

MÔ PHỎNG VÙNG NƯỚC ĐỤC Ở CỬA SÔNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP NGẪU HÀNH

PHẠM VĂN NINH, BUI MINH ĐỨC, PHAN NGỌC VINH

1. MỞ ĐẦU

Trong tác sông biển là bài toán thủy động lực sinh thái quan trọng và phức tạp trong hướng nghiên cứu khoa học thời sự, rộng lớn hiện nay trên thế giới: tương tác biển-lục địa. Đối với các quốc gia có mạng lưới sông chảy ra biển dày đặc như Việt Nam, chất lượng nước môi trường biển ven bờ chủ yếu bị chi phối bởi khối lượng và thành phần các yếu tố như phù sa, dinh dưỡng, kim loại nặng, chlorin hữu cơ v.v... do sông tải ra cùng các quá trình thủy động, thủy hóa, thủy sinh, sinh hóa xảy ra ở đó. Vùng biển bị ảnh hưởng là vùng bị truyền tải và khuếch tán các yếu tố ấy. Phạm vi địa lý của vùng đó được xác định chủ yếu bởi các loại dòng chảy: sông, triều, gió và quá trình khuếch tán. Ranh giới nước đục và nước trong dễ được xác định nhờ phương pháp ảnh viễn thám cũng có thể coi là ranh giới chủ yếu của sự lan truyền các loại chất ô nhiễm do sông tải ra. Mô phỏng được ranh giới đó có thể giúp ích đáng kể cho việc đánh giá tương tác sông biển, cho việc giới hạn vùng lấy mẫu khi khảo sát thực địa và cho phép suy luận về vùng cũng như lúc không có số liệu khảo sát... Có 2 phương pháp mô phỏng chính: Phương pháp truyền tải khuếch tán và phương pháp ngẫu hành (Random Walk). Phương pháp thứ nhất là phương pháp quen thuộc ở Việt Nam và đã sử dụng hiệu quả trong nghiên cứu, mô phỏng quá trình xâm nhập mặn [1], gần đây là vấn đề chua phèn và cũng đã thử nghiệm mô phỏng nước đục ở vùng cửa sông [2]. Tuy vậy phương pháp đó có một số điểm hạn chế do nảy sinh vấn đề khuếch tán số cũng như tốc độ truyền kích động vô hạn. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu của các tác giả trong việc sử dụng phương pháp thứ 2, có lẽ là lần đầu tiên ở Việt Nam, để mô phỏng sự truyền tải và khuếch tán tạp chất nói chung, thông qua việc mô phỏng vùng nước đục ở cửa sông nói riêng và so sánh với ảnh viễn thám.

Phần lớn nội dung nghiên cứu được thực hiện trong khuôn khổ đề tài KT.03.07 "Ô nhiễm biển do sông tải ra" của chương trình Biển KT.03 (1992-1995) [3] và được sự hỗ trợ về kinh phí của Chương trình nghiên cứu cơ bản thông qua đề tài "Một số vấn đề cơ bản trong thủy động lực học biển" mã số 2.3.5.

2. MÔ HÌNH SỐ TRỊ

2.1. Cơ sở của phương pháp ngẫu hành

Theo mô hình ngẫu hành, khối lượng chất bản từ sông đổ vào biển được biểu diễn như tập hợp N hạt lỏng riêng biệt. Mỗi hạt lỏng chuyển động theo 3 chiều không gian với phương trình chuyển động của tâm quán tính của hạt thứ i có dạng:

$$\frac{d\vec{R}_i}{dt} = \vec{U}_i + \vec{u}_i \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (2.1)$$

trong đó \vec{R}_i là véc tơ bán kính của vị trí hạt lỏng thứ i tại thời điểm t , \vec{U}_i là véc tơ vận tốc trung bình và \vec{u}_i là véc tơ chuyển động rối. Biết hai véc tơ vận tốc đó có thể biết vị trí của hàm lỏng i tại thời điểm bất kỳ.

Số lượng hạt rơi vào một thể tích hình học cố định nào đó sẽ là hàm lượng của chất bản tại đó. Lấy trung bình hàm lượng nhận được theo chiều sâu ta sẽ có phân bố nồng độ chất bản theo chiều ngang.

