị của K_z giảm theo chiều sâu.



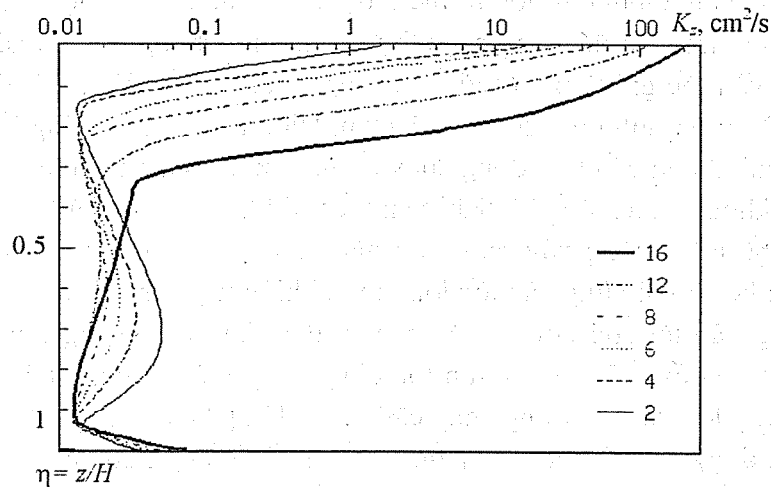
Hình 1. Phân bố của hệ số khuếch tán theo phương thẳng đứng trong thực nghiệm số 1 tại các khoảng cách đến bờ khác nhau (km) và $\omega = 90^0$

Khi chuyển từ đất liền ra biển, độ nhám của bề mặt đệm giảm đi, do đó vận tốc gió tăng lên. Do đó trong cuộc thực nghiệm 3 chúng ta xem xét trường hợp khi ra xa bờ vận tốc gió tăng từ 5 đến 15 m/s, hướng biến thiên, độ sâu của biển 5 m, kích thước miền tính toán 20 km x 10 km. Hiệu ứng phá vỡ sóng bề mặt ảnh hưởng đến sự hình thành cấu trúc dòng chảy bề mặt một cách phức tạp vì vận tốc gió thay đổi theo khoảng cách đến bờ. Khi vận tốc gió không vượt quá 6 m/s hiện tượng phá vỡ sóng bề mặt không xảy ra, do đó năng lượng truyền cho các quá trình rối nhỏ hơn đáng kể so với vùng vận tốc lớn, nơi có hiện tượng này. Do đó khi ra xa bờ vào vùng tăng vận tốc gió đến 6 m/s thì vận tốc dòng chảy tăng lên, khi vận tốc gió thay đổi từ 6 đến 6,5 m/s thì vận tốc dòng chảy giảm xuống, tiếp theo thì khi vận tốc gió tăng lên vận tốc dòng chảy cũng tăng lên [12]. Trong sự phân bố của hệ số rối thẳng đứng có thể nhận thấy tầng rối mạnh ở tầng nước mặt với giá trị cực đại trên mặt biển. Càng ra xa bờ độ dày của tầng này càng tăng lên và giá trị cực đại trên mặt biển cũng tăng lên (hình 2).

