

ỨNG DỤNG MÔ HÌNH TOÁN NGHIÊN CỨU CHẾ ĐỘ DÒNG CHẢY, VẬN CHUYỂN BÙN CÁT VÀ DIỄN BIẾN ĐÁY VÙNG BIỂN BẠC LIÊU

PGS.TS. Nguyễn Thị Bảy - Bộ Môn Cơ Lưu Chất, Trường Đại Học Bách Khoa Tp.HCM

PGS.TS. Nguyễn Kỳ Phùng - Phân Viện Khí tượng Thủy văn và Môi trường phía Nam

Trong báo cáo, các tác giả trình bày mô hình toán tính dòng chảy, chuyển tải bùn cát và diễn biến đáy vùng cửa sông và ven biển dưới ảnh hưởng của tất cả các yếu tố sóng, gió và triều, áp dụng tính toán cho vùng biển Bạc Liêu. Mô hình dòng chảy dựa trên lời giải hệ phương trình dòng chảy tích phân theo chiều sâu có tính tới các yếu tố của sóng, gió và triều, trong đó mô hình RCP-Wave đã được sử dụng để tính trường ứng suất sóng. Bài toán dòng chảy được kết hợp tính với bài toán vận chuyển bùn cát và diễn biến đáy dựa trên phương trình vận chuyển bùn cát và liên tục vật chất đáy. Các kết quả nghiên cứu được về chế độ động lực học trong khu vực này nhằm góp phần nghiên cứu cơ bản phục vụ khắc phục xói lở bờ biển Bạc Liêu và định hướng cho quá trình phát triển kinh tế xã hội của vùng.

Từ khóa: Mô hình toán tính dòng chảy và diễn biến đáy vùng ven biển.

1. Đặt vấn đề

Bồi-xói là quá trình phức tạp ở vùng cửa sông, ven biển. Các quá trình này là nhân tố chính ảnh hưởng sự biến đổi đáy biển, và là kết quả gây xói lở hoặc bồi lấp luồng tàu, cửa sông. Vấn đề đặt ra ở đây là tìm nguyên nhân gây xói lở, nhằm khắc phục hợp lý để giảm nhẹ thiệt hại..

Bạc Liêu là một tỉnh thuộc bán đảo Cà Mau, cực nam của Việt nam, có đường bờ biển dài 56 km với các cửa biển quan trọng như: Gành Hào, Nhà Mát, Cái Cùng (hình 1). Bờ biển đoạn Nhà Mát-Gành Hào-Bồ Đề là đoạn có cán cân dòng bùn cát dọc bờ biển bị thiếu hụt, đường bờ biển có dạng lõm, từ đó dẫn đến hiện tượng hội tụ sóng từ khu vực biển Đông, sóng do gió với hướng gió Tây Nam và gió Chướng trong mùa gió Đông Bắc vào các ngày triều cường, hoạt động mạnh đều gây ra xói lở

Sóng và dòng chảy bao gồm dòng hải lưu ven bờ, dòng chảy ngược xuôi trong sông là những nguyên nhân chính và trực tiếp gây nên hiện tượng xói lở - bồi tụ. Vào mùa gió Đông Bắc, đặc biệt là vào các tháng gió chướng, sóng tác động rất mạnh

vào đường bờ ven biển, cửa sông ven biển Gành Hào, kênh 30/4 gây nên xói lở ngang, công phá, moi đất, cát từ trong bờ ra và dòng chảy do sóng mang ra xa bờ tạo nên sự thiếu hụt vật liệu của bờ và quá trình cứ liên tục tiếp diễn đến khi mùa gió Đông Bắc kết thúc. Vào mùa gió Tây Nam dòng hải lưu ven bờ mang bùn cát từ phía Nam lên mang theo phù sa ven bờ từ Bồ Đề-Gành hào lên phía Bắc (khu vực các cửa sông Cừu Long) càng làm gia tăng sự thiếu hụt bùn cát.