Để giải phương trình (2.1) cần tính \vec{U}_i và \vec{u}_i . Cách tính vận tốc trung bình \vec{U}_i sẽ được giới thiệu trong phần dưới đây. Vận tốc thẳng giáng \vec{u}_i là một đại lượng ngẫu nhiên. Do vận tốc này mà sau thời đoạn ΔT hạt lỏng sẽ dịch đi được một độ dài $\Delta X_i(x_i, y_i, z_i)$. Đoạn dời này được xác định một cách ngẫu nhiên theo phân bố thống kê xác định. Như vậy, hiệu ứng chuyển động rối ở đây được mô phỏng như là xác suất để hạt lỏng có thể chuyển dịch được một đoạn ΔX_i sau bước thời gian ΔT .

Để đơn giản, ta sẽ xét trường hợp một chiều, bỏ qua thành phần đối lưu trong phương trình tải khuếch tán rối:

$$C_t = DC_{xx} \quad (2.2)$$

Nếu tại thời điểm ban đầu ta cho phân bố nồng độ có dạng hàm Dirac, tức là cho nồng độ tập chất tập trung quanh một lân cận đủ nhỏ $C(x, 0) = M\delta(x)$ thì phương trình (2.2) có nghiệm dạng [1]:

$$C(x, t) = M(4\pi Dt)^{-1/2} \exp[-x^2/(4Dt)]$$

Đặt $\sigma^2 = 2Dt$, sau đó thay vào phương trình trên ta được nồng độ có dạng phân bố chuẩn với kỳ vọng toán học bằng 0 và phương sai bằng σ .

Từ định lý giới hạn trung tâm trong lý thuyết xác suất ta biết phân bố chuẩn Gauss là giới hạn của phân bố nhị thức đối xứng, mà phân bố này lại có thể biểu diễn chuyển động ngẫu nhiên của các phần tử, sao cho các phần tử đó có thể dịch sang phía phải hoặc phía trái một đoạn Δx như nhau sau bước thời gian Δt như nhau với xác suất p .

Như vậy, sau n bước thời gian, khoảng cách tới vị trí ban đầu của phần tử thứ i sẽ là: $\Delta X = \pm\Delta x \pm \Delta x \pm \dots \pm \Delta x$ (n lần)

$$x = \Delta x(2p - n) \quad (2.3)$$

trong đó

$$p = {}^n C_p(0, 5)^n \quad (2.4)$$

Phương sai sẽ là

$$\sigma^2 = n\Delta x^2, \quad \text{hay} \quad \Delta x = \pm(2D\Delta t)^{1/2} \quad (2.5)$$

Dấu của biểu thức (2.5) được xác định một cách ngẫu nhiên. Từ (2.5) ta xác định được u_i .

Phương trình (2.1) được giải với các điều kiện sau:

- Trên biên lỏng: thường giả thiết rằng nếu tại một thời điểm nào đó hạt lỏng được xét rơi vào lân cận đủ nhỏ của biên lỏng thì từ thời điểm sau đó nó được coi như ra ngoài vùng xem xét, nếu sau bước thời gian Δt hạt đó không quay trở lại vùng tính.

- Trên biên cứng và đáy: ảnh hưởng của bờ và đáy được xét đến bằng cách coi rằng hạt lỏng có thể thấm qua hoặc mắc cạn tại đó. Dạng cụ thể của các biểu thức tương ứng phụ thuộc vào đặc trưng cơ lý hóa của bờ, đáy và của bản thân chất bản.

- Thời gian sống: Nếu chất bản ta xét có thời gian tồn tại hữu hạn thì khối lượng chất đó sẽ bị giảm đi so với lượng thả vào nước biển và lượng giảm bớt đi đó được thực hiện bằng cách đơn giản là loại những phần tử đã quá thời hạn tồn tại ra khỏi danh sách các hạt lỏng mà ta theo dõi.

