Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển T6 (2006). Số 3. Tr 15 - 25

NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN HIỆN TƯỢNG NƯỚC DÂNG DO BÃO BẰNG PHƯƠNG PHÁP SỐ DỰA TRÊN HỆ PHƯƠNG TRÌNH THUỶ ĐỘNG LỰC HỌC 3 CHIỀU

NGUYỄN KỲ PHÙNG, LÊ MẠNH TÂN

Tóm tắt: *Bài báo đưa ra mô hình tính toán trường dòng chảy ba chiều dựa trên hệ phương trình Navie-Stokes và phương trình liên tục khi có áp thấp đi qua. Các kết quả tính toán cho thấy bức tranh phức tạp của quá trình tương tác biển và khí quyển, khả năng ứng dụng mô hình hóa trong dự báo bão.*

I. MỞ ĐẦU

Nước dâng do bão thường xảy ra ở những khu vực ven biển khi có bão đi qua và gây thiệt hại rất lớn về người và của. Trong khuôn khổ bài báo này tác giả đưa ra mô hình tính toán trường dòng chảy 3D và dao động mực nước biển khi có áp thấp đi qua. Đây là bài toán rất phức tạp, nghiên cứu quá trình tương tác biển và khí quyển.

II. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Ở đây không sử dụng các phương trình "nước nông" cổ điển mà sử dụng mô hình toán 3 chiều của chuyển động chất lỏng trong hệ tọa độ cầu. Nếu cho λ hướng về phía Đông, θ hướng về phía Bắc, z hướng lên trên với gốc tọa độ ở bề mặt thoáng, khi đó hệ phương trình chuyển động được viết dưới dạng :

$$\frac{\partial u}{\partial t}+\frac{m}{a}\left(\frac{\partial u}{\partial \lambda}(uu)+\frac{\partial}{\partial \theta}(vu)\right)+\frac{\partial wu}{\partial z}-\frac{mn}{a}uv-2\Omega mnv=$$

$$-\frac{mg}{a}\frac{\partial \varsigma}{\partial \lambda}-\frac{m}{\rho_0 a}\frac{\partial P_a}{\partial \lambda}+\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial \tau_u}{\partial z}+\frac{A}{a^2}\Delta u \qquad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+\frac{m}{a}\left(\frac{\partial u}{\partial \lambda}(uv)+\frac{\partial}{\partial \theta}(vv)\right)+\frac{\partial wv}{\partial z}-\frac{mn}{a}uu+2\Omega mnu=$$

$$-\frac{m\,g}{a}\frac{\partial \varsigma}{\partial \theta}-\frac{m}{\rho_0 a}\frac{\partial P_a}{\partial \theta}+\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial \tau_\theta}{\partial z}+\frac{A_v}{a^2}\Delta v \qquad (2)$$

Các ký hiệu :

a - bán kính trái đất.

$$m=\frac{1}{\sin\theta} \quad ; \quad n=\cos\theta \quad \Delta = m\left(m\frac{\partial^2}{\partial\lambda^2}+\frac{\partial}{\partial\theta}\frac{1}{m}\frac{\partial}{\partial\theta}\right)$$

λ - kinh độ. $\theta = \frac{\pi}{2} + \varphi$ (φ : vĩ độ)

Phương trình thể hiện dao động mực nước được rút ra từ phương trình liên tục sau:

$$\frac{\partial w}{\partial z}+\frac{m}{a}\left(\frac{\partial u}{\partial \lambda}+\frac{\partial}{\partial \theta}\left(\frac{v}{m}\right)\right)=0 \qquad (3)$$

bằng cách lấy tích phân từ đáy H đến bề mặt thoáng của biên ξ và tính đến các điều kiện biên ở mặt thoáng và đáy. Khi đó ta được :

$$\frac{\partial \varsigma}{\partial t}=-\frac{m}{a}\left(\frac{\partial}{\partial \lambda}\int_H^\varsigma u dz+\frac{\partial}{\partial \theta}\int_H^\varsigma v\sin\theta dz\right). \qquad (4)$$

* Điều kiện biên : Sử dụng các điều kiện biên thông dụng sau:

▪ Tại $z = \xi$:

$$-K_v\rho\frac{\partial u}{\partial z}=\tau_\lambda^0 \quad ; \quad -K_v\rho\frac{\partial v}{\partial z}=\tau_\theta^0 \qquad (5)$$

▪ Ở đáy :

$$-K_v\rho\frac{\partial u}{\partial z}=\tau_\lambda^H \quad ; \quad -K_v\rho\frac{\partial v}{\partial z}=\tau_\theta^H \qquad (6)$$

▪ Ở các biên cứng : $u = v = 0$.

