

Calculating the settling velocity of cohesive sediment based on semi-empirical method

Le Nguyen Hoa Tien*, Vo Luong Hong Phuoc

University of Science, Vietnam National University- Ho Chi Minh city, Vietnam

*E-mail: lnhtien@hcmus.edu.vn

Received: 26 December 2020; Accepted: 24 June 2021

©2021 Vietnam Academy of Science and Technology (VAST)

Abstract

Settling velocity is an important parameter affecting the characteristics of sediment transport. Especially for cohesive sediment in estuarine or mangrove areas, determination of settling velocity is extremely complex. The study focuses on analyzing the relationship between settling velocity and sediment concentration. Based on the empirical formulas of Hwang (1989) and experimental data of Mehta and Li (2003), the settling velocity by concentration is considered with variation of four parameters a , b , m and n . The method is applied to calculate the settling velocity of cohesive sediment in Can Gio Biosphere Reserve, Ho Chi Minh city. From collected sediment samples in fieldwork, the settling column test is used to determine settling velocities. With 38 data of experimental settling velocity, the semi-empirical curve is determined. The results show that the settling velocity in free settling is about 0.28×10^{-5} m/s; the maximum velocity is about 0.99×10^{-3} m/s corresponding to the maximum concentration of 4.7 kg/m^3 . The resulting values of a , b , m and n are 0.05; 3.5; 3 and 3.2, respectively. The results are reliable to real applications.

Keywords: Settling velocity, cohesive sediment, semi-empirical curve, settling column test, mangrove forests, Can Gio.

Xác định vận tốc lắng đọng của trầm tích cổ kết theo phương pháp đường cong bán thực nghiệm

Lê Nguyễn Hoa Tiên*, Võ Lương Hồng Phước

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

*E-mail: lnhtien@hcmus.edu.vn

Nhận bài: 26-12-2020; Chấp nhận đăng: 24-6-2021

Tóm tắt

Vận tốc lắng đọng trầm tích là tham số quan trọng tác động đến tính chất của quá trình vận chuyển trầm tích. Đặc biệt đối với hạt trầm tích cổ kết tại các vùng bãi bồi cửa sông hoặc vùng rừng ngập mặn, việc xác định giá trị của vận tốc lắng đọng trầm tích là vô cùng phức tạp. Mối liên hệ giữa vận tốc lắng đọng và nồng độ trầm tích được đề cập đến trong công trình này. Dựa trên nghiên cứu của Hwang (1989) và các số liệu đo đạc thực nghiệm của Mehta và Li (2003), công thức thực nghiệm tính toán vận tốc lắng đọng trầm tích theo nồng độ trầm tích với sự phụ thuộc vào bốn tham số đặc trưng a , b , m , n được nghiên cứu. Từ đó, công thức được áp dụng để tính toán vận tốc lắng đọng trầm tích tại vùng rừng ngập mặn Cần Giờ, thành phố Hồ Chí Minh. Từ các mẫu trầm tích thu thập tại hiện trường, cột chìm lắng trong phòng thí nghiệm được sử dụng để xác định vận tốc lắng đọng trầm tích theo nồng độ. Với 38 mẫu số liệu vận tốc lắng đọng trầm tích thu được, đường cong bán thực nghiệm mô phỏng mối liên hệ giữa vận tốc lắng đọng và nồng độ trầm tích được xác định. Kết quả cho thấy giá trị vận tốc lắng đọng trầm tích tại vùng chìm lắng tự do khoảng $0,28 \times 10^{-5}$ m/s; giá trị vận tốc lắng đọng trầm tích cực đại đạt $0,99 \times 10^{-3}$ m/s ứng với nồng độ cực đại $4,7 \text{ kg/m}^3$. Các giá trị a , b , m , n lần lượt là: $a = 0,05$; $b = 3,5$; $m = 3$; $n = 3,2$. Kết quả thu được phù hợp với điều kiện thực tế và đáng tin cậy.

Từ khóa: Vận tốc lắng đọng, trầm tích cổ kết, đường cong bán thực nghiệm, thí nghiệm cột chìm lắng, rừng ngập mặn, Cần Giờ.

GIỚI THIỆU

Vận tốc lắng đọng W_s là vận tốc cuối cùng của từng hạt trầm tích riêng lẻ lắng đọng lại trong chất lỏng yên tĩnh. Vận tốc lắng đọng phụ thuộc vào kích thước hạt và có thể xác định vận tốc lắng đọng dựa vào đường kính hạt, mật độ và độ nhớt của chúng bằng định luật Stoke [1]. Điều này được áp dụng khá dễ dàng đối với trầm tích không cổ kết, nhưng đối với trầm tích cổ kết, việc tính toán vận tốc lắng đọng trở nên phức tạp hơn do quá trình keo tụ (floculations).

Một số nghiên cứu chỉ ra rằng vận tốc lắng đọng của trầm tích cổ kết phụ thuộc vào hình

dạng, kích thước và mật độ của các khối keo [2–4]. Tuy nhiên, vận tốc lắng đọng của trầm tích cổ kết còn phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác như quá trình rời, nồng độ trầm tích lơ lửng và độ mặn [5]. Trong đó có khá nhiều nghiên cứu đưa ra các kết quả về sự thay đổi của vận tốc lắng đọng khi nồng độ trầm tích lơ lửng thay đổi. Sự phụ thuộc của vận tốc lắng đọng vào nồng độ trầm tích lơ lửng có thể được chia thành ba vùng chính: Lắng đọng tự do (free settling), lắng đọng do keo tụ (floculation settling) và lắng đọng do cản trở (hindered settling). Ross và Mehta (1989) đề nghị rằng: vùng lắng đọng tự do xảy ra khi nồng độ thấp