Về cách tính dòng trung bình: Trong khuôn khổ nghiên cứu này, dòng do sóng chưa được tính đến. Dòng triều, dòng gió trong miền hai chiều có thể tính theo mô hình số trị nước nông phi tuyến hai chiều (trung bình hóa theo chiều sâu) đã xây dựng và phát triển trước đây ở Phân viện Cơ học Biển [4].

Nếu ta xét phân bố chất bẩn trung bình theo chiều sâu thì mô hình đó đủ để xác định vận tốc trung bình nhưng nếu ta cần xét thêm phân bố chất bẩn theo chiều sâu thì có thể sử dụng công thức [4]:

$$U(z) = \frac{(U_f)}{k_0} \ln \frac{(30, 1z)}{k_s} \quad (2.6)$$

trong đó, U là tốc độ dòng triều trung bình tại độ sâu z , U_f vận tốc ma sát của dòng triều, k_0 , k_s là các hằng số, k_0 thường lấy bằng 0,41 còn k_s thay đổi trong khoảng 0,003 đến 0,2. U_f được tính qua dòng triều trung bình theo công thức suy ra từ phân bố trên bằng cách lấy tích phân theo chiều sâu.

Chuyển động thẳng đứng của dòng triều được tính đơn giản bằng đạo hàm theo thời gian của sự thay đổi mực triều. Dòng gió, đôi khi còn được tính một cách đơn giản (nếu có thể bỏ qua ảnh hưởng của địa hình bờ, đáy và trường vận tốc gió có thể coi như khá đồng nhất). Theo cách tính này, người ta coi tốc độ dòng chảy gió tại mặt thoáng song song với véc tơ vận tốc gió và có tốc độ $U_0 = 0,03W_{10}$ trong đó W_{10} là tốc độ gió tại độ cao 10 m. Có thể tính vận tốc dòng gió theo chiều sâu như sau [4]:

$$U_w(z) = U_0(3(1 - z/h)^2 - 4(1 - z/h) + 1), \quad h \text{ là độ sâu} \quad (2.7)$$

Có những trường hợp cần lưu ý đến lực nâng, nổi của hạt lỏng chứa chất bẩn. Thí dụ, theo luật Stokes có thể tính vận tốc nổi của hạt dầu như sau [2]:

$$u_b = gd^2(1 - D_0/D_w)/18\gamma \quad (2.8)$$

trong đó γ là hệ số nhớt động học của nước biển ($m^2 s^{-1}$), D_0 , D_w là mật độ dầu và nước biển (kg/m^3), d là đường kính hạt dầu (m).

2.2. Chương trình tính

Một bộ chương trình tính được viết bằng FTN77, dựa trên mô hình (2.1) - (2.8) đã được xây dựng, thử nghiệm và ghép nối với phần mềm sẵn có tính dòng triều, dòng gió có lưu ý dòng sông và địa hình phức tạp, cài đặt trên máy PC386. Bộ chương trình này cho phép mô phỏng sự lan truyền chất bẩn thụ động: dầu, kim loại nặng, chất dinh dưỡng chlorin hữu cơ hòa tan trong nước hoặc các hạt rắn lơ lửng trôi theo dòng sông ra biển. Số liệu vào là lưu lượng nước sông và tạp chất, các hằng số thủy triều, trường gió, bản đồ địa hình, vị trí, cường độ và thời gian hoạt động của các nguồn tạp chất.

Về nguyên tắc mô hình này có thể bao gồm một số quá trình thủy hóa, thủy sinh khác nếu biết định lượng được chúng (thường là thông qua thực nghiệm).

2.3. Phương pháp hiệu chỉnh

Có thể nhấn mạnh rằng nếu việc xây dựng mô hình số trị cho phép mô phỏng một hiện tượng kiểu vệt nước từ sông ra biển (dạng Plume) có lưu ý được các yếu tố chính yếu kể trên là một việc khá phức tạp thì việc hiệu chỉnh mô hình cho phù hợp với số liệu quan trắc ở Việt Nam là không dễ dàng gì vì những khó khăn sau:

- a) Khó có được lưu lượng nước và chất bẩn chính xác ngay tại cửa sông cần mô tả.

b) Bản thân việc mô phỏng bức tranh dòng chảy cho vùng hẹp đòi hỏi độ chính xác cao hơn đối với miền rộng.

c) Khó có được bản đồ địa hình cập nhật và đủ chính xác, đồng bộ với số liệu đo vì đây là vùng địa hình thường thay đổi mạnh nhất.