▪ Ở các biên lỏng ngoài khơi, điều kiện tốt nhất là cho các dao động mực nước nếu có. Tuy nhiên điều này rất khó khăn vì thiếu thông tin. Do đó người ta thường hay sử dụng điều kiện sau:

$$u_n=\varsigma\sqrt{g(H+\varsigma)}$$

hoặc $\xi = 0$ (7)

Un : thành phần vuông góc với biên lỏng.

* Điều kiện ban đầu: có thể cho mặt nước yên tĩnh, có nghĩa là

$u = uo = 0$

$v = vo = 0$

$\xi = \xi^o = 0$

Trong quá trình tương tác biển và khí quyển, thông tin chúng ta cần có là sự phân bố Trường áp suất và trường gió. Khi có áp thấp đi qua, vận tốc gió có thể xác định bằng phương trình

$$W = kW_g + W_f \tag{8}$$

k = 0.7 : hệ số chuyển ñoải.

$$W_g = -\frac{f.r}{2} + \left[\frac{f^2 r^2}{4} + \frac{2r^2 \Delta Pa}{\rho_a r_t^2} \exp\left(-\frac{r^2}{r_t^2}\right)\right]^{\frac{1}{2}} \tag{9}$$

r : khoảng cách từ tâm bão (km)

$f = 2\,\Omega \sin\gamma$

Δ Pa : giá trị giảm áp suất.

rt : bán kính hoạt động tối đa của bão.

ρ_a : mật độ không khí.

Wg : vận tốc gió gradient.

Wf: vận tốc chuyển động thẳng.

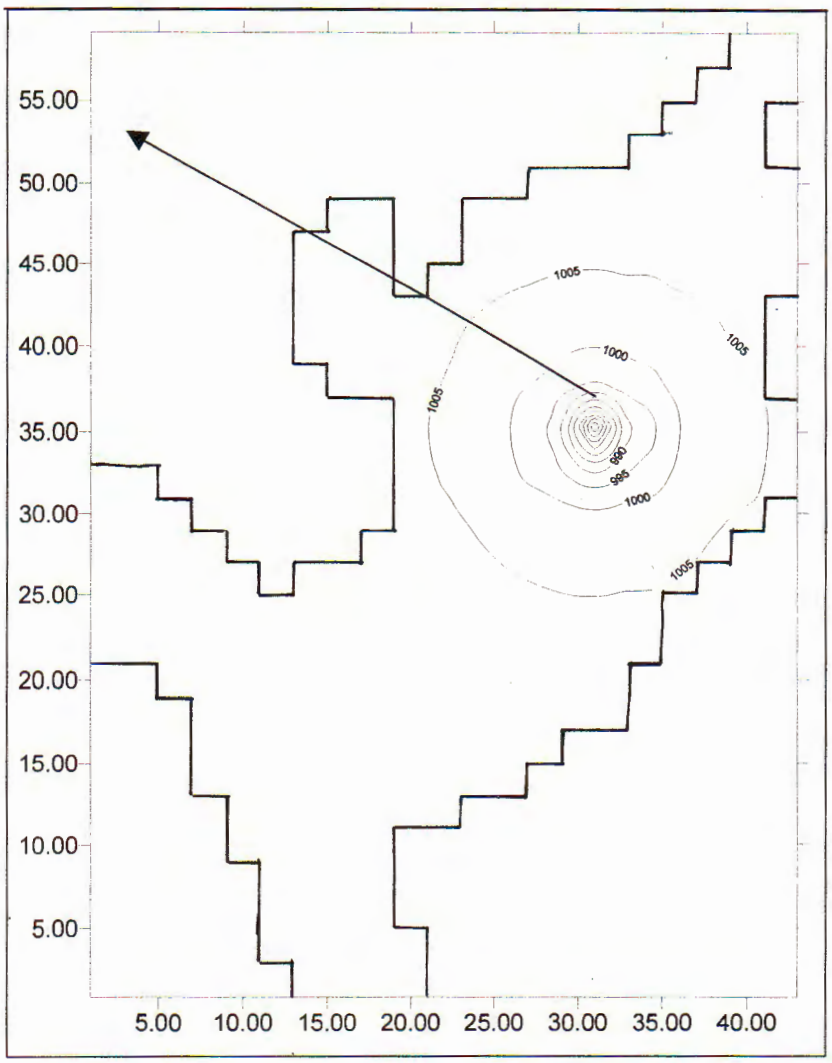
$$W_f = W_t \exp\left(-\frac{2\pi r}{10^3}\right)$$

Wt : vận tốc di chuyển của tâm bão.

