

Bài báo khoa học

Ứng dụng công nghệ viễn thám trong giám sát biến đổi độ cao mực nước lưu vực sông ngoài biên giới phục vụ quản lý tài nguyên nước ở Việt Nam trong bối cảnh biến đổi khí hậu

Nghiêm Văn Tuấn^{1*}, Đỗ Thị Phương Thảo², Vũ Thị Hiền³, Nguyễn Trọng Thế⁴

¹ Cục Viễn thám quốc gia; tuan.nghiem.rsc@gmail.com;

² Trường Đại học Mở-Địa Chất; phuongthao.mdc@gmail.com;

³ Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP.HCM; vthien@hcmunre.edu.vn;

⁴ Viện Công nghệ thông tin; nguyentrongthecntt@gmail.com;

*Tác giả liên hệ: tuan.nghiem.rsc@gmail.com; Tel.: +84-985226577

Ban Biên tập nhận bài: 15/9/2023; Ngày phản biện xong: 23/10/2023; Ngày đăng bài: 25/11/2023

Tóm tắt: Trên dòng chính sông Mê Công các quốc gia đã và đang xây dựng hàng chục hồ chứa nước phục vụ thủy điện, thủy lợi đã làm giảm lưu lượng dòng chảy về khu vực đồng bằng sông Cửu Long vào mùa khô kết hợp nước biển dâng do biến đổi khí hậu đã đẩy khu vực đối mặt với hiện tượng xâm nhập mặn ngày càng gia tăng. Để chủ động việc dự báo tài nguyên nước vào mùa khô, dữ liệu thủy văn phía thượng nguồn bên ngoài biên giới như lưu lượng dòng chảy, dung tích hồ chứa, hay số liệu điều tiết hồ gần thời gian thực là rất quan trọng. Tuy nhiên, số liệu này hiện nay các nước đều không chia sẻ và Việt Nam cũng không thể quan trắc trực tiếp do vấn đề về địa lý. Mục đích của bài báo này nhằm trình bày phương pháp viễn thám trong xác định, giám sát độ thay đổi cao mực nước của các hồ chứa trên dòng chính sông phía thượng lưu phục vụ cho việc tính toán số liệu điều tiết hồ chứa. Kết quả nghiên cứu cho thấy, với việc sử dụng kết hợp dữ liệu đo cao radar từ các vệ tinh Sentinel-3A, Sentinel-3B và Sentinel-6 có thể xác định được độ cao mực nước ở các hồ chứa với tần suất khoảng 10 ngày/1 lần; giúp cho việc dự báo sớm khả năng tác động đến mực nước đồng bằng sông Cửu Long.

Từ khóa: Đo cao vệ tinh radar; SAR; Mực nước; BĐKH; Mê Công.