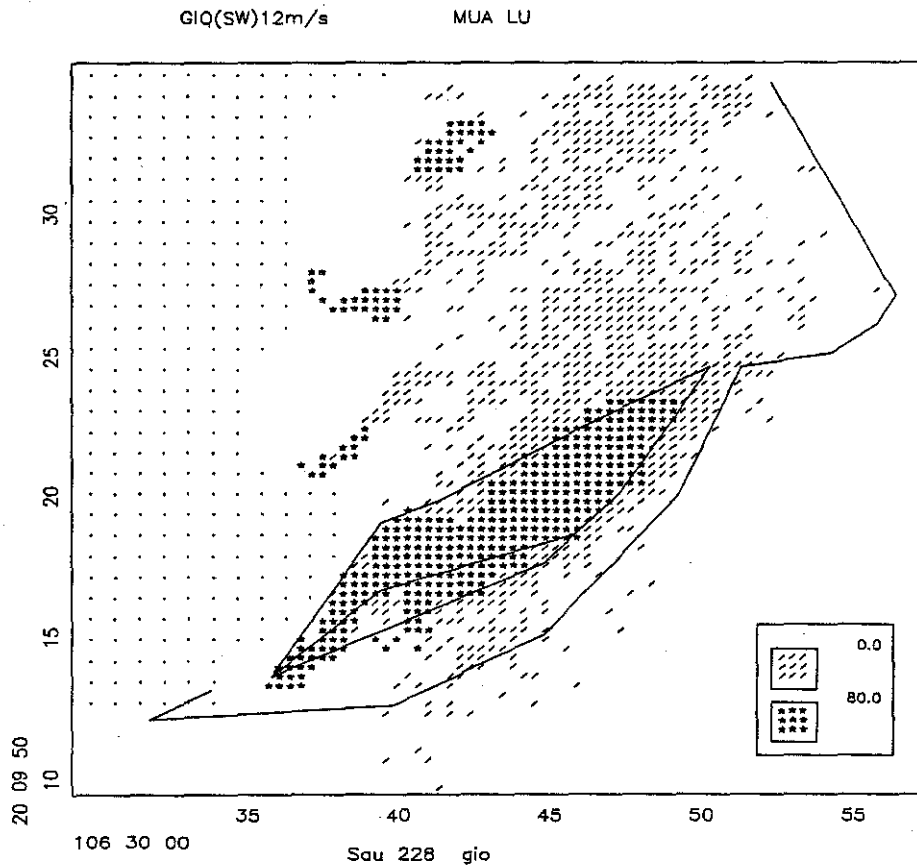
Căn cứ vào khả năng hiện thực của việc hiệu chỉnh, ở đây đã sử dụng ảnh viễn thám được cung cấp trong [5]; chủ yếu là ranh giới vùng nước trong, nước đục và nhân nước đục để so sánh; các tham số để hiệu chỉnh là lưu lượng sông, tốc độ gió và thời gian sống của tạp chất. Các thông số khác lấy vào thời kỳ có ảnh viễn thám

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÙNG NƯỚC ĐỤC Ở MỘT SỐ CỬA SÔNG

Đã sử dụng mô hình số trị nói trên để mô phỏng vệt nước đục ở các cửa sông Balat (sông Hồng), sông Hàn và sông Tiên (sông Cửu Long). Kết quả hiệu chỉnh cho thấy sự phù hợp chấp nhận được cả về ranh giới nước trong, nước đục lẫn nhân nước đục và sự thay đổi theo các pha triều cùng những đặc trưng định tính thủy động lực học nói chung. Sau đây sẽ trình bày chi tiết hơn cho vùng cửa Balat và cửa sông Hàn vào mùa lũ.