$$r = \arccos\left[\cos\theta_T \cos\theta + \sin\theta_T \sin\theta \times \cos(\lambda_T - \lambda)\right]$$

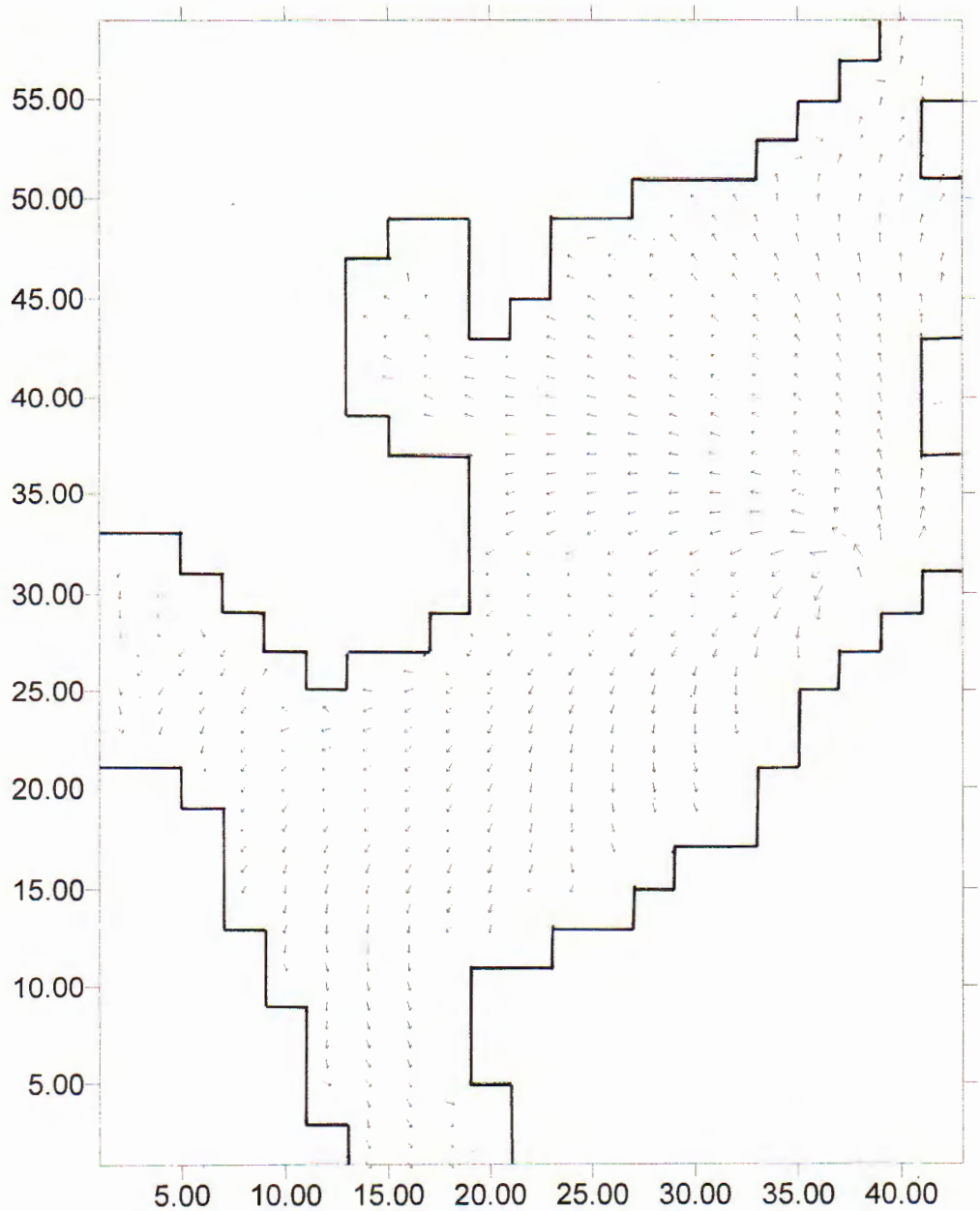
Hệ phương trình (1) đến (4) được lấy tích phân theo từng lớp Δ zk , (k = 1, 2, ...,N) và tính được vận tốc trung bình của mỗi lớp theo chiều sâu cũng như dao động mực nước. Ở đây ta không bàn sâu về quá trình giải bài toán này . Đầu tiên ở mỗi bước thời gian τ + 1 xác định giá trị vận tốc thẳng đứng w theo sơ đồ hiện từ phương trình liên tục. Sau đó tích phân các phương trình chuyển động theo chiều sâu và tính được dao động mực nước. Bước cuối cùng là xác định các giá trị vận tốc u, v ở từng độ sâu cụ thể.