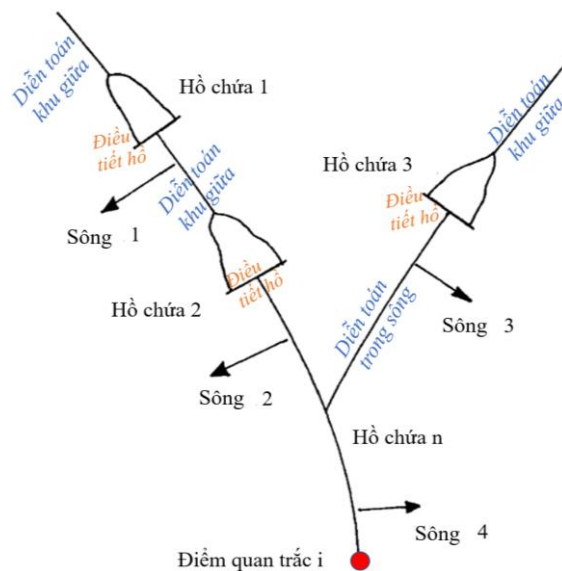
1. Giới thiệu

Biến đổi khí hậu đang trở thành những thách thức nghiêm trọng không chỉ Việt Nam mà cả thế giới. Đối với Việt Nam, biến đổi khí hậu đến ảnh hưởng trực tiếp đến sự gia tăng nhiệt độ trung bình, hạn hán xuất hiện ở nhiều nơi, tăng các trận mưa cực đoan, mực nước biển dâng cao [1]. Theo Kịch bản biến đổi Khí hậu do Bộ Tài nguyên và Môi trường công bố năm 2020 cho thấy nhiệt độ khu vực Việt Nam đến cuối thế kỷ 21 (kịch bản RCP8.5) có thể tăng từ 1,5-3,5°C, nước biển dâng từ 48-105 cm đối với khu vực đồng bằng soogn Cửu Long [1]; dự báo này tương đồng với dự báo về nhiệt độ trung bình trên thế giới có thể tăng thêm từ 1-3,4°C trong giai đoạn 2080-2090 [2]. Với đường bờ biển dài và địa hình thấp, kết hợp với các hiện tượng biến đổi khí hậu trên, khu vực đồng bằng sông Cửu Long đã, đang và sẽ phải đối mặt với một số tác động tiêu cực nhất của biến đổi khí hậu. Thể hiện rõ nhất là hạn mặn và xâm nhập đã và đang mở rộng ở 13 tỉnh của đồng bằng trong những năm gần đây, đe dọa đến canh tác nông nghiệp của khu vực. Chiếm khoảng 12% tổng diện tích đất cả nước với 21% dân số, vùng đồng bằng này sản xuất 24,3 triệu tấn gạo, tương đương 56% tổng sản lượng lúa của Việt Nam trong năm 2012. Với những đóng góp của đồng bằng vào nền kinh tế quốc

dân, thiệt hại kinh tế do xâm nhập mặn là rất đáng kể. Năm 2015, thiệt hại ước tính khoảng 45 triệu USD, tương đương 1,5% sản lượng lúa hàng năm ở Đồng bằng sông Cửu Long. Tình trạng này càng trầm trọng hơn khi khan hiếm nước sau khi kết thúc mùa mưa. Cùng với rủi ro về khí hậu, vùng châu thổ cũng đang phải đối mặt với sự dao động của mực nước do có nhiều đập được xây dựng ở thượng nguồn sông Mê Công khiến tình trạng xâm nhập mặn ngày càng trầm trọng hơn, đặc biệt là vào mùa khô khi dòng chảy của sông thấp hơn [3].

Năm 2023 được dự báo khả năng xâm nhập mặn có thể đến sớm hơn mọi năm, có thể xuất hiện ngay từ tháng 10 do lượng nước từ thượng nguồn đổ về thấp do sự tích trữ nước ở các hồ thủy điện phía thượng nguồn sông Mê Công [3, 4]. Chỉ tính riêng lưu vực sông Mê Công, Trung Quốc đã và đang xây dựng 14 đập thủy điện trên dòng chính sông Lan Thương (thượng nguồn sông Mê Công), ngoài ra dọc dòng chính sông Mê Công thuộc các nước Lào và Cam Pu Chia đã xây dựng và đang có các kế hoạch xây dựng các công trình thủy điện trên dòng sông này [5]. Theo đánh giá, năm 2019 do tác động của việc tích trữ nước ở thượng nguồn sông Mê Công đã làm cho mực nước trên hệ thống sông Tiền, sông Hậu xuống mức rất thấp và gây ra hiện tượng xâm nhập mặn vào sâu trong nội đồng ở khu vực Miền Tây Nam Bộ.

Tuy nhiên hiện nay, việc thiếu thông tin, số liệu, dữ liệu về điều tiết hồ chứa (lưu lượng xả nước của các đập) và lưu lượng dòng chảy phía thượng lưu sông Mê Công bên ngoài biên giới do các nước quản lý hồ chứa không cung cấp và Việt Nam cũng không thể tiến hành quan trắc, đo đạc trực tiếp vì liên quan đến vấn đề lãnh thổ. Việc không có được đầy đủ thông tin này đặt ra nhiều khó khăn đối với công tác dự báo, xây dựng các kịch bản về tài nguyên nước phục vụ ứng phó kịp thời cho khu vực đồng bằng sông Cửu Long [6]. Để dự báo tài nguyên nước đối với các lưu vực sông lớn có nhiều hồ chứa như sông Mê Công thường áp dụng các mô hình thủy văn lưu vực (ví dụ như Mike NAM và IQQM). Trong đó dữ liệu điều tiết hồ chứa (lượng nước xả ra của mỗi hồ chứa), lưu lượng dòng chảy trên sông là rất quan trọng [7, 8] nhằm thiết lập mô hình dự báo dòng chảy liên hồ chứa trên các lưu vực sông lớn (Hình 1).



