

ĐÁNH GIÁ DÒNG CHẢY DƯ 3 CHIỀU VÙNG

CỦA SÔNG BẰNG MÔ HÌNH SỐ TRỊ

TS. Nguyễn Hữu Nhân

Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam Bộ

Tóm tắt: Đánh giá về dòng chảy dư (Net Current) có ý nghĩa rất quan trọng để xác định chế độ thuỷ văn và môi trường vùng cửa sông. Các cửa sông Việt Nam đều bị triều khống chế mạnh (khoảng 60-95% trị số vận tốc dòng chảy là của dòng triều). Kinh nghiệm cho thấy, dòng chảy dư thường bị dòng triều che khuất nên đánh giá rất khó. Hơn thế, các liệt số liệu thực do thường không đủ để đánh giá thường dòng chảy dư vùng cửa sông vì nó có cấu trúc rất đa dạng. Trong nhiều trường hợp, đành phải bỏ trống các dữ liệu về dòng chảy dư, và các nhận định về chế độ thuỷ văn vùng cửa sông lúc đó sẽ kém thuyết phục. Chưa thấy tác giả nào đặt vấn đề sử dụng các mô hình số trị để đánh giá dòng chảy dư vùng cửa sông. Bài viết này bàn về phương pháp đánh giá dòng chảy dư bằng mô hình số trị 3 chiều chất lượng cao-mô hình MECCA và minh họa qua ví dụ ứng dụng cụ thể cho cửa sông Soài Rạp. Chúng tôi nghĩ rằng, đây không phải là “dùng dao mổ trâu để giết muỗi” như ban đầu có thể ngộ nhận, vì đánh giá dòng chảy dư là vấn đề tinh tế và phức tạp. Khi muốn có các thông tin chi tiết (3 chiều) về dòng chảy dư vùng cửa sông và ven bờ, phương pháp do chúng tôi đề ra là thích hợp vì rẻ, hiệu quả và tổng quát.

I. Đặt vấn đề và hướng tiếp cận

Tất cả các cửa sông Việt Nam đều bị triều khống chế. Tùy theo trạng thái thời tiết, khoảng 60-95% trị số vận tốc dòng chảy tổng hợp tại đây là dòng triều (biến thiên tuần hoàn theo thời gian và không phụ thuộc thời tiết). Thành phần vận tốc dòng chảy dư (phụ thuộc vào thời tiết) chiếm 10-40% trị số vận tốc dòng chảy tổng hợp. Dòng chảy dư (Net Current) được hiểu như dòng chảy trung bình cho khoảng thời gian nhất định (đủ để loại bỏ thành phần dòng triều tuần hoàn chính). Các nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm đã khẳng định rằng: vai trò của dòng chảy dư đối với chế độ thuỷ văn và môi trường nước vùng cửa sông là rất lớn.

Do độ tin cậy máy móc còn thấp (sai số có khi lên đến 10-15%), nên việc đo đặc dòng chảy dư thường kém chính xác. Một số tác giả lập mô hình tính toán dòng chảy dư riêng và dòng triều riêng. Dòng tổng hợp được xem là tổng hợp vectơ của chúng, xem chúng tồn tại độc lập. Trong một số trường hợp, nhất là khi gió tại cửa sông lớn hay khi nước lũ rút mạnh (cũng là lúc tác động môi trường các cửa sông xảy ra quyết liệt nhất), cách làm này là chưa thuyết phục. Trong hoàn cảnh đó, dòng triều và các thành phần dòng chảy khác như: dòng chảy gió, dòng chảy mật độ và dòng chảy do lũ rút tại vùng cửa sông có cường suất gần như nhau và sự tương tác xảy ra không theo luật chồng chập tuyến tính.