Để thử nghiệm mô hình chúng tôi giả sử có một cơn bão đi vào Biển Đông với chênh lệch áp suất (độ giảm áp suất) $\Delta P = 55mb$, áp suất vùng rìa tâm bão $P_\infty = 1010mb$, bán kính bão Ro = 100km, vận tốc gió cực đại wmax = 40 m/s. Bước thời gian tính $\Delta t = 720s$, $\Delta\lambda = \Delta\theta = 0{,}5^o$. Theo chiều thẳng đứng lớp nước được chia làm 15 lớp: 0m, 75m, 100m, 150m, 200m, 300m, 500m, 7500, 1000m, 1500m, 2000m, 3500m.



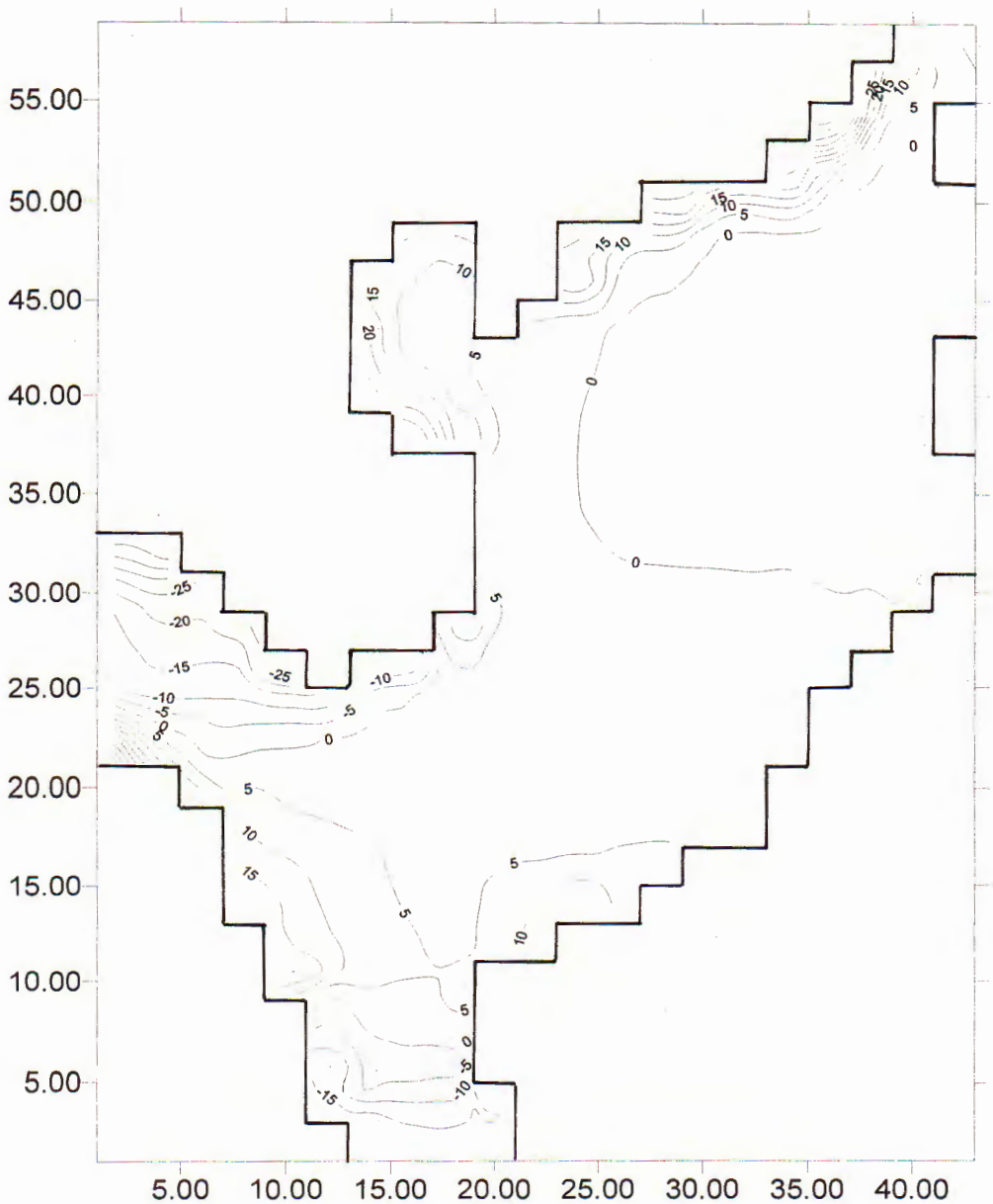
Hình 1: Sơ đồ đường đi của bão .