Vùng cửa Balat

- Sơ đồ viễn thám mùa lũ (hình 1) cho thấy sau khi ra khỏi cửa, vệt quạt lên phía Đông Bắc theo góc 45°, có nhân đậm, kéo dài đến gần điểm (20°25', 106°50') cùng với các cửa phía Bắc (như nhánh luồng phía Bắc và cửa Trà Lý) tạo thành một khu vực nước đục từ (20°12', 106°38') đến (20°30', 106°55') với một số nhân đậm có tính địa phương tại các cửa phụ đó.



Hình 1. Mô hình của Balat

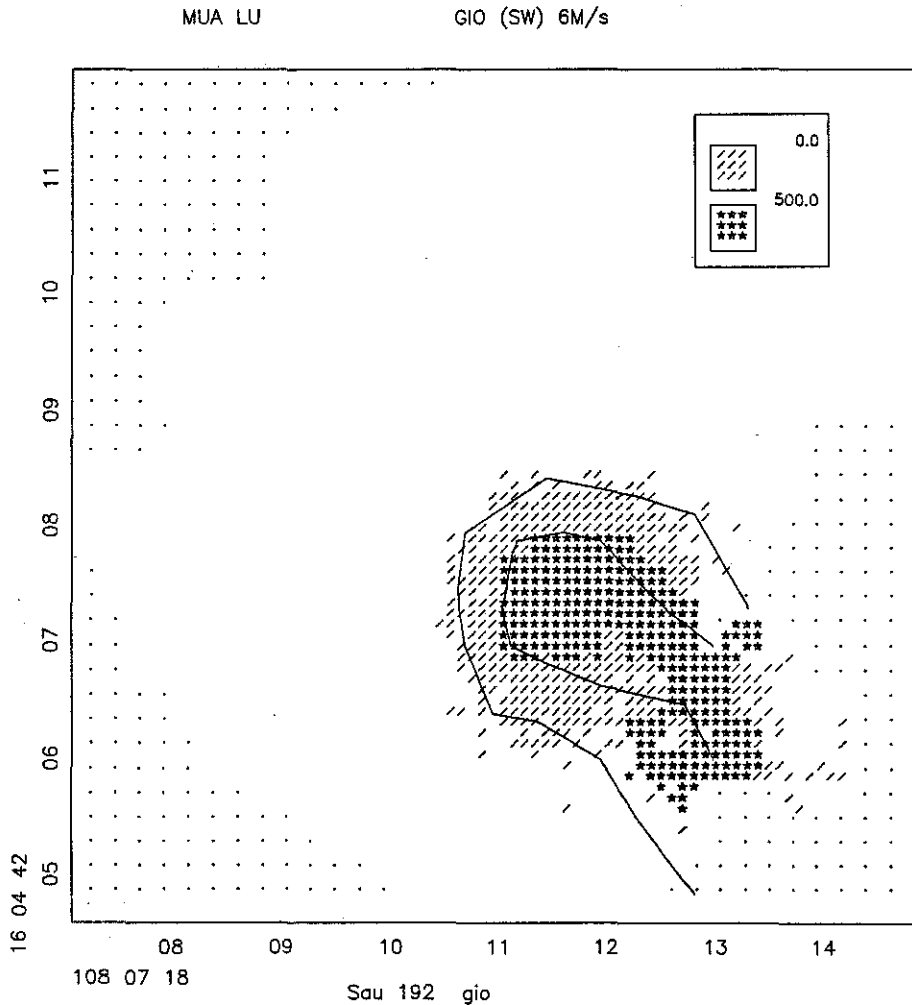
Những đường liền nét là những ranh giới các vùng có độ đục khác nhau của ảnh viễn thám

Mô hình phản ánh được các đặc tính trên sau khi chạy mô hình 228 giờ với gió 12 m/s. Cần lưu ý rằng bức tranh phân bố trên tương đối ổn định sau cỡ 114 giờ tính.

Vùng cửa sông Hàn

- Sơ đồ viễn thám mùa lũ (hình 2) cho thấy sau khi ra khỏi cửa nước sông tạo thành một vùng nước đục bắt nguồn từ mỏm đất phía giữa đông bờ vịnh có tọa độ ($16^{\circ}07'30''$, $108^{\circ}13'25''$), gặp đường kinh tuyến $108^{\circ}11'$ tại $16^{\circ}08'20''$ hơi nhô sang phía trái đường $108^{\circ}11'$ rồi quặt lại gặp đường đó ở $16^{\circ}06'30''$ rồi lượn sang phía đông nam đi qua điểm ($16^{\circ}06'$, $108^{\circ}12'$). Nhân đục có độ đậm đặc hơn và gần như lặp lại đường bao đó nhưng thu hẹp hơn.