hơn 0,4 g/L, vùng lắng đọng do keo tụ xảy ra khi giá trị nồng độ nằm trong khoảng 0,4–2 g/L, và lắng đọng do cản trở xảy ra khi nồng độ cao hơn 2 g/L [6]. Một số tác giả đã đưa ra các công thức tính toán cho từng vùng như sau: Burt (1986) đưa ra công thức tính vận tốc lắng đọng cho trường hợp lắng đọng do keo tụ [7]; Richardson & Zaki (1954) [8] và Winterwerp (2002) [9] đưa ra công thức cho vùng lắng đọng do cản trở. Hwang (1989) đã đưa ra được công thức thực nghiệm tính toán vận tốc lắng đọng cho cả vùng lắng đọng do keo tụ và cản trở [10], sau đó, công thức này tiếp tục được Mehta và Li (2003) áp dụng để tính toán vận tốc lắng đọng [11]. Wolanski et al., (1992) không những cho thấy vận tốc lắng đọng là một hàm phi tuyến của nồng độ trầm tích trong vùng lắng đọng do keo tụ và vùng lắng đọng do cản trở mà còn chỉ ra được sự phụ thuộc mạnh mẽ của vận tốc lắng đọng vào quá trình rối [12]. Bên cạnh đó, Shrestha và Orlob (1996) còn phát triển công thức tính toán vận tốc lắng đọng phụ thuộc vào nồng độ trầm tích lơ lửng và ứng suất dòng [13]; hay Furukawa et al., (1997) tính toán vận tốc lắng đọng dựa trên phương trình chuyển tải của khối lượng trầm tích, khi giả sử không xét đến sự tái lơ lửng [14]. Đặc biệt, Manning et al., (2013) đã tiến hành rất nhiều thí nghiệm với nhiều trường hợp khác nhau (thay đổi kích thước hạt keo, thay đổi tỉ lệ bùn/cát trong hỗn hợp trầm tích hoặc các giá trị ứng suất rối) nhằm nghiên cứu về động lực dính kết của trầm tích, cách thức chúng ảnh hưởng đến quá trình vận chuyển trầm tích và vận tốc lắng đọng của trầm tích [15]. Gần đây, các nhà khoa học tiếp tục tính toán giá trị vận tốc lắng đọng của trầm tích có kết bằng cách cải tiến độ chính xác của các thiết bị đo đạc ngoài hiện trường hoặc kỹ thuật - thiết bị đo đạc trong phòng thí nghiệm: Markussen và Andersen (2013) [16], Smith và Friedrichs (2015) [17], Wendling et al., (2015) [18].

Các nghiên cứu về xác định vận tốc lắng đọng trầm tích ở nước ta còn khá ít. Các kết quả về vận tốc lắng đọng được xác định thông qua công thức thực nghiệm. Võ Lương Hồng Phước và nnk., (2008) đã sử dụng công thức tính của Furukawa et al., (1997) để xác định vận tốc lắng đọng tại vùng rừng ngập mặn

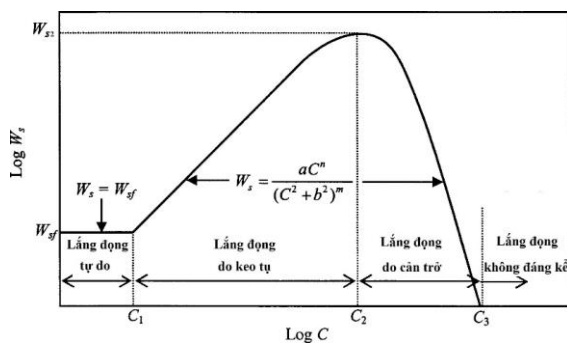
(RNM) Cần Giò, thành phố Hồ Chí Minh. Trường hợp dòng triều - sóng yếu, vận tốc lắng đọng có giá trị trong khoảng từ $2,0 \times 10^{-4}$ m/s đến $4,5 \times 10^{-4}$ m/s và trường hợp sóng mạnh, vận tốc lắng đọng đạt $2,0 \times 10^{-3}$ m/s [19]. Nguyễn Vĩnh Bảo Trung và Võ Lương Hồng Phước (2015) đã thiết kế cột chìm lắng để xác định vận tốc lắng đọng đối với trầm tích có kết trong các trường hợp khác nhau. Kết quả cho thấy vận tốc lắng đọng trung bình lần lượt như sau: tại nồng độ chuẩn, vận tốc lắng đọng trầm tích đạt $0,48 \times 10^{-3}$ m/s; tại độ muối 20‰, vận tốc lắng đọng trầm tích có giá trị $0,4 \times 10^{-3}$ m/s; đối với trầm tích có đường kính hạt từ 0,045 mm đến 0,075 mm thì vận tốc lắng đọng đạt $1,06 \times 10^{-3}$ m/s và tại nồng độ cao, vận tốc lắng đọng đạt giá trị $0,13 \times 10^{-3}$ m/s [20]. Gratiot et al., (2017) đã nghiên cứu quá trình dính kết của trầm tích tại vùng cửa sông Định An, Trà Vinh. Trong nghiên cứu này, các tác giả đã đưa ra vận tốc lắng đọng trong hai trường hợp: Lắng đọng trong cột nước tĩnh $W_{s,q}$ và lắng đọng khi các hạt có trạng thái dính kết khác nhau $W_{s,\neq}$. Kết quả cho thấy khi nồng độ trầm tích thấp hơn 200 mg/L, $W_{s,q}$ đạt 10^{-5} m/s và $W_{s,\neq}$ đạt 2×10^{-5} m/s. Khi nồng độ trầm tích nằm trong khoảng từ 200 mg/L đến 3 g/L, $W_{s,q}$ đạt giá trị cực đại $1,8 \times 10^{-3}$ m/s tại nồng độ trầm tích 2,7 g/L và $W_{s,\neq}$ đạt giá trị cực đại $6,3 \times 10^{-4}$ m/s khi nồng độ trầm tích là 4,3 g/L. Đối với nồng độ khoảng 5 g/L, quá trình lắng đọng do cản trở chiếm ưu thế và vận tốc lắng đọng giảm theo nồng độ [2].

Như vậy, việc kế thừa và tiếp tục phát triển các nghiên cứu về xác định vận tốc lắng đọng của trầm tích có kết là hết sức cần thiết. Trong công trình này, vận tốc lắng đọng trầm tích được tính toán dựa trên công thức nghiên cứu của Hwang (1989) cho hai vùng lắng đọng: Vùng lắng đọng do sự keo tụ và vùng lắng đọng do sự cản trở. Trong đó, vận tốc lắng đọng trầm tích được tính toán theo nồng độ trầm tích (Công thức (1) Mục 2). Hwang (1989) đã thu thập các mẫu trầm tích bùn tại vùng hồ Okeechobee (Hoa Kỳ); sử dụng cột chìm lắng để tính toán vận tốc lắng đọng. Bên cạnh sự phụ thuộc nồng độ trầm tích, kết quả tính toán của Hwang (1989) cho thấy vận tốc

lắng đọng còn phụ thuộc vào một số tham số thực nghiệm a, b, m, n . Để xác định giá trị của các tham số thực nghiệm a, b, m, n , Hwang (1989) sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu [10]. Trong công trình này, các tác giả sử dụng số liệu thực nghiệm của Mehta và Li (2003) để tính toán vận tốc lắng đọng, sau đó thay đổi các giá trị a, b, m, n để đánh giá sự phụ thuộc của vận tốc lắng đọng vào các tham số này, từ đó xác định được cách thức hiệu chỉnh các tham số a, b, m, n . Các tác giả bước đầu áp dụng phương pháp này để tính toán vận tốc lắng đọng đối với trầm tích cổ kết tại vùng RNM Cần Giờ, thành phố Hồ Chí Minh.