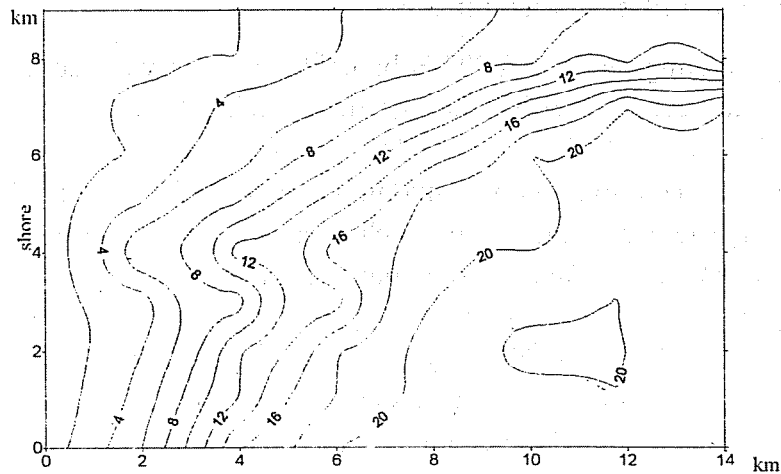
3. Áp dụng mô hình điều kiện thực tế

Khi áp dụng mô hình TBTLĐ ba chiều cho một vùng cụ thể trên cơ sở các số liệu mà các tác giả bài báo này có được, chúng tôi chọn một vùng của Vịnh Odessa với tọa độ $46^{\circ}27'20'' - 46^{\circ}33'20''$ độ vĩ bắc và $30^{\circ}40' - 30^{\circ}53'20''$ độ kinh đông. Vùng này có đường bờ biển hướng bắc-nam và 3 biên lũng. Trên hình 3 dẫn ra phân bố độ sâu của vùng. Chúng tôi chọn các gió có tần suất cao nhất, và như vậy đã nhận được các phân bố không gian điển hình của dòng chảy và hệ số rối trong vùng đã cho. Vùng tính toán có kích thước nhỏ, do đó vectơ gió trong vùng này có thể coi là không đổi. Như vậy, sự không đồng nhất theo không gian của dòng chảy được cắt nghĩa chỉ bởi sự không đồng nhất của độ sâu và ảnh hưởng của bờ.

Các kết quả nhận được cho thấy, vận tốc dòng chảy bề mặt phụ thuộc đáng kể không chỉ vào vận tốc mà còn vào hướng gió. Vận tốc dòng chảy đạt giá trị lớn nhất khi gió bắc, và nhỏ nhất khi gió tây trong khi vận tốc gió không thay đổi. Các giá trị lớn nhất của dòng chảy bề mặt nhận được ở kênh có độ sâu lớn nằm dọc theo trục Ox khi y = 4km (hình 4, 5, 6). Vectơ dòng chảy bề mặt lệch phải so với vectơ gió ở tất cả mọi trường hợp, chỉ trừ khi có gió đông bắc, khi đó có thể nhận thấy góc lệch trái. Ảnh hưởng của hiệu ứng phá vỡ sóng bề mặt rõ rệt khi vận tốc gió lớn hơn 6,5m/s.

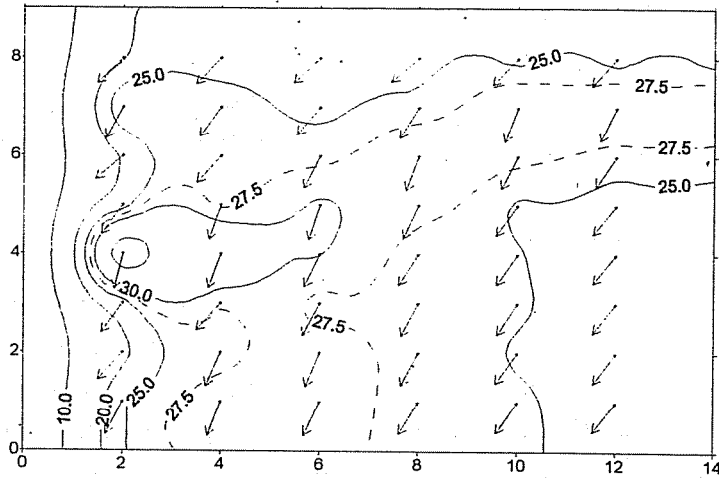


Hình 2. Phân bố của hệ số khuếch tán theo phương thẳng đứng trong thực nghiệm số 3 tại các khoảng cách đến bờ khác nhau (km) và $\varphi = 90^\circ$