Hiện tại các quá trình bồi tụ, xói lở tại các cửa sông ven biển Bạc Liêu rất phức tạp. Để hiểu rõ hơn về động lực học hình thái tại đây, các tác giả đã dựa vào mô hình toán để tính toán dòng chảy dưới ảnh hưởng của các yếu tố động lực sóng, gió và triều. Đồng thời tính toán dòng phù sa và mô phỏng diễn biến đáy dưới ảnh hưởng của các yếu tố trên.

2. Mô hình toán

Mô hình dòng chảy được thiết lập dựa trên hệ phương trình sau:

Phương trình chuyển động

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} - f \bar{v} = -g \frac{\partial (\zeta - \bar{\zeta})}{\partial x} + \frac{1}{\rho(h + \zeta)} (\tau_{Sx, wind} - \tau_{Sx, w}) - \frac{1}{\rho(h + \zeta)} (\tau_{hx, c} + \tau_{hx, w}) + A \nabla^2 \bar{u} \quad (1)$$

* Phương trình liên tục

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial [(h + \zeta) \bar{u}]}{\partial x} + \frac{\partial [(h + \zeta) \bar{v}]}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

$\tau_{Sx, wind}, \tau_{Sy, wind}$ - Ứng suất tiếp bề mặt do gió theo phương x, y.

$\tau_{Sx, w}, \tau_{Sy, w}$ - Ứng suất tiếp do sóng theo phương x, y.

$\tau_{bx, c}, \tau_{by, c}$ - Ứng suất tiếp đáy do dòng chảy theo phương x, y.

$\tau_{bx, w}, \tau_{by, w}$ - Ứng suất tiếp đáy do sóng theo phương x, y.

* Tính ứng suất tiếp do gió

$\tau_{S, wind}$ được tính thực nghiệm theo /5/:

$$\tau_{S, wind} = C_{10} \rho_a |W| W_{s(x, y)},$$

$$C_{10} = (0.75 + 0.067 |W|) \cdot 10^{-3}$$

$$|W| = \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$$

W - là vận tốc gió

$W_{s(x, y)}$ - thành phần vận tốc gió theo các phương x, y;

ρ_a - khối lượng riêng của không khí trên mặt biển [kg/m³].

* Tính ứng suất tiếp bề mặt do sóng: tính theo

công thức /4/:

$$\tau_{Sx, w} = \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \quad \tau_{Sy, w} = \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial x}$$

S_{xx}, S_{yy}, S_{xy} - Thành phần ứng suất tán xạ theo phương x, phương y và phương xy; phụ thuộc vào các thông số sóng: Chiều cao sóng, chu kỳ sóng, số sóng, góc tới của sóng, ... Các thành phần này được tính từ mô hình RCPWave.

* Tính ứng suất tiếp đáy do dòng chảy /6/:

$$\tau_{b, w} = \frac{1}{2} \rho f_w \bar{u} \frac{2H}{T \sinh(kh)}$$

$\bar{u}$ - Modul vận tốc của u hoặc v;

k - số sóng; $k = \frac{2\pi}{L}$

f_w - hệ số ma sát do sóng.

* Tính ứng suất tiếp đáy do dòng chảy /6/:

$$\tau_{b, c} = K_b \rho \bar{u} \sqrt{u^2 + v^2}$$

$$u^2 = \bar{u} \sqrt{u^2 + v^2}$$

K_b - hệ số ma sát đáy;

$$K_b = \frac{g}{C^2}$$

ρ - khối lượng riêng nước biển [kg/m³].