CƠ SỞ LÝ THUYẾT TÍNH TOÁN VẬN TỐC LẮNG ĐỌNG

Vận tốc lắng đọng của trầm tích hạt mịn, đặc biệt trầm tích cổ kết thay đổi đáng kể với nồng độ trầm tích lơ lửng [10]. Theo đó, vận tốc lắng đọng có thể phân chia một cách thích hợp thành ba vùng, phụ thuộc vào nồng độ như sau (hình 1): Lắng đọng tự do (free settling, $C < C_1$), lắng đọng do keo tụ (flocculation settling, $C_1 < C < C_2$), lắng đọng do cản trở (hindered settling, $C_2 < C < C_3$). Trong đó, C là nồng độ trầm tích, C_1 là giá trị nồng độ trầm tích giới hạn của vùng lắng đọng tự do, C_2 là giá trị nồng độ trầm tích giới hạn của vùng chìm lắng do keo tụ (tương ứng với vận tốc lắng đọng trầm tích cực đại) và C_3 là giá trị nồng độ trầm tích giới hạn của vùng lắng đọng do cản trở.



Hình 1. Sự thay đổi vận tốc lắng đọng với nồng độ trầm tích lơ lửng [11]

Lắng đọng tự do ($C < C_1$) xảy ra khi nồng độ trầm tích lơ lửng thấp, lúc đó vận tốc lắng

đọng W_s không phụ thuộc vào nồng độ [11]. Vận tốc lắng đọng được tính toán theo công thức Stokes và phụ thuộc vào đường kính hạt keo, mật độ khối của nước, mật độ các hạt keo, hệ số cản C_D [11].

Trong vùng lắng đọng do sự keo tụ và sự cản trở, Hwang (1989) đã phát triển mối quan hệ kết hợp giữa vận tốc lắng đọng và nồng độ trầm tích như sau [10]:

$$W_s = \frac{aC^n}{(C^2 + b^2)^m} \quad (1)$$

trong đó: W_s là vận tốc lắng đọng trầm tích; C là nồng độ trầm tích; a, b, m, n là các hệ số thực nghiệm phụ thuộc trầm tích.

Khi $C^2 \ll b^2$, nghĩa là trong điều kiện nồng độ trầm tích thấp thì mối liên hệ giữa W_s và C được đơn giản hóa như sau [10]:

$$W_s = ab^{-2m}C^n \quad (2)$$

Khi $C^2 \gg b^2$, nghĩa là trong điều kiện nồng độ trầm tích cao thì mối liên hệ giữa W_s và C như sau [10]:

$$W_s = aC^{n-2m} \quad (3)$$

trong đó: $n - 2m < 0$, vì trong vùng lắng đọng do cản trở, vận tốc lắng đọng trầm tích phải giảm khi nồng độ trầm tích tăng.

Các hệ số a, b, m, n có giá trị thích hợp tùy từng vùng nghiên cứu. Thông thường, hệ số b có giá trị trong khoảng từ 1 đến 10, hệ số n có giá trị trong khoảng 0,8 đến 2,5; hệ số m có giá trị trong khoảng 1,0 đến 3,0; hệ số a thường có giá trị dao động rất lớn nên không có giới hạn [11].

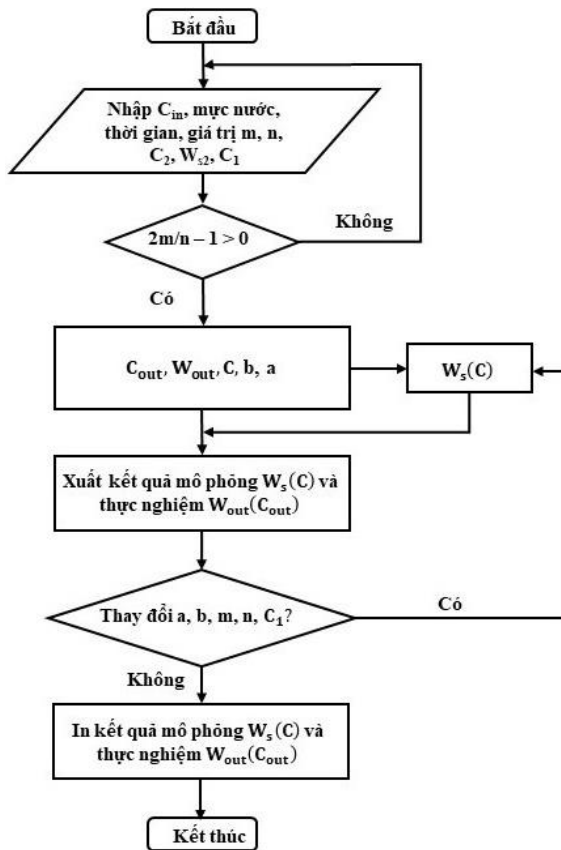
Ngoài ra, giữa vùng lắng đọng do keo tụ và lắng đọng do cản trở được giới hạn bởi nồng độ C_2 tương ứng với nó là vận tốc lắng đọng cực đại W_{s2} . Giá trị nồng độ C_2 và vận tốc lắng đọng cực đại W_{s2} tương ứng được xác định như sau [10]:

$$C_2 = \frac{b}{\left(\frac{2m}{n} - 1\right)^{1/2}} \quad (4)$$

$$W_{s2} = ab^{n-2m} \frac{\left(\frac{2m}{n} - 1\right)^{m-n/2}}{\left(\frac{2m}{n}\right)^m} \quad (5)$$

SƠ ĐỒ KHỐI TÍNH TOÁN VẬN TỐC LẮNG ĐỘNG TRẦM TÍCH

Chương trình tính toán vận tốc lắng động có thể được lập trình bằng ngôn ngữ lập trình Fortran hoặc Matlab theo sơ đồ khối như hình 2.



Hình 2. Sơ đồ khối của chương trình tính vận tốc lắng động trầm tích

Giá trị đầu vào

C_{in} (kg/m^3): Nồng độ trầm tích lơ lửng từ các đo đạc thực nghiệm trong cột chìm lắng ứng với từng mực nước và thời gian cụ thể.

Các tham số mô phỏng ban đầu: Giá trị tham số m, n ; nồng độ trầm tích C_2 (kg/m^3) ứng

với vận tốc lắng động lớn nhất W_{s2} (m/s); nồng độ trầm tích giới hạn cho vùng chìm lắng tự do C_1 ; giá trị b và a được tính toán lần lượt theo công thức (4) và (5).

Kết quả

W_{out} (m/s) - vận tốc lắng động trầm tích tính theo nồng độ đo đạc thực nghiệm;

W_s (m/s) - vận tốc lắng động trầm tích mô phỏng theo nồng độ trầm tích;

- Các hệ số a, b, m, n cho công thức tính vận tốc lắng động trầm tích thực nghiệm.