Mô hình sau khi chạy 192h với gió SW 6m/s phản ánh được các đặc tính trên.



Hình 2. Mô hình của sông Hàn

Những đường liền nét là những ranh giới các vùng có độ đục khác nhau của ảnh viễn thám

4. NHẬN XÉT VÀ KẾT LUẬN

Các kết quả sử dụng phần mềm nói trên để mô phỏng số trị các vệt nước đục ở cửa sông và lan loang vệt dầu do sự cố đối với các vùng khác nhau cho phép kết luận rằng: Phương pháp

ngẫu hành có nhiều triển vọng ứng dụng tốt ngay cả trong điều kiện Việt Nam (thiếu số liệu quan trắc) để mô phỏng sự truyền tải và khuếch tán các tạp chất từ các nguồn xác định trong môi trường nước có chú ý đến tính phức tạp của hệ thống dòng chảy và địa hình. Song cần lưu ý:

- Số hạt lỏng N cần chọn chủ yếu phù hợp với bộ nhớ trong của máy tính và thời gian tính. Đối với máy PC386 chọn N khoảng 10000 đến 15000 với trường vận tốc tính trước khoảng 10000 nút lưới.

- Hệ số khuếch tán D cần chọn tỷ lệ với độ lớn vùng tính.
- Đối với các vùng có biên độ triều lớn phân bố nồng độ phụ thuộc rõ rệt vào các pha triều.
- Đối với các tạp chất có độ lắng lớn (bùn cát) thì kết quả ít phụ thuộc hơn vào trường gió so với các loại tạp chất hòa tan hoặc nổi (dầu).
- Thời gian sống của hạt đủ lớn cho phép mô phỏng được các vùng có nồng độ lớn ở xa nguồn. Tuy nhiên điều đó có thể gây ra những kết quả không chấp nhận được ở một số trường hợp khác.
- Khi tăng lưu lượng của nguồn thì phải cần tăng số lượng hạt rời rạc (N) để có sự phân bố phù hợp về khối lượng.

Địa chỉ:

Phân viện Cơ học Biển, Viện Cơ học

Nhận ngày 25/2/1995

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn tất Đắc. Mô hình toán học một chiều mô phỏng sự truyền triều và xâm nhập mặn trên hệ thống sông. Luận án PTS, Hà Nội 1987.
2. Phạm Văn Ninh, Bùi Minh Đức, Phạm Trung Lương. Mathematical modelling and remote sensing methods for assessment riverine pollution inputs to the sea. Second Westpac Symposium, Malaysia, 1991.
3. Phạm Văn Ninh, Nguyễn Vũ Tường, Phan Ngọc Vinh, Đinh Văn Mạnh. Mô phỏng toán học ô nhiễm biển do sông tải ra. Báo cáo 1994 đề tài KT.03.07.
4. Phạm Văn Ninh, Đỗ Ngọc Quỳnh, Đinh Văn Mạnh. Nước dâng do bão ở Việt Nam. Tuyển tập công trình hội nghị Cơ học thủy khí toàn quốc 3, 1990.
5. Phạm Trung Lương, Phạm Văn Ngạc. Sơ đồ viễn thám cấp độ đục ở cửa sông. Báo cáo 1994 đề tài KT.03.07.

SUMMARY

MODELLING OF TURBIDITY WATER PLUME AT ESTUARIES

In the paper results of numerical simulation of turbidity water plume based on the Random Walk technics are presented. A software which allows to describe the boundary and distribution of contaminant concentration of a plume with river and contaminant discharge, tide and wind currents and complicated topography of the basin taken into account, has been developed. The carried out numerical model has been verified well by remote sensing images for classification of the turbidity distribution of Red. Han and Me Kong estuaries. Some remarks have been made for using of the numerical model.