* Phương trình chuyển tải

Dòng bùn cát và phù sa được mô phỏng bởi phương trình:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \gamma_v \left(u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} \right) = \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial x} \left(HK_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial y} \left(HK_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{S}{H} \quad (3)$$

Với: C - Nồng độ trung bình theo chiều sâu;

u, v - Vận tốc trung bình theo chiều sâu theo phương x, y

K_x, K_y - Hệ số phân tán theo phương x, y trung bình theo chiều sâu

γ_v - Hệ số phân bố vận tốc theo chiều sâu;

S - Hàm nguồn,

* Phương trình liên tục vật chất đáy

Biến đổi đáy biển được tính toán dựa trên cân bằng vật chất đáy qua phương trình:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{1}{1 - \varepsilon_p} \left[S + \frac{\partial}{\partial x} \left(HK_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(HK_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial q_{hx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{hy}}{\partial y} \right] \quad (4)$$

ε_p - độ rỗng của hạt;
 q_{bx} , q_{by} - dòng bùn cát đáy phương x và y, tính thực nghiệm theo Leo C. Van Rijn /6/

$$q_b = 0.053((S-1)g)^{0.5} d_m^{1.5} T^{2.1} D_*^{-0.3} \frac{(u, v)}{\sqrt{u^2 + v^2}}$$

3. Các điều kiện biên và ban đầu của bài toán

• Điều kiện ban đầu

- Vận tốc dòng chảy toàn miền tính bằng không.
- Mực nước bằng không ($z=0$), với gốc toạ độ tại mực nước biển yên lặng, hướng lên.
- Nồng độ dầu $C(x,y,0) = C_0(x,y)$

• Điều kiện biên

a. Điều kiện về dòng chảy:

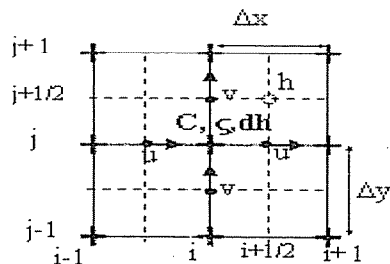
- Tại biên lỏng biển cho dao động mực nước triều.
- Tại biên lỏng sông cho lưu lượng sông.
- Trên biên bờ cho điều kiện $u_n=0$.

b. Điều kiện về phù sa:

- Nồng độ phù sa trên biên lỏng khi nước chảy vào miền tính bằng nồng độ cho trước.
- Trên biên lỏng khi nước chảy ra cho điều kiện:

$$\frac{\partial^2 C}{\partial S^2} = 0$$

- Trên biên bờ cho điều kiện: $\frac{\partial C}{\partial n} = 0$ n là phương vuông góc gới bờ, s là phương dòng chảy.



Hình 2. Lưới sai phân

4. Sơ đồ tính toán

Hệ phương trình (1,2) được giải kết hợp với (3,4) bằng phương pháp sai phân hữu hạn, sơ đồ ẩn luân hướng ADI. Nghiệm của bài toán được tính theo từng nửa bước thời gian:

- Tại nửa bước thời gian đầu $t+1/2$, thực hiện giải mực nước ϕ và vận tốc u ẩn, còn vận tốc v

được giải hiện. Sau đó kết hợp giải xen kẽ nồng độ C , (với các thành phần theo phương x giải ẩn, theo phương y giải hiện). Sau mỗi lần tính nồng độ, thực hiện tính dh

- Tại nửa bước thời gian sau $t+1$, mực nước ϕ và vận tốc v được giải ẩn, vận tốc u được giải hiện. Sau đó kết hợp giải xen kẽ nồng độ C (với các thành phần theo phương y giải ẩn, theo phương x giải hiện). Sau mỗi lần tính nồng độ, thực hiện tính dh.

Lưới sai phân:

Lưới tính toán của sơ đồ ADI được bố trí như sau: các thành phần u , v , C , và sự thay đổi đáy dh không được tính trên cùng một vị trí của lưới, mà sắp xếp xen kẽ như hình 2.

5. Áp dụng tính toán cho vùng ven biển Bạc Liêu

a. Các thông số tính toán /3/

* Các thông số dòng chảy

- Lưới tính: (30x60) km với $\Delta x = 150$ m; với gió Đông, vận tốc gió = 4m/s.