Cách làm đúng đắn là: xác định trường dòng chảy tổng hợp tại mọi thời điểm trong thời khoảng đủ dài (tùy theo chu kỳ triều tại khu vực khảo sát) tôn trọng các tương tác tự nhiên và đầy đủ của mọi thành phần, tiếp theo là trung bình hoá trường dòng tổng hợp cho khoảng thời gian đó để tìm trường dòng chảy dư (tương tự như khảo sát thực địa: (i) đo dòng tổng hợp; (ii) trung bình hoá các liệt số liệu thực đo để xác định dòng chảy dư). Bài viết này bàn về một mô hình số trị phù hợp cho việc khám phá các quy luật dòng chảy dư 3 chiều cho vùng cửa sông.

II. Mô hình tính toán

Các mô hình được cộng đồng các nhà khoa học quốc tế thừa nhận và đang được sử dụng rộng rãi là đối tượng quan tâm của chúng tôi. Các chỉ tiêu để chọn mô hình cụ thể có thứ tự ưu tiên như sau: độ bảo đảm vật lý; phù hợp với vùng cửa sông; khả thi; cho các kết quả hợp lý và chính xác; hiệu quả. Sau khi tham khảo một số mô hình 3 chiều đang được dùng trên thế giới [1,4,5] và cân nhắc tính khả thi của các mô hình, chúng tôi đã chọn mô hình 3 chiều, phi tuyến và không dừng trong tọa độ sigma MECCA. Mô hình MECCA là công cụ có độ bảo đảm vật lý cao để khảo sát dòng chảy 3 chiều trong nước vùng cửa sông, ven bờ và vịnh nước nông [1,4]. Đây là một mô hình lớn, phức tạp nhưng tính khả thi cao so với các mô hình khác cùng quy mô. Nó được hình thành sau khi các mô hình khác đã được công bố công khai trong các báo cáo tư vấn và tạp chí khoa học (Hess, 1989; Blumberg and Mellor, 1987).

Hệ phương trình cơ bản của mô hình toán 3 chiều mô phỏng các quá trình thuỷ-nhiệt động lực học vùng cửa sông trong tọa độ sigma (x, y, q, t) với phép gần đúng Boussinesq bao gồm [1, 2]:

$$(Hu)_t + (HB_x u)_x / B_x + (Huv)_y + (uw)_q = -gHh_x - Hp_{ax} - HG_x + fHv + \frac{1}{H} \left[(2HB_x A_h u_x)_x + (HB_x A_h (v_x + u_y))_y \right] / B_x + (A_v u_q)_q / H - C_{ws} HB_x^{-1} u |u| \quad (1)$$

$$(Hv)_t + (HB_y v)_y / B_y + (Hvu)_x + (vw)_q = -gHh_y - Hp_{ay} - HG_y - fHu + \frac{1}{H} \left[(2HB_y A_h v_y)_y + (HB_y A_h (v_x + u_y))_x \right] / B_y + (A_v v_q)_q / H - C_{ws} HB_y^{-1} v |v| \quad (2)$$

$$h_t + (HB_x u)_x / B_x + (HB_y v)_y / B_y + w_q = 0 \quad (3)$$

$$\rho = \rho_o(1 + \phi[s, T]), \phi[s, T] = c_{so} + c_{s1}s + c_{st1}st + c_{T1}T + c_{12}T^2 \quad (4)$$

4. Phương trình cân bằng độ mặn hòa tan hay vật chất hòa tan:

$$(HS)_{tx} (HB_x(uS - D_h S_x))_x / B_x + (HB_y(vS - D_h S_y))_y / B_y + (w^* S - D_v S_q / H)_q = 0 \quad (5)$$

5. Phương trình cân bằng nhiệt:

$$(HT)_{tx} (HB_x(uT - D_h T_x))_x / B_x + (HB_y(vT - D_h T_y))_y / B_y + (w^* T - D_v T_q / H)_q = HR \quad (6)$$

6. Công thức tính hệ số tán xạ rối ngang:

$$A_h = A_{ho} + C_{AH} \Delta L^2 |Ur|, Ur = \sqrt{2(u_x^2 + v_y^2 + 2u_x v_y)}, D_h = A_h \delta \text{ (đơn vị)} \quad (7)$$