Khi bão bắt đầu vào khu vực Biển Đông, chúng ta thấy hình thành một xoáy thuận, vận tốc dòng chảy ở khu vực phía Bắc Biển Đông hướng vào bờ biển VN, khu vực phía vịnh Thái Lan và Nam Biển Đông dòng chảy hướng ra phía eo Kalimanta (hình 2)



Hình 2: Trường dòng chảy mặt sau 6 giờ từ khi bão vào Biển Đông (cm/s).

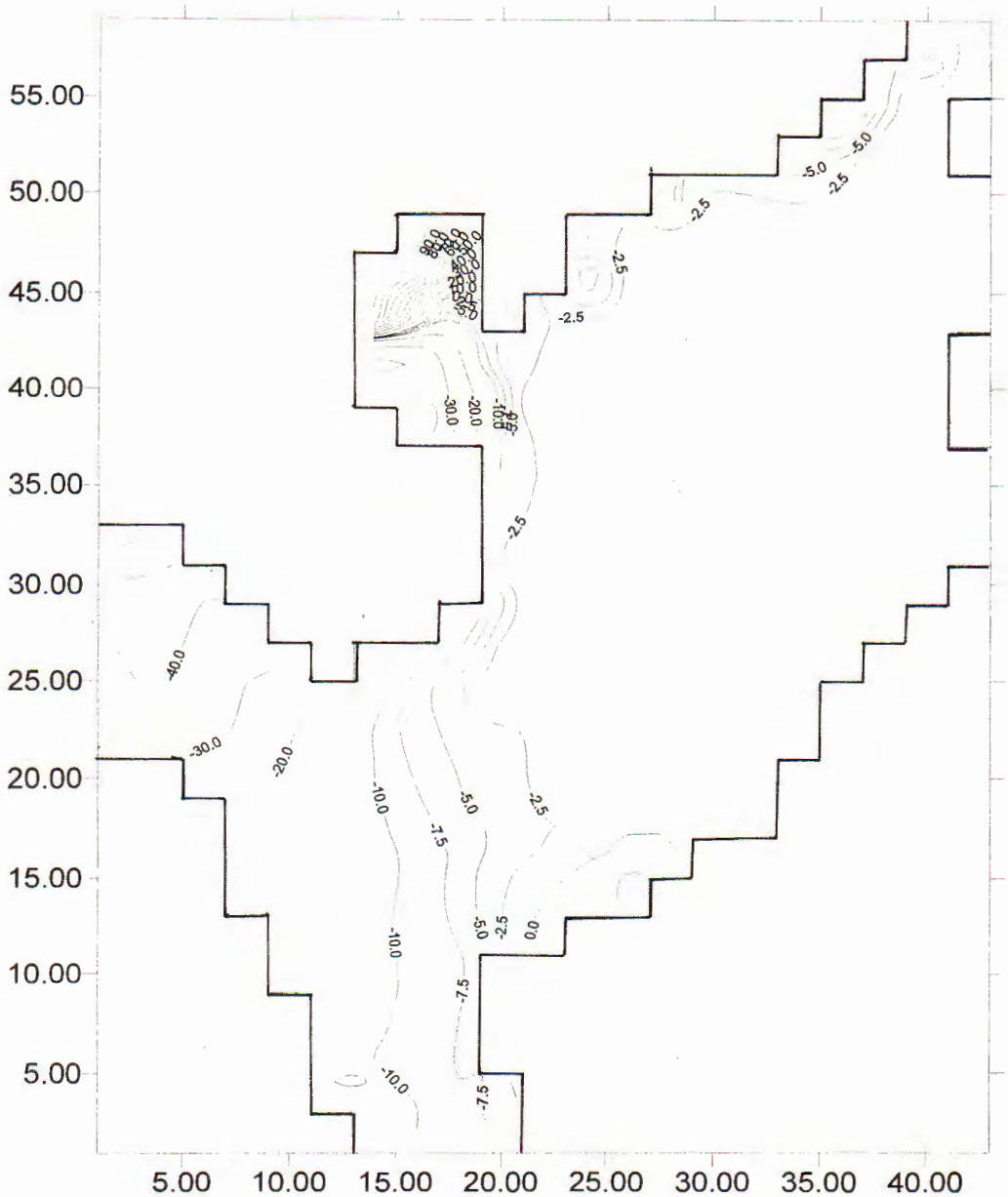
Điều này hoàn toàn tương thích với trường mực nước vào thời điểm này. ở vùng ven biển phía Bắc, mực nước bắt đầu dâng nhẹ 25 – 30cm (hình 3).