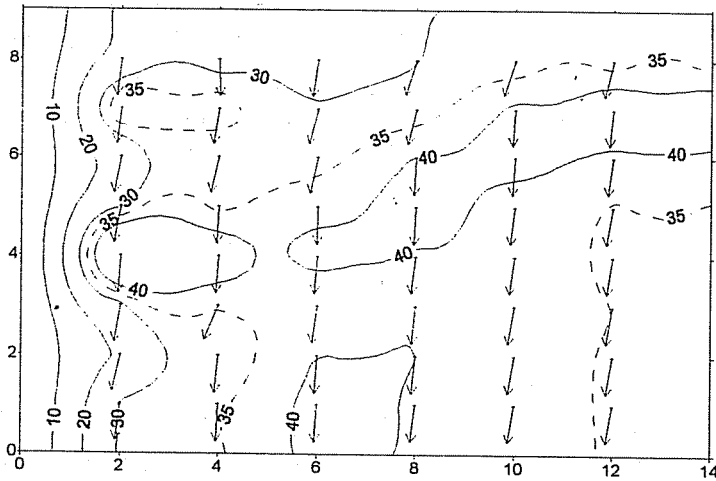


Hình 3. Phân hoá độ sâu (m) của vùng tính toán

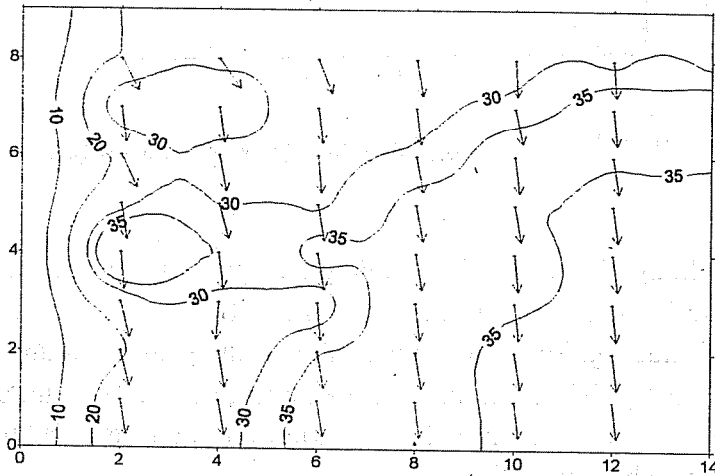
Các kết quả nhận được cho thấy, vận tốc dòng chảy bề mặt phụ thuộc đáng kể không chỉ vào vận tốc mà còn vào hướng gió. Vận tốc dòng chảy đạt giá trị lớn nhất khi gió bắc, và nhỏ nhất khi gió tây trong khi vận tốc gió không thay đổi. Các giá trị lớn nhất của dòng chảy bề mặt nhận được ở kênh có độ sâu lớn nằm dọc theo trục Ox khi $y = 4$ km (hình 4, 5, 6). Vectơ dòng chảy bề mặt lệch phải so với vectơ gió ở tất cả mọi trường hợp, chỉ trừ khi có gió đông bắc, khi đó có thể nhận thấy góc lệch trái. Ảnh hưởng của hiệu ứng phá vỡ sóng bề mặt rõ rệt khi vận tốc gió lớn hơn 6,5 m/s.



Hình 4. Phân bố dòng chảy bề mặt đối với gió đông bắc.



Hình 5. Phân bố dòng chảy bề mặt đối với gió bắc.

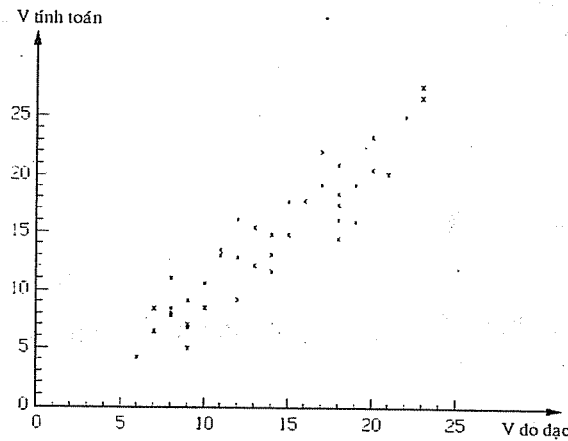


Hình 6. Phân bố dòng chảy bề mặt đối với gió tây bắc.

Trên mặt biển, hệ số rối thẳng đứng ít phụ thuộc vào hướng gió, khi vận tốc gió là 10 m/s thì giá trị K_z trên mặt biển vào khoảng 80 cm²/s. Khi độ sâu của biển không lớn thì K_z giảm đơn điệu theo chiều sâu, khi độ sâu của biển lớn hơn 5 m thì profin thẳng đứng của K_z có 3 cực đại: trên mặt biển, khi $\eta = 0,6 - 0,7$ và ở gần đáy. Phân bố không gian của cực đại thứ nhất và thứ hai có sự không đồng nhất đáng kể theo phương ngang.