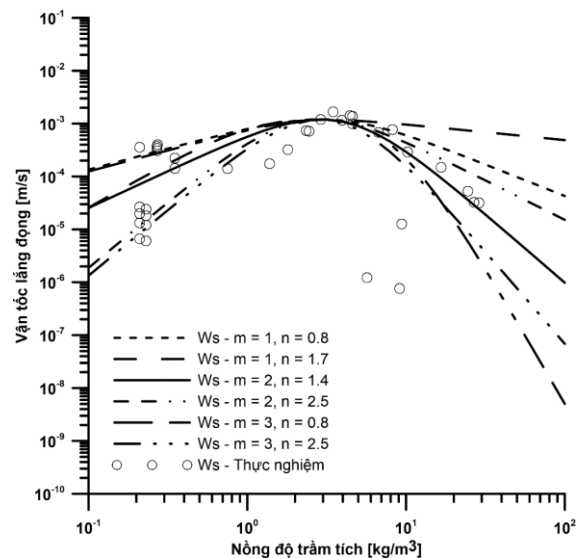
PHÂN TÍCH VÀ ĐÁNH GIÁ CÁC THAM SỐ a, b, m, n

Cách chọn các giá trị mô phỏng ban đầu m, n

Hệ số thực nghiệm m, n là các hệ số quan trọng để có được mô phỏng ban đầu cho vận tốc lắng động trầm tích. Vì các hệ số này phụ thuộc vào trầm tích nên việc xác định nó thường không dễ dàng. Công trình sẽ dựa trên các giới hạn và điều kiện liên quan đến m và n như sau:

Giới hạn: m nằm trong khoảng [1, 3]; n nằm trong khoảng [0,8; 2,5] [11];

Điều kiện: $n - 2m < 0$ nhằm thỏa mãn phương trình (3) và $2n/m - 1 > 0$ nhằm thỏa mãn phương trình (5).



Hình 3. Kết quả tính toán vận tốc lắng động trầm tích khi thay đổi giá trị tham số m và n

Từ giới hạn trên, một chuỗi dữ liệu m với m chạy từ 1 đến 3, bước nhảy là 1 và một chuỗi dữ liệu cho n với n chạy từ 0,8 đến 2,5; bước nhảy là 0,1 được tạo ra. Sau đó, dựa trên các điều kiện đã đưa ra, chúng ta sẽ thu được các giá trị m và n thích hợp.

Các giá trị m, n thu được sẽ kết hợp với giá trị vận tốc lắng đọng cực đại W_{s2} và nồng độ trầm tích tương ứng C_2 để xác định giá trị b và a nhờ vào các phương trình (4) và (5).

Hình 3 là một trong các kết quả mô phỏng sau khi lựa chọn các giá trị m, n . Kết quả cho thấy với $m = 2; n = 1,4$ (đường liền nét) thì dạng mô phỏng của vận tốc lắng đọng gần với sự phân bố của các giá trị thực nghiệm nhất nên tác giả sử dụng giá trị này để làm dữ liệu đầu vào.

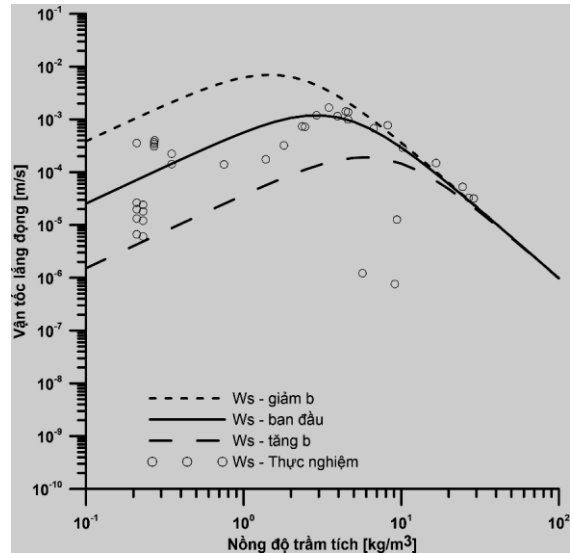
Cách chọn bộ tham số a, b, m, n

Sau khi chọn được giá trị m và n thích hợp ($m = 2; n = 1,4$), giá trị a và b được tính toán tương ứng là $a = 0,16$ và $b = 3,9$. Kết quả này được chọn làm dữ liệu mô phỏng ban đầu. Sau đó, vận tốc lắng đọng được tính toán khi thay đổi lần lượt a, b, m, n . Một số kết quả chính như sau:

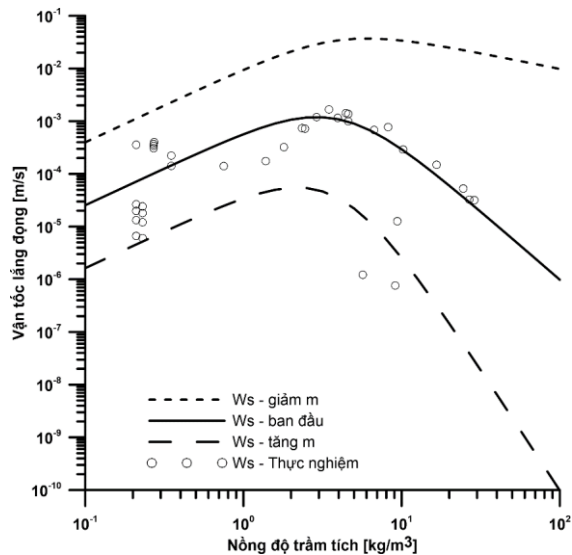
Thay đổi giá trị b : Hình 4 biểu diễn kết quả tính toán vận tốc lắng đọng trầm tích khi thay đổi b . Nhìn chung, kết quả cho thấy vận tốc lắng đọng W_s tỉ lệ nghịch với b . Trong vùng nồng độ trầm tích thấp (phần bên trái của đồ thị), tương ứng với vùng lắng đọng do keo tụ), sự thay đổi của vận tốc lắng đọng trầm tích thay đổi rất rõ ràng. Điều này phù hợp với phương trình (2) khi sự thay đổi của vận tốc lắng đọng trầm tích còn phụ thuộc vào giá trị của b . Ngược lại, trong vùng nồng độ trầm tích cao (phần bên phải của đồ thị, tương ứng với vùng lắng đọng do cản trở), đồ thị thay đổi rất ít. Kết quả này phù hợp với phương trình (3) khi công thức tính toán vận tốc lắng đọng trầm tích không chứa giá trị b .