Hình 3: Trường mực nước sau 6 giờ (cm)

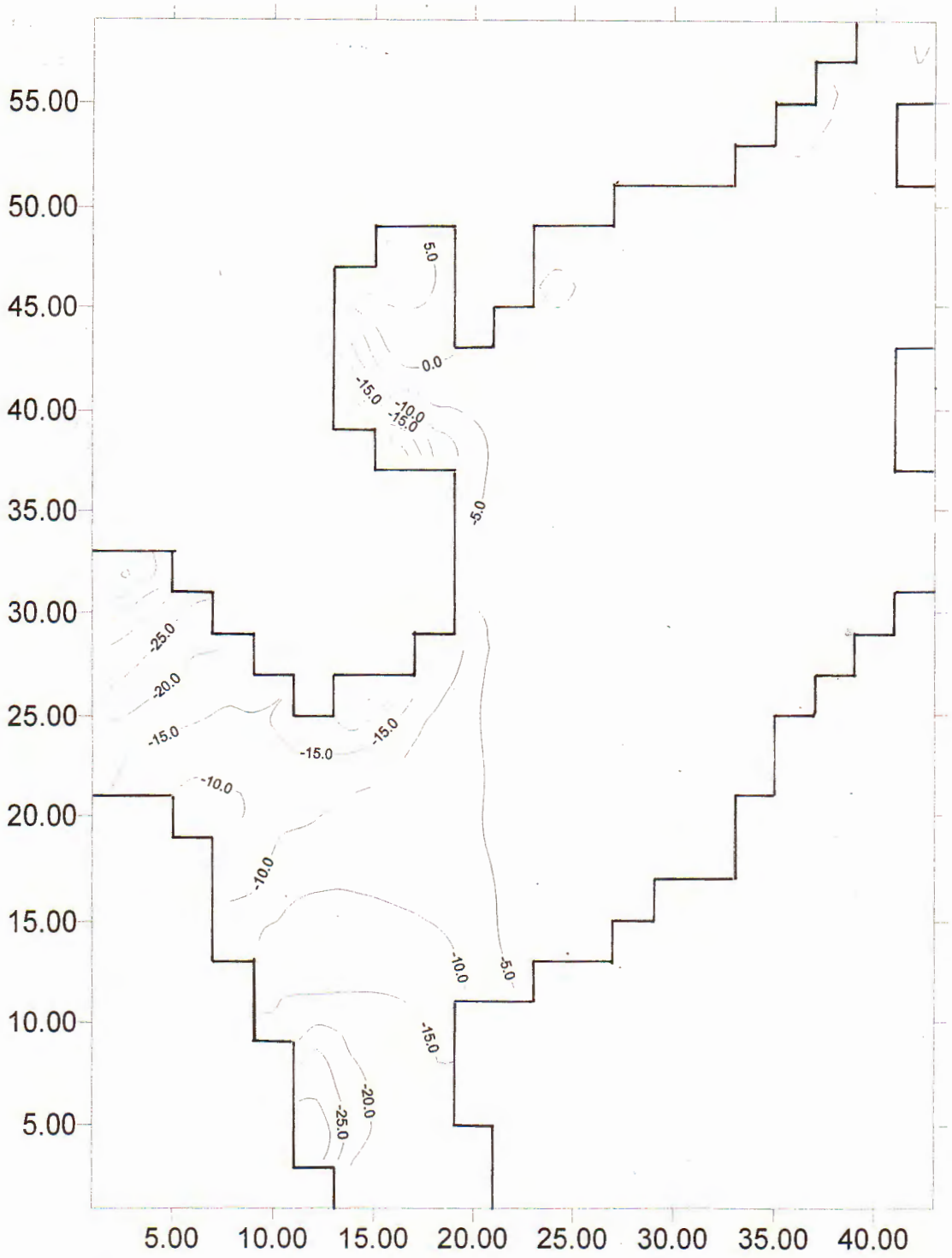
Còn khu vực vịnh Thái Lan lại có xu hướng hạ thấp. Khi bão di chuyển đến đảo Hải Nam thì mực nước biển dâng nhanh ở vịnh Bắc bộ. Vùng gió thổi cực đại đã tiến vào khu vực ven bờ và gây nên hiện tượng nước dâng đạt đến khoảng 110cm (hình 4), hiện tượng nước dâng mạnh như vậy một phần do ảnh hưởng của sự giảm độ sâu khi tiến vào bờ và đặc điểm của đường bờ.

Trong thời điểm này (hình 4) ở vùng vịnh Thái Lan mực nước ven bờ lại hạ thấp nhiều, ngay ở đỉnh vịnh mực nước hạ xuống đến -50cm, điều này cũng dễ hiểu vì lúc này ở đây tồn tại gió Tây Bắc .