- Sóng truyền hướng Đông; chu kỳ sóng $T=7.9s$; chiều cao sóng $h=3m$;

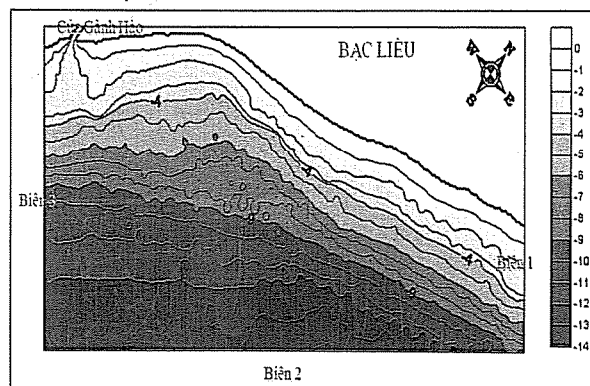
- Điều kiện biên mực nước:

+ Biên Gành Hào: được cho từ chuỗi số liệu đo đạc thực tế trong khoảng thời gian từ 7/1/2007 đến 7/2/2007 (hình 5).

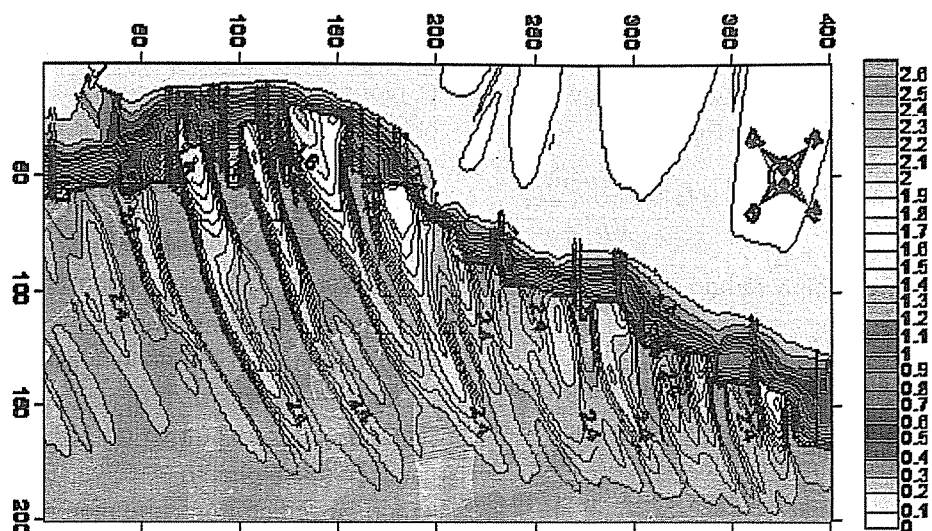
+ Số liệu biên biển 1 và biên biển 3 được tính dựa vào hàm số điều hòa (6-7).

+ Biên 2 được tính nội suy tuyến tính dựa vào biên biển 1 và biên biển 3.

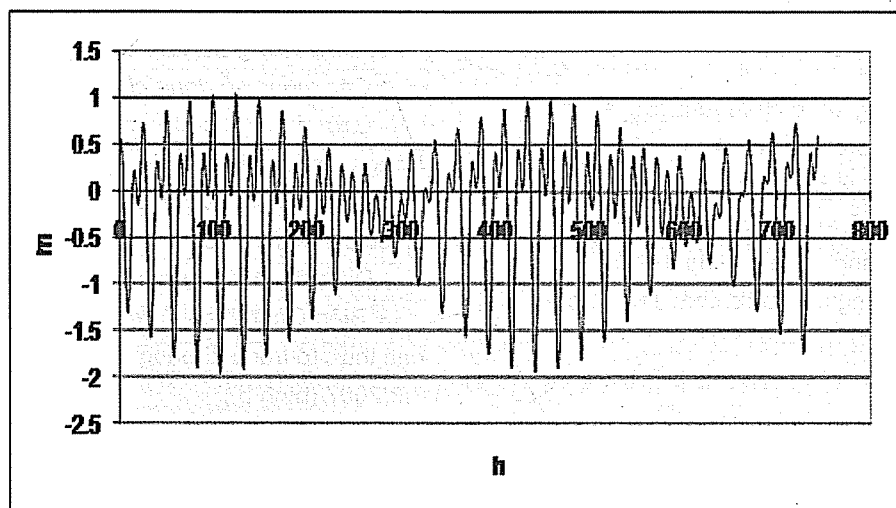
Bài toán được tính bắt đầu từ thời điểm $t = 0$ đến thời điểm mà mực nước của toàn miền tính dao động điều hòa.