Thay đổi giá trị m : Hình 5 biểu diễn kết quả tính toán vận tốc lắng đọng trầm tích khi thay đổi m . Tương tự, kết quả cho thấy vận tốc lắng đọng trầm tích W_s tỉ lệ nghịch với m . Tuy nhiên, xu hướng thay đổi của vận tốc lắng đọng trầm tích khi thay đổi giá trị m vẫn có điểm khác so với khi thay đổi b . Cụ thể, giá trị của vận tốc lắng đọng trầm tích thay đổi ở cả hai vùng nồng độ trầm tích thấp (phần bên trái đồ thị, tương ứng vùng lắng đọng do keo tụ) và vùng nồng độ trầm tích cao (phần bên phải đồ

thị, tương ứng vùng lắng đọng do cản trở). Đặc biệt, tại vùng nồng độ trầm tích cao (vùng lắng đọng do cản trở), sự thay đổi W_s diễn ra mạnh mẽ hơn, khi nồng độ trầm tích càng cao thì giá trị W_s thay đổi càng mạnh.



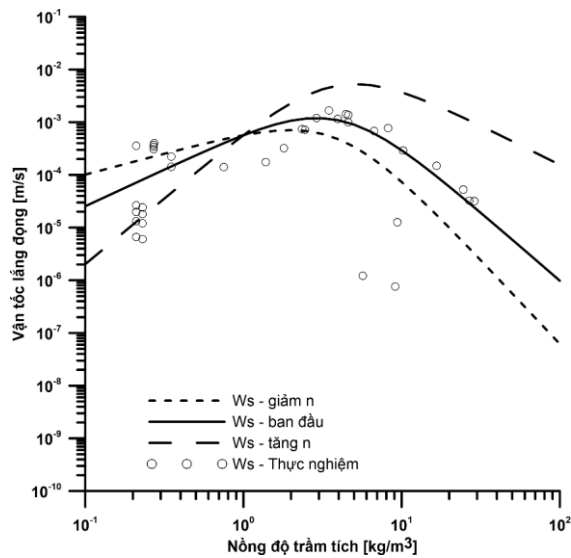
Hình 4. Kết quả tính toán vận tốc lắng đọng trầm tích khi thay đổi giá trị tham số b



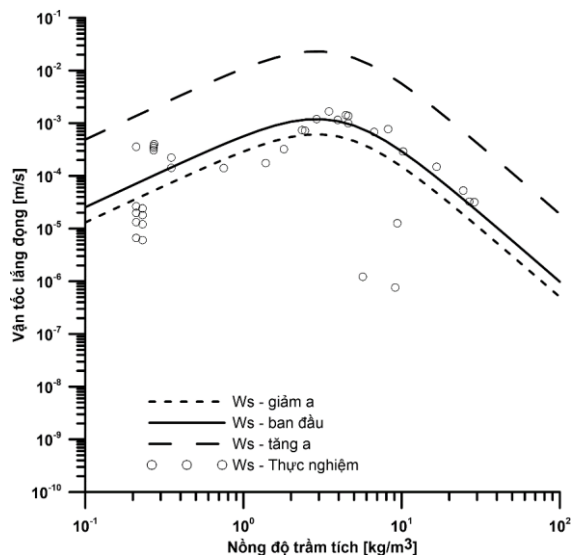
Hình 5. Kết quả tính toán vận tốc lắng đọng trầm tích khi thay đổi giá trị tham số m

Thay đổi giá trị n : Hình 6 biểu diễn kết quả tính toán vận tốc lắng đọng trầm tích khi thay đổi n . Kết quả cho thấy khi thay đổi giá trị

n thì sự thay đổi của W_s còn tùy thuộc vào nồng độ trầm tích C , khi $C < 1 \text{ kg/m}^3$ thì W_s tỉ lệ nghịch với n , khi $C > 1 \text{ kg/m}^3$ thì W_s tỉ lệ thuận với n . Ngoài ra, vận tốc lắng đọng W_{s2} tương ứng với nồng độ cực đại C_2 khi thay đổi n không thay đổi nhiều.



Hình 6. Kết quả tính toán vận tốc lắng đọng trầm tích khi thay đổi giá trị tham số n



Hình 7. Kết quả tính toán vận tốc lắng đọng trầm tích khi thay đổi giá trị tham số a

Thay đổi giá trị a : Hình 7 biểu diễn kết quả tính toán vận tốc lắng đọng trầm tích khi

thay đổi a . Nhìn chung, kết quả cho thấy vận tốc lắng đọng thay đổi tỉ lệ thuận theo giá trị a . Không chỉ thay đổi vận tốc lắng đọng ở vùng nồng độ trầm tích thấp (lắng đọng do keo tụ) hay vùng nồng độ trầm tích cao (lắng đọng do cản trở), kết quả cho thấy khi giá trị a thay đổi sẽ làm cho đồ thị vận tốc lắng đọng trầm tích có xu hướng tịnh tiến theo phương y .

Như vậy, kết quả hiệu chỉnh các giá trị a, b, m, n đối với số liệu thực nghiệm của Mehta và Li (2003) cho thấy khi thay đổi a, b thì hình dạng đồ thị vận tốc lắng đọng trầm tích ít bị thay đổi hơn. Do đó khi thay đổi để tìm ra các giá trị a, b, m, n thích hợp cho trầm tích ở một vùng nào đó thì việc hiệu chỉnh giá trị a, b nên được ưu tiên xem xét.

Nhận xét chung

Sau khi thực hiện mô phỏng vận tốc lắng đọng trầm tích theo nồng độ trầm tích lơ lửng dựa trên bộ số liệu thực nghiệm của Mehta và Li (2003) kết hợp với sự hiệu chỉnh các giá trị a, b, m, n , một số kết quả đạt được như sau:

Khi hiệu chỉnh a : W_s tỉ lệ thuận với a ;

Khi hiệu chỉnh b : W_s tỉ lệ nghịch với b , nếu nồng độ trầm tích cao (vùng lắng đọng cản trở) thì W_s ít có sự thay đổi;

Khi hiệu chỉnh m : W_s tỉ lệ nghịch với m ;

Khi hiệu chỉnh n : W_s tỉ lệ nghịch n khi $C < 1 \text{ kg/m}^3$ và W_s tỉ lệ thuận với n khi $C > 1 \text{ kg/m}^3$.

Ngoài ra, khi hiệu chỉnh m, n thì vận tốc lắng đọng trầm tích bị thay đổi nhiều hơn so với khi hiệu chỉnh a, b .