4. So sánh với số liệu đo đạc

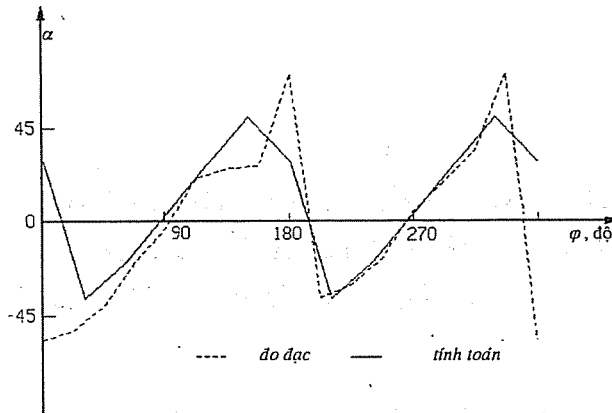
Để minh họa chất lượng phục hồi cấu trúc hoàn lưu bởi mô hình TBTLĐ ba chiều, chúng tôi giới thiệu sự so sánh các giá trị tính toán và đo đạc của vận tốc và hướng dòng chảy bề mặt. Trên hình 7 là các giá trị tính toán của vận tốc dòng chảy và các số liệu quan trắc ở Vịnh Odessa. Giá trị trung bình của độ lệch tuyệt đối giữa các giá trị tính toán và đo đạc là gần 2 cm/s, giá trị này nằm trong phạm vi sai số của phép đo. Trên hình 8 dẫn ra các giá trị của các góc lệch giữa vectơ dòng chảy và vectơ gió. Các giá trị tính toán nhận được từ thực nghiệm 2 (bảng 1) cho khoảng cách 0,3 km tính từ bờ. Các giá trị đo đạc được dẫn ra trong công trình [13]. Trong đó giá trị âm của góc lệch ứng với sự kiện dòng chảy lệch về phía trái so với hướng gió. Các đo đạc thực tế đã củng cố sự kiện này.



Hình 7. Vận tốc dòng chảy đo đạc và tính toán (cm/s).

5. Kết luận

Như vậy chúng tôi đã giới thiệu những kết quả đầu tiên của nghiên cứu mô hình TBTLĐ. Các kết quả này cho thấy mô hình TBTLĐ là có cơ sở lý thuyết và được củng cố bởi thực nghiệm. Mô hình có thể sử dụng trong những bài toán ứng dụng thực tế cho những điều kiện địa hình và khí tượng thủy văn thực. Mô hình có thể được cải tiến trên cơ sở hoàn thiện điều kiện ban đầu và hoàn thiện hơn các phương pháp tham số hóa điều kiện biên.



Hình 8. Giá trị đo đạc và tính toán của góc lệch giữa vectơ dòng chảy và vectơ gió.

Tài liệu tham khảo

1. Monin A.S. Các cơ sở của thủy động lực học địa vật lý. NXB "Gidrometeoizdat", Leningrad, 1988, 424 tr. (tiếng Nga).
2. Monin A.S., Ozmidov R.V. Khuếch tán rối đại dương, NXB "Gidrometeoizdat", Leningrad, 1981, 320 tr. (tiếng Nga).
3. Shnaidman V.A., Tarnopolsky A.G., 1993. Mô hình tầng biên địa vật lý// Các báo cáo của Viện Hàn lâm khoa học Ukraine, Kiev, tr. 105-112, N 9). (tiếng Nga).
4. Monin A.S., Yaglom A.M. Statistical hydromechanics. P.1. NXB "Nauka", Moscow, 1994. 639 tr.
5. Lykosov V.N. О проблеме замыкания моделей пограничного слоя с помощью уравнения для кинетической энергии турбулентности и скорости ее диссипации// Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 1992. Т. 28, N 7. С. 696–704.
6. Kurbatky A.F. Моделирование нелокального переноса импульса и тепла. Новосибирск: Наука, 1988. 240 с.
7. Marchuc G.I., Kagan B.A. Динамика океанских приливов. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 472 с.
8. Soloviev A.V. О мелкомасштабной турбулентности в слое ветрового волнения океана// Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1988. Т. 24, N 12. С. 1307–1314.
9. Lê Thị Quỳnh Hà. Вклад вдольберегового геострофического течения в формировании структуры шельфового пограничного слоя// Метеорология, климатология и гидрология, Одесса, 1998, Вып. 35, С. 374–385.
10. Lê Thị Quỳnh Hà. Адаптированная одномерная модель циркуляции водных масс в прибрежной зоне// Метеорология, климатология и гидрология, Одесса, 1997, Вып. 34, С. 42–55.
11. Lê Thị Quỳnh Hà. Mô hình một chiều cải tiến về hoàn lưu nước vùng ven bờ// Tạp chí "Khí tượng thủy văn", N 12, 1997, tr. 25-33.
12. Shnaidman V.A., Le Thi Quynh Ha. *Modeling of the shelf boundary layer*// Research activities in atmospheric and oceanic modelling, pp. 8.35-8.36, Rep. N 28, WMO/TD N 942, Quebec, 1999
13. Ivanov R.N. Ảnh hưởng của bờ đến hướng của dòng chảy bề mặt// Các báo cáo của Viện Vật lý biển, Moscow, 1957, pp. 84-96, vol. 11 (tiếng Nga).