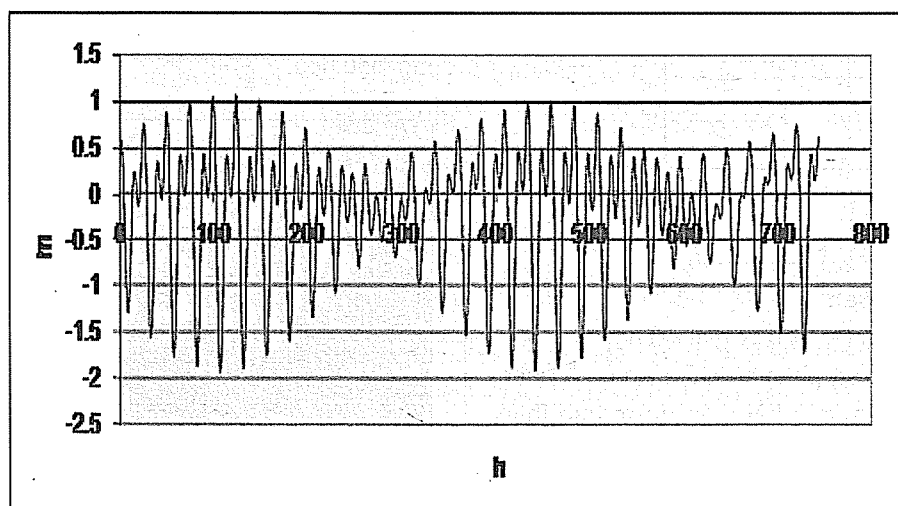
Hình 3. Địa hình đáy vùng ven biển Bạc Liêu



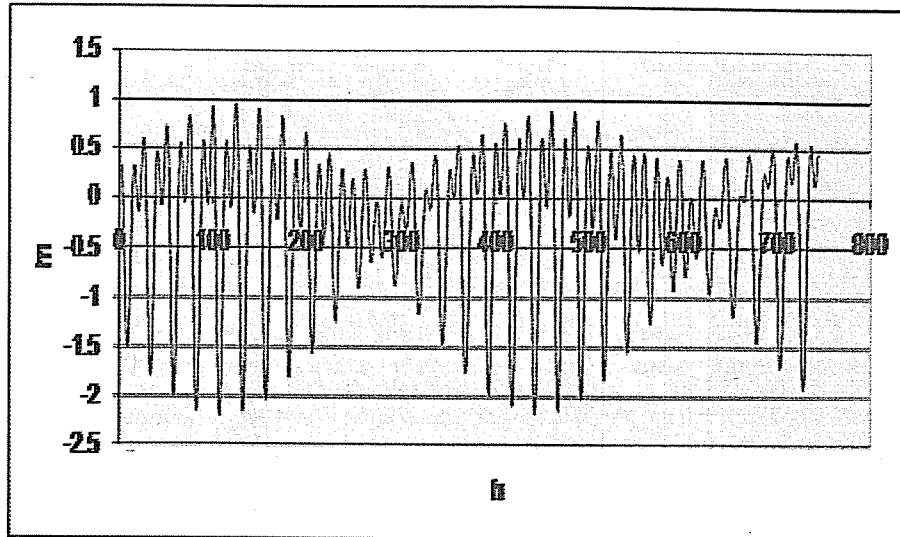
Hình 4. Bản đồ phân bố chiều cao sóng của sóng truyền theo hướng Đông



Hình 5. Dao động mực nước tại biên cửa sông.