ÁP DỤNG TÌM THAM SỐ a, b, m, n VÀ VẬN TỐC LẮNG ĐỌNG TRẦM TÍCH

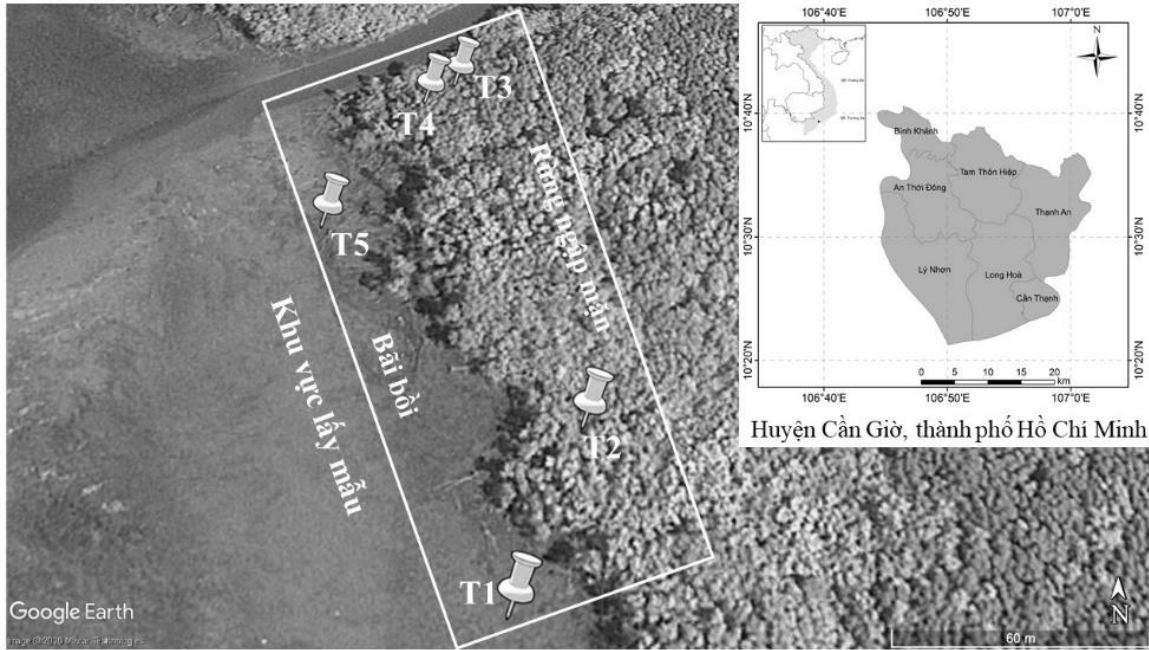
Vận tốc lắng đọng trầm tích không những phụ thuộc vào các yếu tố liên quan đến đặc trưng của trầm tích mà còn phụ thuộc vào điều kiện môi trường của khu vực nghiên cứu. Do vậy, từ các kết quả, nhận xét và kinh nghiệm rút ra từ việc hiệu chỉnh giá trị a, b, m, n đối với các số liệu của Mehta và Li (2003), vận tốc lắng đọng trầm tích tại một vùng RNM cụ thể được tiến hành tính toán.

Dữ liệu về trầm tích tại khu vực khảo sát

Vùng RNM được chọn là rạch Nàng Hai, Cần Giờ, thành phố Hồ Chí Minh (hình 8). Khu vực lấy mẫu bao gồm vùng bãi bồi và vùng trong rừng (khu vực hình chữ nhật). Tổng số

mẫu trầm tích thu thập tại hiện trường là 5 mẫu. Đây là khu vực khảo sát và nghiên cứu chế độ thủy động lực học (sóng, dòng, triều) và quá trình xói lở - bồi tụ của Bộ môn Hải dương, Khí tượng và Thủy văn, Trường Đại học Khoa

học tự nhiên, ĐHQG-HCM. Các vị trí lấy mẫu trầm tích được lựa chọn dựa trên các vị trí đo đạc yếu tố thủy động lực học và các mặt cắt khảo sát sự thay đổi của địa hình đáy hoặc đường bờ.



Hình 8. Vị trí khu vực nghiên cứu: Bản đồ Cần Giøi và khu vực lấy mẫu

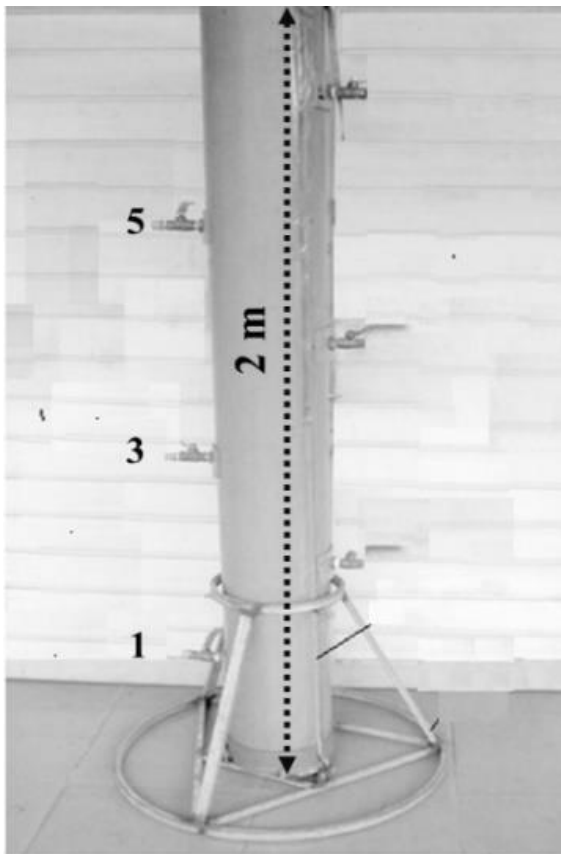
Các mẫu trầm tích được phân loại kích thước hạt bằng phương pháp rây. Các kích thước rây được sử dụng bao gồm: 0,2 mm; 0,1 mm; 0,075 mm và 0,045 mm. Bảng 1 thể hiện tỉ lệ phân trăm theo kích thước hạt của 5 mẫu trầm tích. Kết quả cho thấy trầm tích có đường kính nhỏ hơn 0,045 mm luôn đạt tỉ lệ cao nhất, tiếp theo là tỉ lệ trầm tích có đường kính hạt từ 0,045 mm đến 0,075 mm. Mẫu T1 và T4 có tỉ lệ trầm tích hạt trầm tích trong

đường kính từ 0,075 mm đến 0,1 mm chiếm tỉ lệ cao hơn nhóm đường kính từ 0,1 mm đến 0,2 mm. Mẫu T2 và T3 cho kết quả ngược lại. Mẫu T5 cho thấy tỉ lệ hạt ở hai nhóm đường kính này khá nhỏ: Đường kính từ 0,075 mm đến 0,1 mm chiếm tỉ lệ 0,25% và đường kính từ 0,1 mm đến 0,2 mm chiếm tỉ lệ 0,58%. Như vậy, kết quả phân loại kích thước hạt cho thấy trầm tích ở khu vực nghiên cứu bao gồm cát mịn, bùn và sét.