7. Công thức tính hệ số tán xạ rối đứng:

$$A_v = A_{vo} + A_z (C_{R0} (1 + C_{R1} R_i)^{-C_{R2}}), D_v = D_{vo} + A_z (C_{R3} (1 + C_{R4} R_i)^{-C_{R5}}) \quad (8)$$

8. Công thức tính vận tốc thẳng đứng:

$$w^* = Hdq / dt = w - (1+q)h_t - u(h_x + qH_x) - v(h_y + qH_y) \quad (9)$$

Trong đó:

- $G_x = \alpha q \left\{ [H \int (\rho - \rho_0) dq]_x + (h_x + qH_x)(\rho - \rho_0) \right\}$ là gradient độ sâu;
- $G_y = \alpha q \left\{ [H \int (\rho - \rho_0) dq]_y + (h_y + qH_y)(\rho - \rho_0) \right\}$ là gradient độ sâu;
- $A_z = [kz(1-z)/H]^2 (u_x^2 + v_y^2)]^{1/2}$ là hệ số khuếch tán;
- x, y, q, t là tọa độ theo phương ngang, phương đứng và thời gian;
- $q = (h-z)/H, H=h+d$ là độ sâu;
- x, y, q, t là đạo hàm riêng theo x, y, q và t ;
- u, v, w các thành phần vận tốc theo x, y, z ;
- T, S nhiệt độ và độ mặn;
- B_x, B_y là hình chiếu bề rộng sông bé hơn bề rộng ô lưới lên trục x và y ;
- $\rho, \alpha = 1/\rho_0, \rho_0$ là mật độ và thể tích riêng;
- u, v, w là thành phần vận tốc theo chiều x, y, z ;
- C với chỉ số là các hệ số thực nghiệm;
- A với chỉ số là các hệ số khuếch tán xung lượng;
- F với các chỉ số là nguồn vật chất hay nhiệt lượng;

f là tham số Coriolis; D với các chỉ số là các hệ số khuếch tán chất bảo thủ; h là độ lạch mực nước tức thời so với chuẩn cao trình; d là độ sâu biển so với chuẩn cao trình; H là độ sâu biển tức thời; P là áp suất không khí trên mặt biển; G_x, G_y là các thành phần gradien độ nghiêng áp do sự bất đồng nhất theo phương ngang của trường mật độ $\rho(x, y, q, t)$.

Điều kiện biên như sau:

- Tại biên rắn: cho dòng nước, nhiệt và vật chất theo phương pháp tuyến bằng 0.

Tại biên lỏng (cửa sông và biển khơi):

1. Cho mực nước $h_s(t)$ hay vận tốc trên 4 tầng nước: mặt, đáy, lớp đồng nhất, đáy lớp hoạt động biển và đáy biển;
2. Khi nước chảy vào vùng khảo sát: cho nhiệt độ, độ mặn tại 4 tầng: mặt, đáy lớp đồng nhất, đáy lớp hoạt động biển và đáy biển;
3. Khi dòng chảy đi ra khỏi vùng khảo sát: trị số biên của hàm lượng chất tan, độ mặn và nhiệt độ trên được ngoại suy từ các ô bên trong bằng phương trình tải thuần túy theo phương pháp tuyến đường biên.

- Tại mặt biển:

1. Cho vận tốc và hướng gió trên độ cao 10m so với mặt biển;
2. Cho nhiệt độ không khí, các thông số tính dòng nhiệt, dòng mặn, dòng vật chất đi qua mặt biển;
3. Vận tốc thẳng đứng bằng không;
4. Ứng suất tiếp tuyến mặt biển bằng ứng suất ma sát gió tại mặt nước.

- Tại đáy biển:

1. Cho dòng ma sát đáy theo luật bình phương vận tốc;
2. Cho các thông số để tính dòng nhiệt, dòng muối và dòng vật chất tầng cận đáy;
3. Vận tốc thẳng đứng bằng không.

Điều kiện đầu là nước yên tĩnh tại thời điểm bắt đầu $t=t_0$.