Hình 6. Dao động mực nước tại biên 1



Hình 7. Dao động mực nước tại biên 3.

Các thông số bùn cát

- Nồng độ ban đầu: 0.02 kg/m^3 .
- Điều kiện biên nồng độ (được cho dựa vào kết quả đo đạc):
 - + Cửa Gành Hào: 0.68 kg/m^3 .
 - + Biên 1: 0.475 kg/m^3 .
 - + Biên 3: 0.4175 kg/m^3 .
 - + Biên 2: được tính toán nội suy tuyến tính từ biên 1 đến biên 3.
- Ứng suất tới hạn đối với bồi lắng: $\tau_d = 0.08 \text{ N/m}^2$ (theo Van Rijn, 1993).
- Ứng suất tới hạn đối với xói: $\tau_d = 0.8 \text{ N/m}^2$ (theo Van Rijn, 1993).
- Hệ số xói: $E = 0.00001 \text{ kg/m}^2\text{s}$.
- Đường kính trung bình hạt $d_m = 0.01 \text{ mm}$.
- Khối lượng riêng bùn cát: $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$
- Khối lượng riêng của nước: $\rho_s = 1025 \text{ kg/m}^3$.
- Độ rỗng: $\varepsilon_p = 0.4$

2. Kết quả tính toán

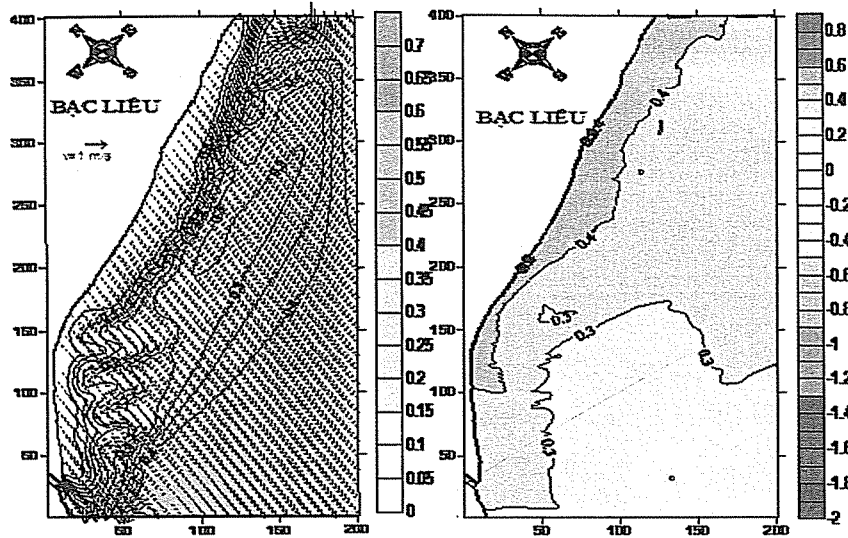
Từ kết quả tính toán, dòng chảy vùng ven biển Bạc Liêu có chế độ bán nhật triều không đều và chịu ảnh hưởng mạnh bởi sóng ở khu vực ven bờ. Với hướng sóng tác động là hướng Đông, xuất hiện dòng chảy song song với bờ hướng Đông Bắc – Tây Nam.