Bảng 1. Tỉ lệ phân trăm đường kính hạt của các mẫu trầm tích

Mẫu	Tỉ lệ (%)			
	$D < 0,045 \text{ mm}$	$0,045 \text{ mm} \leq D < 0,075 \text{ mm}$	$0,075 \text{ mm} \leq D < 0,1 \text{ mm}$	$0,1 \text{ mm} \leq D < 0,2 \text{ mm}$
T1	46,87	35,40	8,97	8,76
T2	42,37	28,77	10,98	17,88
T3	42,46	30,35	12,01	15,19
T4	61,82	16,42	11,83	9,93
T5	64,92	34,24	0,25	0,58

Để xác định vận tốc lắng đọng, cột chìm lắng tại phòng thí nghiệm của Bộ môn Hải dương, Khí tượng và Thủy văn, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM được sử dụng (hình 9) [20]. Cột chìm lắng có độ cao 2 m. Các mẫu được lấy tại ba tầng: 0,3 m; 0,9 m và 1,5 m tương ứng với vệt số 1, 3 và 5 trong hình 9 với 20 mốc thời gian. Tổng cộng thí nghiệm gồm 60 mẫu. Các mẫu được lọc, sấy để xác định nồng độ trầm tích trong phòng thí nghiệm, từ đó tính toán vận tốc lắng đọng theo nồng độ trầm tích. Kết quả thu được 38 số liệu vận tốc lắng đọng thực nghiệm theo nồng độ trầm tích và được biểu diễn bằng các chấm tròn trong hình 10.



Hình 9. Cột chìm lắng

Kết quả

Hình 10 biểu diễn vận tốc lắng đọng thực nghiệm theo nồng độ trầm tích và kết quả hiệu chỉnh các tham số a , b , m , n . Hình 10 cho thấy số liệu đo chủ yếu tập trung tại vùng lắng đọng

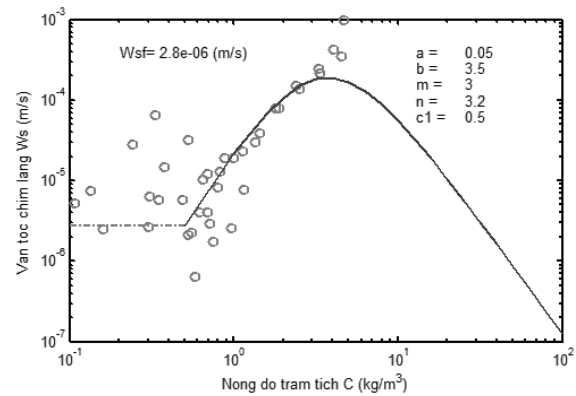
do keo tụ và chưa thể hiện rõ tại vùng lắng đọng do cản trở. Dựa vào các kết quả thực nghiệm về vận tốc lắng đọng theo nồng độ trầm tích, đường cong bán thực nghiệm được xác định, trong đó bộ tham số a , b , m , n được xác định là: $a = 0,05$; $b = 3,5$; $m = 3$ và $n = 3,2$.

Kết quả tính toán vận tốc lắng đọng của trầm tích có kết tại khu vực nghiên cứu thu được như sau:

Vận tốc lắng đọng nằm trong khoảng từ $0,64 \times 10^{-6}$ m/s đến $0,99 \times 10^{-3}$ m/s.

Vận tốc lắng đọng tại vùng lắng đọng tự do: $W_{sf} = 0,28 \times 10^{-5}$ m/s.

Vận tốc lắng đọng cực đại $W_{s2} = 0,99 \times 10^{-3}$ m/s tương ứng với nồng độ cực đại $C_2 = 4,7$ kg/m³.



Hình 10. Kết quả tính toán vận tốc lắng đọng trầm tích và hiệu chỉnh giá trị a , b , m , n đối với mẫu trầm tích tại rừng ngập mặn Cần Giờ, thành phố Hồ Chí Minh

So sánh kết quả tính toán với một số kết quả từ một số nghiên cứu trước đây (bảng 2), ta thấy:

Nhìn chung, vận tốc lắng đọng vùng tự do và vận tốc lắng đọng cực đại đều cùng cỡ bậc với các nghiên cứu trước đây. Tuy nhiên, giá trị của vận tốc lắng đọng trầm tích tính toán thấp hơn so với các kết quả trước. Nguyên nhân có thể là do đặc điểm trầm tích khác nhau tại mỗi khu vực nghiên cứu.

Giá trị nồng độ trầm tích cực đại C_2 thu được cao hơn. Điều này có thể là do các mẫu thí nghiệm thu được chủ yếu tập trung tại vùng lắng đọng do keo tụ.

Bảng 2. So sánh kết quả tính toán vận tốc lắng đọng với các nghiên cứu trước đây

Các nghiên cứu	Khu vực nghiên cứu	Vận tốc lắng đọng tự do W_{sf} (m/s)	Vận tốc lắng đọng cực đại W_{s2} (m/s)	Nồng độ cực đại C_2 (kg/m ³)
Hwang (1989) [10]	Hồ Okeechobee (Hoa Kỳ)	-	$0,73 \times 10^{-3}$	3,18
Sverdrup (2005) [22]	Không có thông tin	$1,05 \times 10^{-3}$ đến $2,4 \times 10^{-3}$	-	-
N. V. B. Trung và V. L. H. Phước (2014) [20]	RNM Cần Giờ, tp. HCM	-	$0,63 \times 10^{-3}$	2,58
Gratiot et al., (2017) [21]	Cửa sông Định An, Trà Vinh	$1,5 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-3}$	$2,7 \pm 0,2$
Kết quả tính toán - L. N. H. Tiên và V. L. H. Phước (2020)	RNM Cần Giờ, tp. HCM	$0,28 \times 10^{-5}$	$0,99 \times 10^{-3}$	4,7

KẾT LUẬN

Dựa trên công thức thực nghiệm của Hwang (1989) và số liệu thí nghiệm của Mehta và Li (2003), công trình bước đầu xác định được quy luật ảnh hưởng của các tham số a , b , m , n đến vận tốc lắng đọng trầm tích. Vận tốc lắng đọng trầm tích tỉ lệ thuận với hệ số a ; tỉ lệ nghịch với hệ số b tại vùng lắng đọng do keo tụ; tỉ lệ nghịch với hệ số m . Khi nồng độ trầm tích thấp hơn 1 kg/m^3 , vận tốc lắng đọng trầm tích tỉ lệ nghịch với n và khi nồng độ trầm tích cao hơn 1 kg/m^3 , vận tốc lắng đọng trầm tích tỉ lệ thuận với n .