Thuật giải số trị: Các ẩn số của bài toán tổng quát (1-10) là: $u(x,y,q,t)$, $v(x,y,q,t)$, $T(x,y,q,t)$, $S(x,y,q,t)$, $w(x,y,q,t)$ và $h(x,y,t)$ trong miền không gian 3 chiều G thuộc vùng cửa sông với $t \in \Delta T$. Bài toán trên được giải bằng phương pháp số trị. Thuật giải số trị của nó được mô tả chi tiết trong [1, 2]. Các công thức sai phân rất rườm rà và không tiện viết dạng tường minh của chúng ra đây. Các nét chính như sau.

Đầu tiên, bài toán dòng chảy tổng quát trên được phân ly ra hai bài toán: bài toán dòng chảy barotropic và dòng chảy baroclinic. Chúng được giải lần lượt xen kẽ nhau. Thuật giải bài toán dòng chảy barotropic được xây dựng trên sơ đồ sai phân luân hướng ẩn (ADI), tương tự như thuật giải mô hình nước nông quen thuộc. Đây là một thuật giải rất thịnh hành và đã trở thành một thuật giải số chuẩn. Các công thức sai phân để xấp xỉ các phương trình vi phân đã được công bố rộng rãi và công khai trên tạp chí và báo cáo tư vấn. Cần nhấn mạnh, tuy sơ đồ này trên lý thuyết là ổn định tuyệt đối (khi không có các số hạng phi

tuyến, 'gia tốc Coriolis và khuếch tán ngang), nhưng kinh nghiệm cho thấy sơ đồ này chỉ ổn định với vài điều kiện phụ [1,2]. Bài toán về dòng chảy baroclinic được xấp xỉ bằng sơ đồ ẩn theo phương đứng. Kết quả là chúng ta chỉ phải làm việc với phương trình dạng 3 đường chéo cho từng ô trên mặt phẳng ngang và sang ô kế tiếp, quá trình đó được lặp lại (chạy theo cột từ trên xuống), tức từ mức $q=0$ đến mức $q=-1$. Thuật giải hệ phương trình loại này cũng đã được biết trong kỹ thuật giải số nói chung. Vận tốc thẳng đứng tính theo phương trình liên tục. Điều kiện biên tại đáy ($q=-1$) và mặt ($q=0$) là $W=0$. Công thức sai phân tiến sẽ được dùng để tính vận tốc theo phương đứng.

Kế đến, bài toán tái-phát tán vật chất và nhiệt được giải trên một thuật giải như nhau. Phương pháp flux-Corrected (Boris and Book, 1976) sẽ được dùng để giải các phương trình tái và phát tán các chất bảo thủ và tựa bảo thủ. Hệ phương trình sai phân xây dựng trên sơ đồ này sẽ ẩn theo phương đứng và hiện theo phương ngang và cũng là hệ phương trình 3 đường chéo và được giải theo phương pháp khử đuôi quen thuộc. Phương trình bảo tồn vật chất, độ mặn và nhiệt được giải từ đáy lên mặt (từ $q=-1$ đến $q=0$). Lưu ý là ô đáy và ô mặt là các ô một nửa vì chúng có độ dày bằng một nửa độ dày các lớp giữa.

Tiếp theo, các thành phần dòng chảy dư được xác định thông qua thuật toán duyệt số liệu tính toán cho tất cả các nút lưới để tìm trường dòng chảy trung bình (loại bỏ dòng tuần hoàn do triều) cho cả chu kỳ tính toán như sau:

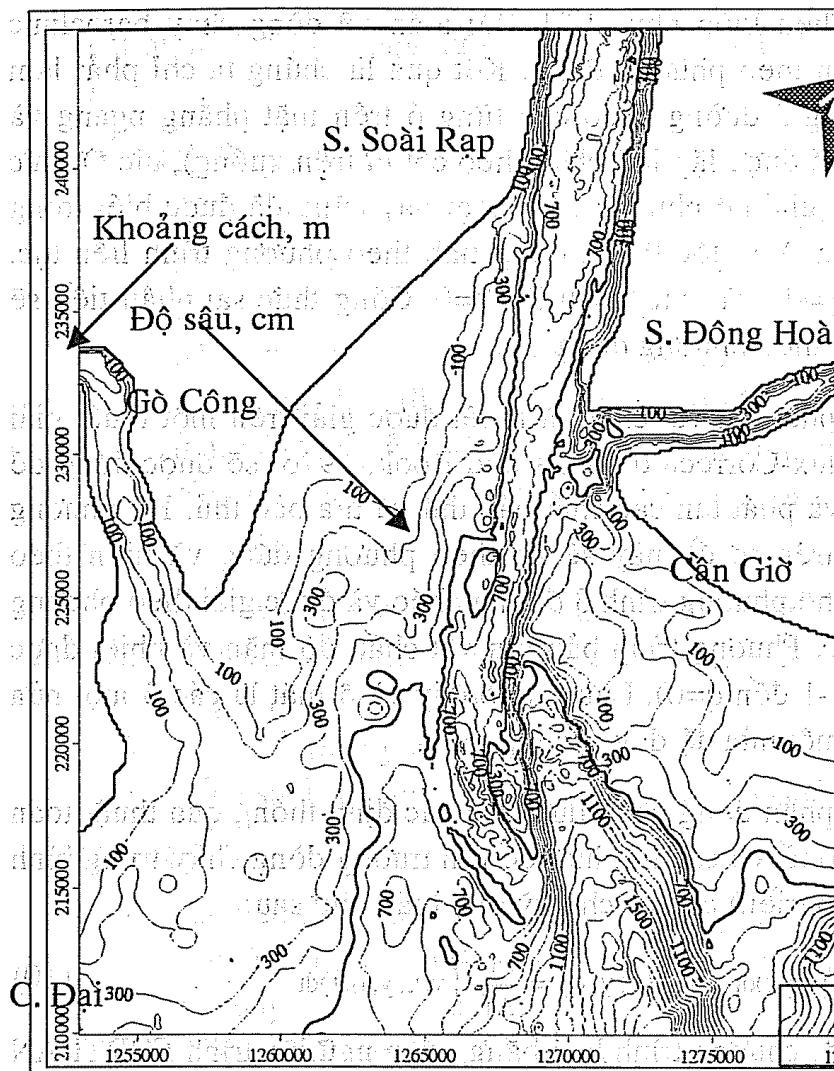
$$U_{\text{net}}(x, y, q) = \frac{1}{\Delta T} \int_0^{\Delta T} u(x, y, q, t) dt; \quad V_{\text{net}}(x, y, q) = \frac{1}{\Delta T} \int_0^{\Delta T} v(x, y, q, t) dt \quad (10)$$

Thuật giải này đã được chương trình hoá bằng ngôn ngữ lập trình FORTRAN 90 để chạy trên máy vi tính để bàn có cấu hình tốt và hệ điều hành Windows 95 trở lên. Đó là một bộ chương trình lớn có chất lượng tốt đã được kiểm định rất kỹ trong các công trình nghiên cứu đã công bố [1,2,3].

III. Ví dụ ứng dụng

Trong khuôn khổ bài viết này, chúng tôi xin minh họa khả năng mô phỏng dòng chảy dư của mô hình trên qua ví dụ ứng dụng cho cửa sông Soài Rạp thuộc hạ du sông Đồng Nai-Vàm Cỏ với địa hình đáy và đường bờ như hình 1.

đô ba vịnh có thể miêu tả dưới dạng:



Hình 1
Địa hình đáy và đường bờ
vùng cửa sông Soài Rạp

Các biên lồng:

- A: Cửa Đại-Vũng Tàu
- B: Vũng Tàu-Cần Giờ
- C: Sông Đông Hoà
- D: Sông Soài Rap
- E: Sông Cửa Tiểu
- F: Sông Cửa Đại

Vũng Tàu

Dữ liệu nhập:

Độ phân giải phương ngang là 100m. Độ phân giải theo phương đứng của là 11 tầng (10 lớp). Kích thước mảng tính là 296x361x11. Độ phân giải thời gian: 30 giây; Thời gian tính là bắt đầu từ 0 giờ ngày 1 tháng III năm 2000. Gió cửa tháng III tại đây có hướng đông, tốc độ trung bình tại độ cao 10m là 5m/s. Thời khoảng tính là 15 ngày và 2 ngày làm nóng số liệu.