Khi triều rút (hình 9), dòng chảy do triều có

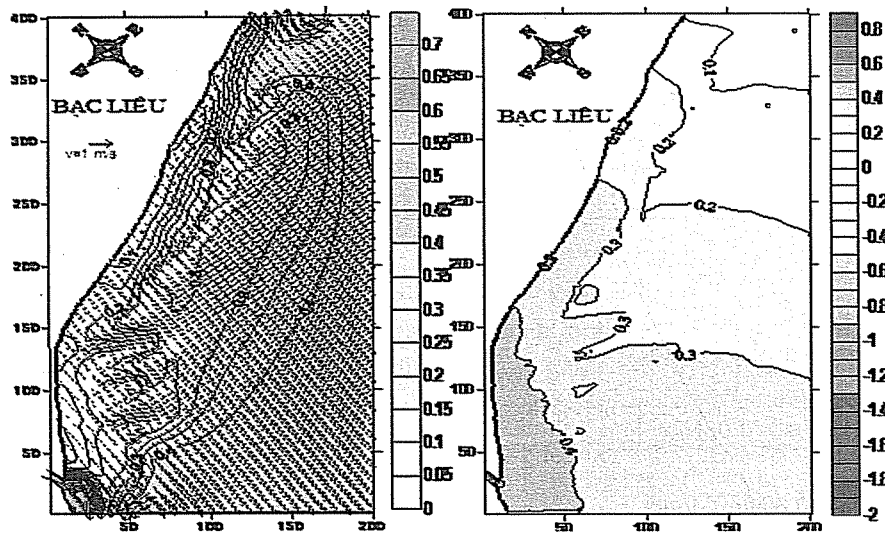
hướng ngược với hướng của dòng chảy do sóng, do vậy dòng chảy ven bờ lúc này có vận tốc trung bình khoảng 0.4 m/s và vận tốc dòng chảy ở ngoài khơi khoảng 0.45 m/s . Khi triều lên (hình 8), ngược lại, dòng chảy do triều lúc này cùng hướng với dòng chảy do sóng nên vận tốc dòng chảy ven bờ trong thời điểm này lớn hơn vận tốc dòng chảy dọc bờ trong thời điểm triều rút và có vận tốc trung bình đạt khoảng 0.65 m/s , và vận tốc dòng chảy ngoài khơi khoảng 0.25 m/s .

Các kết quả tính toán cũng cho thấy dòng bùn cát di chuyển phù hợp với quy luật dòng chảy. Nồng độ phù sa ở khu vực cửa sông Gành Hào là lớn nhất do lượng phù sa hàng năm từ sông đổ về. Đây cũng chính là nguyên nhân gây bồi tụ ngoài cửa sông Gành Hào.

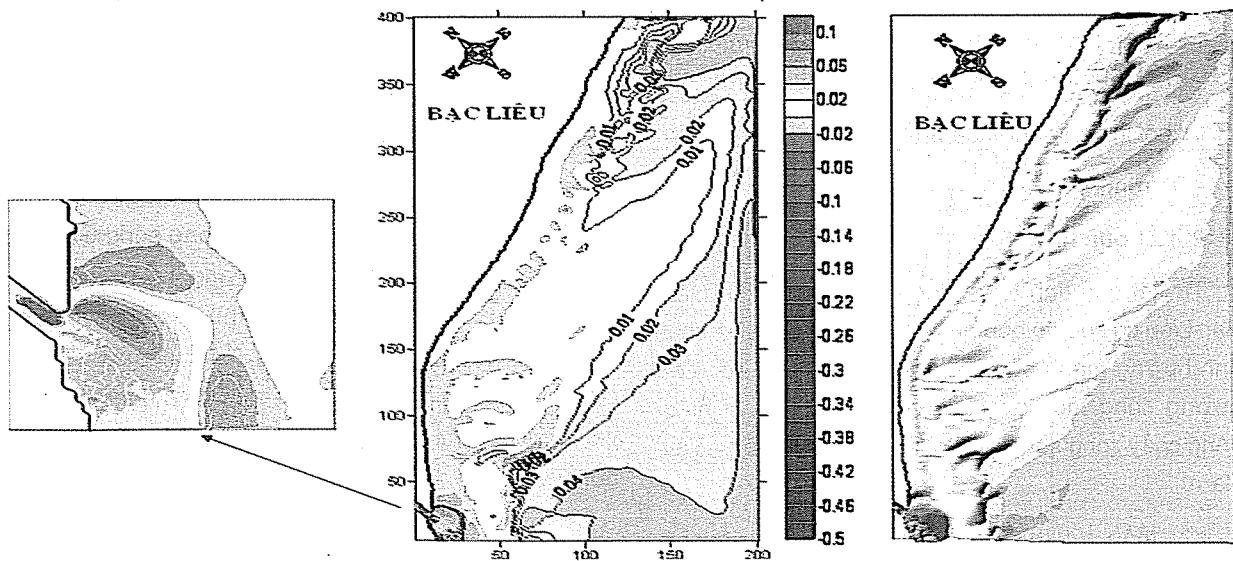
Trong khu vực nghiên cứu (hình 10), quá trình xói lở chủ yếu diễn ra tại khu vực trong sông Gành Hào với tốc độ xói trung bình khoảng 1.1 cm/ngày . Quá trình bồi tụ diễn ra mạnh ở khu vực ngoài cửa sông với tốc độ bồi tụ khoảng 0.4 cm/ngày . Bên cạnh đó, xuất hiện vệt xói nhẹ dọc theo dòng chảy ven bờ. Các khu vực khác chủ yếu diễn ra quá trình bồi tụ với mức độ không đáng kể.