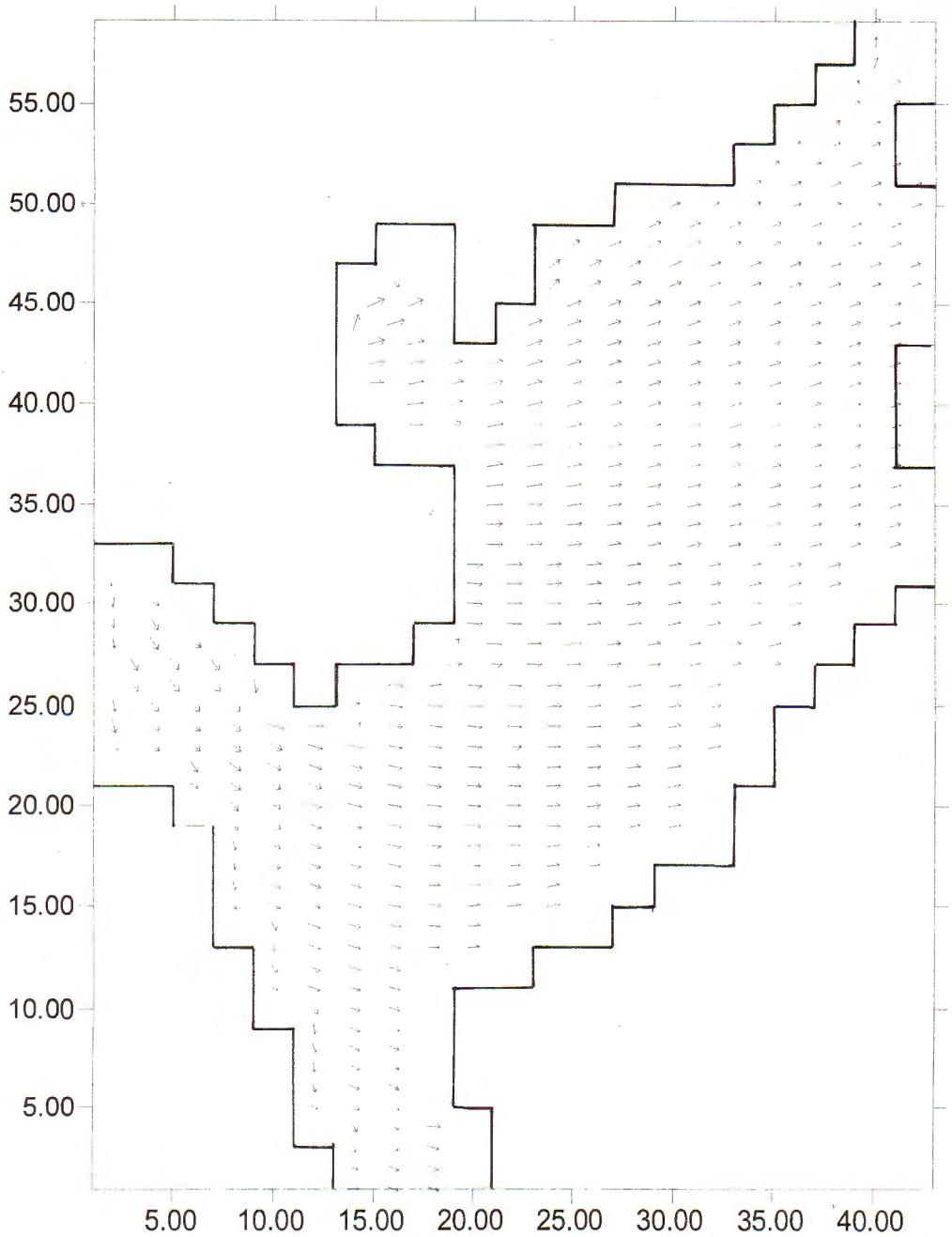


Hình 4: Trường mực nước sau 42 giờ (cm) .