Mực nước trên các biên lồng (A→F, xem hình 1) được tính theo số liệu mực nước trung bình và các hằng số điều hoà của 67 sóng triều. Các số liệu này được xác định theo số liệu thực đo tại các trạm: Vũng Tàu, Cần Giờ, sông Đông Hoà, sông Soài Rạp, sông Cửa Tiểu, sông Cửa Đại và nội suy tuyến tính cho các điểm trung gian. Độ mặn và nhiệt độ trên 4 tầng nước tại các biên lồng A→F được xác định theo số liệu đo đặc tiêu biểu trong mùa khô. Ước tính, vào tháng III, lưu lượng cố định từ các sông đổ ra cửa Soài Rạp bao gồm: sông Soài Rạp: 400 m³/s, sông Cửa Tiểu: 200 m³/s, sông Cửa Đại: 250 m³/s, sông Đông Hoà: 50 m³/s.

Dữ liệu xuất:

Kết xuất của thực nghiệm số trị là trường dòng chảy tổng hợp (u , v và w), mực nước z , nhiệt độ T và độ mặn S tại 296x361x11 nút cho tất cả các thời điểm giờ chẵn trong vòng 15 ngày và trường dòng chảy dư tại 296x361x11 nút.

Đây là cơ sở dữ liệu xuất rất lớn (448MB) có thể khai thác vào nhiều mục tiêu khác nhau. Trên hình 2 là các bản đồ phân bố hướng và suất dòng chảy tổng hợp ở thời điểm triều rút mạnh tại 4 tầng nước, còn trên hình 3 là các bản đồ phân bố hướng và suất dòng chảy dư tại 6 tầng nước chính của vùng cửa Soài Rạp ứng với số liệu nhập nêu trên.

Thảo luận .

Dòng tổng hợp tại cửa sông Soài Rạp chủ yếu là dòng triều (chiếm đến hơn 80% dòng tổng hợp), biến thiên liên tục theo pha triều. Vận tốc dòng chảy cao nhất quan sát thấy trên tuyến luồng tàu từ vịnh Gành Rái đi biển Đông có thể đạt đến 200cm/s. Tại đây, thông thường vận tốc dòng tổng cộng > 60 cm/s, tức vượt vận tốc ngưỡng bồi của các hạt sa bồi mìn từ thượng nguồn các sông đổ về. Như vậy, các luồng tàu này nói chung sẽ ổn định và bùn cát khó có thể lắng đọng trên đáy các luồng đó.

Hướng dòng chảy tổng hợp khi triều rút thường song song với đường bờ và đường đẳng độ sâu vùng cửa sông. Điều đặc biệt là trên các bãi cạn Cần Giờ và Gò Công có hiện tượng hội tụ hướng dòng chảy khi nước rút ra. Đây có thể là nguyên nhân chính giải thích vì sao có sự bồi tụ bùn cát tạo ra địa hình bồi dạng tam giác ngược (xem hình 1 có đối chiếu với hướng dòng chảy khi triều rút trên hình 2).

Trên tất cả khu vực khảo sát, vận tốc dòng chảy tổng hợp trên tầng mặt thường lớn hơn tầng đáy 10-15%. Khi triều rút mạnh, hướng trên mặt và đáy ít khác nhau.

Khác với dòng tổng hợp, dòng chảy dư trên vùng cửa sông Soài Rạp có cấu trúc không gian rất phức tạp và biến đổi mạnh theo độ sâu (xem hình 3).

Tầng mặt, dòng chảy dư có thành phần chính là dòng chảy trôi do gió. Trong trường hợp này là gió hướng đông và dòng chảy tầng mặt chủ yếu có hướng tây-nam, kết quả tương tác giữa dòng chảy trôi do gió và dòng chảy dư do lưu lượng từ các con sông nhánh đổ ra và dòng nhiệt muối.