Hình 8. Trường vận tốc (m/s), đường đẳng mực nước (m) và đường đẳng nồng độ bùn cát (g/l) khi triều lên.



Hình 9. Trường vận tốc (m/s), đường đẳng mực nước (m) và đường đẳng nồng độ bùn cát (g/l) khi triều xuống.



Hình 10. Diễn biến đáy sau 1 tháng tính toán.

5. Keets luận

Dòng chảy, vận chuyển bùn cát và xu hướng bồi xói tính được trong khu vực ven biển Bạc Liêu phản ánh đúng quy luật động lực học dòng chảy, mô phỏng được quá trình bồi xói trong khu vực này. Các

tác giả hy vọng rằng khi đăng tải bài báo này sẽ nhận được sự góp ý bạn đọc, nhằm mô phỏng tốt hơn nữa quá trình bồi xói khu vực này, phục vụ cho công tác dự báo xu hướng xói lở - bồi tụ xảy ra trong khu vực này.

Tài liệu tham khảo

1. Nguyễn Thị Bảy, Nguyễn Anh Dũng (2004). Mô hình tính thủy triều vùng ven biển - Áp dụng tính năng lượng triều cho vùng biển Cần Giờ. *Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ ĐHQG tp HCM*; V.8,4/2004. tr. 52-58.
2. Nguyễn Thị Bảy, Mạch Quỳnh Trang (2006). Mô hình tính toán chuyển tải bùn cát kết dính vùng ven biển- Phần I: Mô hình tính toán. *Tạp chí Phát triển KH và CN ĐHQG tp HCM* V.9 2/2006, tr 53-60.
3. Sở Khoa Học Công Nghệ Tỉnh Bạc Liêu (2008). Nghiên cứu hiện tượng bồi, sạt lở tại một số cửa sông ven biển Bạc Liêu, đề xuất các giải pháp khoa học công nghệ cải tạo và phát triển bền vững.
4. Kiyoshi Horikawa (1988). *Nearshore Dynamics and Coastal Processes*. University of Tokyo Press.
5. Viện Hải Dương Học quốc gia Nga (1975), *Các bảng tra cứu hải dương học*, NXB Thủy Văn 1975.
6. Leo C. Van Rijn (1993). *Sediment Transport by Currents and waves*. Delft Hydraulics.
7. Ioannis Tsanis (2006). *Environmental Hydraulics, Volume 56: Hydrodynamic and Pollutant Transport Models of Lakes and Coastal Waters*. Elsevier Press.