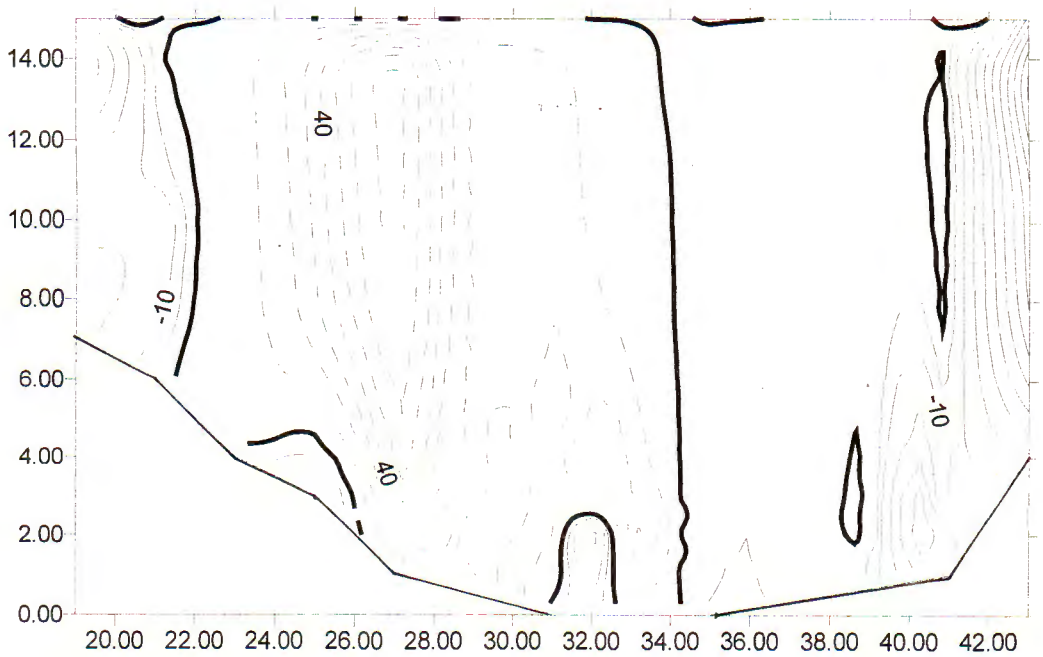
Khi tâm bão đã vào đất liền thì mực nước vùng vịnh Bắc bộ hạ thấp xuống còn khoảng -15 đến -20cm và dao động nhẹ dần (hình 5). Lúc này trường dòng chảy hướng ra eo Basi và eo Đài Loan ở phía Bắc Biển Đông, còn phía Nam hướng ra eo Kalimanta (hình 6).



Hình 5: Trường mực nước sau 54 giờ (cm).



Hình 6: Trường vận tốc sau 54 giờ (cm/s).



Hình 7: Mặt cắt trường vận tốc thẳng đứng tại φ=16° sau 30 giờ (10^{-5} cm/s)

Vào lúc này, tâm bão nằm ở biên giữa vùng nước sâu và nước nông, hình vẽ mặt cắt trường vận tốc thẳng đứng cho ta thấy rằng tại vùng trung tâm của bão, nước di chuyển theo hướng đi lên từ đáy cho đến bề mặt thoáng và tại hai bên rìa cột nước di chuyển theo hướng đi xuống. Trên đây là một số kết quả sơ khởi của việc tính toán nước dâng bằng mô hình 3 chiều. Vấn đề khó trong việc tính toán nước dâng do bão là việc xác định được đường đi của bão và các đặc tính chung của chúng, tôi hy vọng trong tương lai sẽ hoàn thiện hơn mô hình này.

III. KẾT LUẬN

- Qua bài báo cho chúng ta thấy tính phức tạp của bài toán nghiên cứu đường đi của bão và tính toán dự báo nước dâng trong bão.

- Bước đầu xây dựng mô hình dự báo 3 chiều và kết quả bài toán phản ánh khá chính xác các qui luật của đường đi của bão và nước dâng ven bờ.

- Phân tích các tương tác giữa áp thấp nhiệt đới, dòng chảy, mực nước và chuyển động theo chiều thẳng đứng của khối nước khi bão đi qua.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. **Đặng Công Minh, Nguyễn Hữu Nhân.** "*Thủy triều biển Đông*", chương trình cấp nhà nước KT.03, đề tài KT.03.03,1993.
2. **V.M. Radikevich.** "Khí động lực học dành cho các nhà hải dương học", NXB Leningrad, 1985 (bằng tiếng Nga).
3. **V.N. Voropov, N.P. Smirnov, 1999.** Hải dương học đại cương. Tiếng Nga. Các phương pháp tính dao động mực nước. V.I. Peresipkin, 1982. Tiếng Nga
4. **Sổ tay hướng dẫn dự báo thủy văn biển, 1994.** Tiếng Nga

NUMERICAL MODELLING OF STORM SURGES BY 3D CIRCULATION MODEL

NGUYEN KY PHUNG, LE MANH TAN

Summary: *A numerical model is developed to predict the hydrodynamic circulation in the typhoon. Applying the multi-level approach, the water body is divided into N levels, in which the interfacial layers are fixed in space.*

The pictures of the maximum values of storm surges as well as the circulation in the typhoon are presented.

Ngày nhận bài: 30 - 6 - 2005

Địa chỉ: Đại học Khoa học TN, TP. Hồ Chí Minh