Trên các tầng từ tầng cận mặt cho đến tầng đáy (xem hình 3), cấu trúc trường dòng chảy dư tương tự nhau. Chúng ta dễ dàng nhận ra 4 luồng chảy dư: (i) luồng chảy dư thứ nhất hướng tây-nam từ vùng vịnh Gành Rái đi qua bãi cạn Cần Giờ đi đến trung tâm vịnh Soài Rạp-Đông Tranh; (ii) luồng chảy dư thứ hai đi thẳng từ sông Soài Rạp ra trung tâm vịnh Soài Rạp-Đông Tranh với hướng chảy chính là

đông-nam; (iii) luồng chảy dư thứ ba đi từ sông Cửa Tiểu và Cửa Đại ra trung tâm vịnh Soài Rạp-Đông Tranh với hướng chảy chính là đông. Bốn luồng này cùng hội tụ thành một dòng chảy dư đi về phía nam, dọc bờ biển Nam Bộ (xem hình 3). Để ý thêm là: *nếu ta xem cấu trúc dòng chảy tổng hợp* (hình 2), *thì ta sẽ không nhận ra quy luật này* (vì bị dòng triều mạnh hơn che lấp).

Trong mùa khô, trị số vận tốc dòng chảy dư tại đây khá lớn (đạt từ $5 \rightarrow 25$ cm/s). Trong mùa lũ, suất vận tốc dòng chảy dư có thể lớn gấp hai mùa khô.

IV. Kết luận

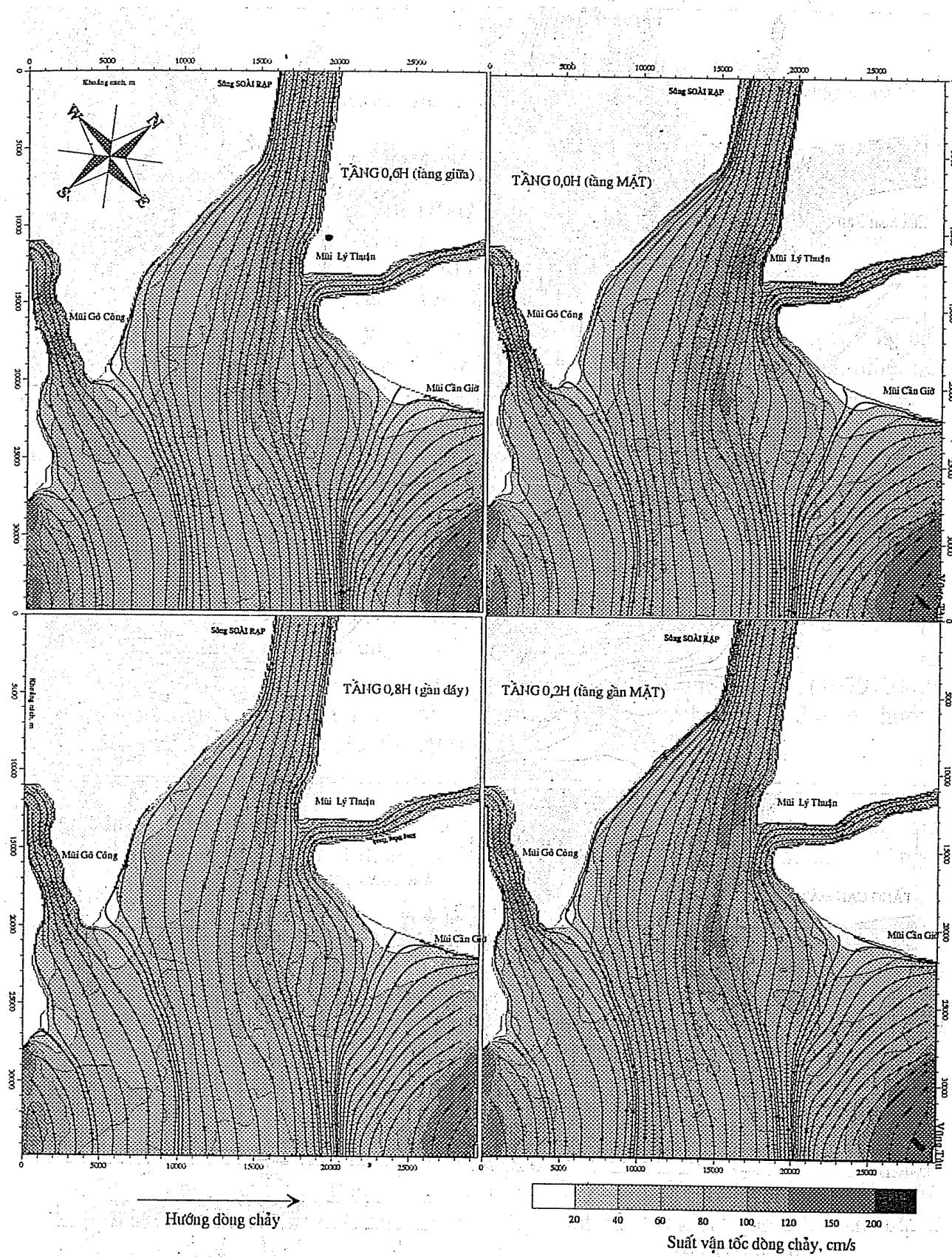
Phương pháp đánh giá dòng chảy dư 3 chiều bằng mô hình toán mà chúng tôi nêu trên có nhiều thuộc tính tốt như: nhận được cấu trúc chi tiết của trường dòng chảy dư, chi phí bỏ ra nhỏ và độ tin cậy cao (loại được các nhiễu động ngẫu nhiên). Ngoài dòng chảy dư, phương pháp nêu trên có thể dùng để dự báo các trường vật lý khác như: dòng chảy tổng hợp, độ mặn, nhiệt độ, hàm lượng các chất tan trên các cửa sông.