Từ các mẫu trầm tích thu thập tại RNM Cần Giờ, thành phố Hồ Chí Minh, ta xác định được vận tốc lắng đọng theo nồng độ trầm tích bằng cột chìm lắng trong phòng thí nghiệm. Với 38 số liệu vận tốc lắng đọng trầm tích theo nồng độ, đường cong bán thực nghiệm được xác định. Kết quả thu được bộ tham số a , b , m , n như sau: $a = 0,05$; $b = 3,5$; $m = 3$ và $n = 3,2$. Vận tốc lắng đọng trầm tích nằm trong khoảng từ $0,64 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ đến $0,99 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ với giá trị vận tốc cực đại $W_{s2} = 0,99 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ ứng với nồng độ trầm tích cực đại $C_2 = 4,7 \text{ kg/m}^3$. Vận tốc lắng đọng trầm tích tại vùng lắng đọng tự do đạt giá trị $0,28 \times 10^{-5} \text{ m/s}$. Kết quả tính toán thu được phù hợp và đáng tin cậy.

Nhìn chung, phương pháp xác định vận tốc lắng đọng trầm tích bằng đường cong bán thực nghiệm tuy đơn giản nhưng góp phần hạn chế được các khó khăn khi đo đạc vận tốc lắng đọng trầm tích cố kết ngoài hiện trường. Các tính toán vận tốc lắng đọng trầm tích theo phương pháp đường cong bán thực nghiệm sẽ được áp dụng vào các mô hình toán để tính

phân bố nồng độ trầm tích tại khu vực nghiên cứu RNM Cần Giờ, thành phố Hồ Chí Minh.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu được tài trợ bởi Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM trong khuôn khổ Đề tài mã số T2019-09. Tác giả chân thành cảm ơn Nguyễn Phúc Đức và Nguyễn Vĩnh Bảo Trung đã hỗ trợ trong quá trình tính toán, thu thập mẫu và thực hiện thí nghiệm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Van Rijn, L. C., 1993. Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas (Vol. 1006, pp. 11-3). *Amsterdam: Aqua publications.*
- [2] Gibbs, R. J., 1985. Estuarine flocs: their size, settling velocity and density. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 90(C2), 3249–3251. <https://doi.org/10.1029/JC090iC02p03249>
- [3] Thonon, I., Roberti, J. R., Middelkoop, H., Van der Perk, M., and Burrough, P. A., 2005. *In situ* measurements of sediment settling characteristics in floodplains using a LISST-ST. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 30(10), 1327–1343. <https://doi.org/10.1002/esp.1239>
- [4] Dyer, K. R., 1989. Sediment processes in estuaries: future research requirements. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 94(C10), 14327–14339. <https://doi.org/10.1029/JC094iC10p14327>

- [5] Leussen, W. V., 1988. Aggregation of particles, settling velocity of mud flocs a review. In *Physical processes in estuaries* (pp. 347–403). Springer, Berlin, Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-642-73691-9_19
- [6] Ross, M. A., and Mehta, A. J., 1989. On the mechanics of lutoclines and fluid mud. *Journal of Coastal Research*, 5, 51–62.
- [7] Burt, T. N., 1986. Field settling velocities of estuary muds. In *Estuarine cohesive sediment dynamics* (pp. 126–150). Springer, New York, NY. doi: 10.1007/978-1-4612-4936-8_7
- [8] Richardson, J. F., and Zaki, W. N., 1954. The sedimentation of a suspension of uniform spheres under conditions of viscous flow. *Chemical Engineering Science*, 3(2), 65–73. [https://doi.org/10.1016/0009-2509\(54\)85015-9](https://doi.org/10.1016/0009-2509(54)85015-9)
- [9] Winterwerp, J. C., 2002. On the flocculation and settling velocity of estuarine mud. *Continental shelf research*, 22(9), 1339–1360. [https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(02\)00010-9](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(02)00010-9)
- [10] Hwang, K. N., 1989. Erodibility of fine sediment in wave-dominated environments. *Master's thesis, University of Florida*. 158 p.
- [11] Mehta, A. J., and Li, Y., 2003. Principles and process-modeling of cohesive sediment transport. *University of Florida, Gainesville, FL*.
- [12] Wolanski, E., Gibbs, R. J., Mazda, Y., Mehta, A., and King, B., 1992. The role of turbulence in the settling of mud flocs. *Journal of Coastal Research*, 8(1), 35–46.
- [13] Shrestha, P. L., and Orlob, G. T., 1996. Multiphase distribution of cohesive sediments and heavy metals in estuarine systems. *Journal of Environmental Engineering*, 122(8), 730–740. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(1996\)122:8\(730\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(1996)122:8(730))
- [14] Furukawa, K., Wolanski, E., and Mueller, H., 1997. Currents and sediment transport in mangrove forests. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 44(3), 301–310. <https://doi.org/10.1006/ecss.1996.0120>
- [15] Manning, A. J., Spearman, J. R., Whitehouse, R. J., Pidduck, E. L., Baugh, J. V., and Spencer, K. L., 2013. Flocculation Dynamics of Mud: Sand Mixed Suspensions. *Sediment Transport: Processes and Their Modelling Applications*, 119. doi: 10.5772/55233
- [16] Markussen, T. N., and Andersen, T. J., 2013. A simple method for calculating in situ floc settling velocities based on effective density functions. *Marine Geology*, 344, 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2013.07.002>
- [17] Smith, S. J., and Friedrichs, C. T., 2015. Image processing methods for in situ estimation of cohesive sediment floc size, settling velocity, and density. *Limnology and Oceanography: Methods*, 13(5), 250–264. <https://doi.org/10.1002/lom3.10022>
- [18] Wendling, V., Gratiot, N., Legout, C., Droppo, I. G., Coulaud, C., and Mercier, B., 2015. Using an optical settling column to assess suspension characteristics within the free, flocculation, and hindered settling regimes. *Journal of Soils and Sediments*, 15(9), 1991–2003. Doi: 10.1007/s11368-015-1135-1
- [19] Vo Luong Hong Phuoc, Stanislaw Massel, Dang Truong An, Nguyen Cong Thanh (2008). Concentration of suspended sediments in mangrove forests. *Journal of Geology, Series B*, (31–33), 155–163.
- [20] Nguyễn Vĩnh Bảo Trung, Võ Lương Hồng Phước, 2015. Thí nghiệm tính vận tốc chìm lắng của trầm tích cổ kết theo phương pháp cột chìm lắng. *Tạp chí phát triển Khoa học và Công nghệ*, 18(2), 19–28.
- [21] Gratiot, N., Bildstein, A., Anh, T. T., Thoss, H., Denis, H., Michallet, H., and Apel, H., 2017. Sediment flocculation in the Mekong River estuary, Vietnam, an important driver of geomorphological changes. *Comptes Rendus Geoscience*, 349(6–7), 260–268. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2017.09.012>
- [22] Sverdrup, K. A., Duxbury A. C., and Duxbury, A. B., 2005. An introduction to the world's oceans. 8th edition. *Mc Graw Hill*.