Tóm lại, phương pháp nghiên cứu chế độ dòng chảy dư 3 chiều cho vùng cửa sông có hiệu quả cao. Mô hình tính toán chính cũng đã được kiểm chứng khá kỹ qua so sánh giữa số liệu tính toán và thực địa.

Tài liệu Tham khảo

1. Nguyễn Hữu Nhân (1998). Dự báo cấu trúc dòng chảy 3 chiều trong vịnh Thái Lan bằng mô hình MECCA. Tạp chí Khí tượng Thủy văn số 6 (451), 29-35.
 2. Nguyễn Hữu Nhân (1997): Dánh giá sự biến đổi của sóng, dòng chảy và bồi xói trong dự án lấn biển mở rộng thị xã Rạch Giá. Báo cáo tư vấn. Tỉnh Kiên Giang. 187 tr.
 3. Nguyễn Hữu Nhân, Hồ Ngọc Điện (1999). Hệ thống trợ giúp nghiên cứu sóng trên vùng cửa sông ven biển. Tạp chí Khí tượng Thủy văn Số 458 (2), 40-46.
 4. Blumberg A.F. and Mellor G.L. (1987): "A Description of Three-Dimensional Coastal ocean Model". in "Three-Dimensional Coastal ocean Models". N.S. Heaps Ed., American Geophysical Union, Washington, D.C.
 5. Wolanski E, Nguyễn Hữu Nhân, Spagnol S. (1998). Fine sediment dynamics in the Mekong River estuary in the dry season. J Coastal Research, Vol 14, No 2, 472-482.

Hình 2. Bản đồ phân bố trường dòng chảy tổng hợp (do triều, gió, lưu lượng sông, bất đồng nhất mật độ) tại vùng cửa sông Soài Rạp (vào thời điểm triều đang rút mạnh ra biển Đông)



Hình 3. Bản đồ phân bố suất vận tốc và hướng dòng chảy dư tại 6 tầng
giữa mặt đất và đáy nước từ mặt đến đáy ($0 \rightarrow H$, H là độ sâu).