Hình 1. Sơ đồ áp dụng mô hình dự báo tài nguyên nước trên các lưu vực sông lớn.

Trên hình 2 có thể thấy, đối với hồ chứa 1 hoặc 3, việc tính toán lưu lượng dòng chảy vào hồ chủ yếu mô hình hóa quan hệ mưa dòng chảy. Trong khi đó, lưu lượng dòng chảy vào hồ chứa 2 hoặc hồ chứa n phức tạp hơn do được kết hợp từ nhiều nguồn khác nhau như lưu lượng xả (điều tiết hồ) từ Hồ chứa 1 và diễn toán khu giữa (dựa trên quan hệ mưa dòng chảy) Hồ chứa 1 và Hồ chứa 2. Lưu lượng xả của hồ có thể được xác định thông qua dữ liệu điều tiết hồ hoặc lưu lượng dòng chảy ngay gần đập xả của Hồ chứa. Tuy nhiên, số liệu điều tiết hồ chứa hoặc lưu lượng dòng chảy của các quốc gia phía thượng nguồn sông Mê Công hiện

nay đều không chia sẻ; đồng thời chúng ta cũng không thể quan trắc trực tiếp được. Do đó việc thiết lập, hiệu chỉnh mô hình dự báo tài nguyên nước sẽ không thể thực hiện được do thiếu dữ liệu, ảnh hưởng quan trọng đến độ tin cậy của kết quả mô hình.

Công nghệ viễn thám hiện nay có khả năng trực tiếp hoặc gián tiếp cung cấp thông tin về một số khía cạnh của thủy văn với tần suất trung bình ngày, trong đó số liệu về biến động mực nước các hồ chứa và sông phía thượng nguồn. Đây là dữ liệu vô cùng cần thiết nhằm dự báo trước được những thay đổi về mực nước ở khu vực hạ du phục vụ trực tiếp cho công tác quản lý tài nguyên nước ở khu vực đồng bằng sông Cửu Long. Một trong những công nghệ đã và đang được ứng dụng một cách rộng rãi trên thế giới để nghiên cứu thủy văn lục địa như sông, hồ và các vùng đất ngập nước lớn; trong đó chủ yếu là xác định độ cao mực nước sử dụng công nghệ đo cao vệ tinh radar [9]. Ưu điểm của phương pháp là khả năng cung cấp tập dữ liệu toàn cầu và khắc phục những hạn chế của phương pháp thủy văn truyền thống bằng việc tạo ra những trạm “ảo” bổ sung việc quan trắc ở những sông khó tiếp cận hay các khu vực ngoài biên giới [10] nhằm bổ sung dữ liệu đầu vào quan trọng cho các mô hình dự báo lưu lượng dòng chảy.

2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu là lưu vực sông Mê Công (Hình 2) [5]. Là một trong những dòng sông lớn nhất trên thế giới với chiều dài hơn 4.350 km, khởi nguồn từ vùng núi cao Tây Tạng, dọc theo suốt chiều dài tỉnh Vân Nam (Trung Quốc) và chảy qua lãnh thổ Myanmar, Lào, Thái Lan, Campuchia trước khi vào Việt Nam rồi đổ ra biển Đông. Lưu vực sông Mê Công có tổng diện tích khoảng 795.000 km² với tổng lượng dòng chảy hàng năm xấp xỉ 475 tỷ m³ và lưu lượng trung bình khoảng 15.000 m³/s [11].

Sông có vai trò vô cùng quan trọng đối với đời sống dân sinh và kinh tế - xã hội khu vực đồng bằng sông Cửu Long do cung cấp nguồn nước và phù sa cho nông nghiệp cũng như các nguồn lợi lâm nghiệp và thủy sản. Trên lưu vực sông Mê Công một số quốc gia đã xây dựng một số công trình thủy điện lớn như: Cổng Quả Kiệu, Tiểu Loan, Mãn Loan, Đại Triều Sơn, Nọa Trác Độ và Cảnh Hồng (Trung Quốc); Xayaboury, Don



Hình 2. Lưu vực sông Mê Công và vị trí các hồ chứa nước trên dòng chính.

Sahong, Pak Beng (Lào) [5]. Trong nghiên cứu này sẽ tập trung thực nghiệm tính toán độ cao mực nước đối với 02 hồ thủy điện gồm Đại Triều Sơn (Trung Quốc) và Xayabury (Lào).

2.2. Dữ liệu sử dụng

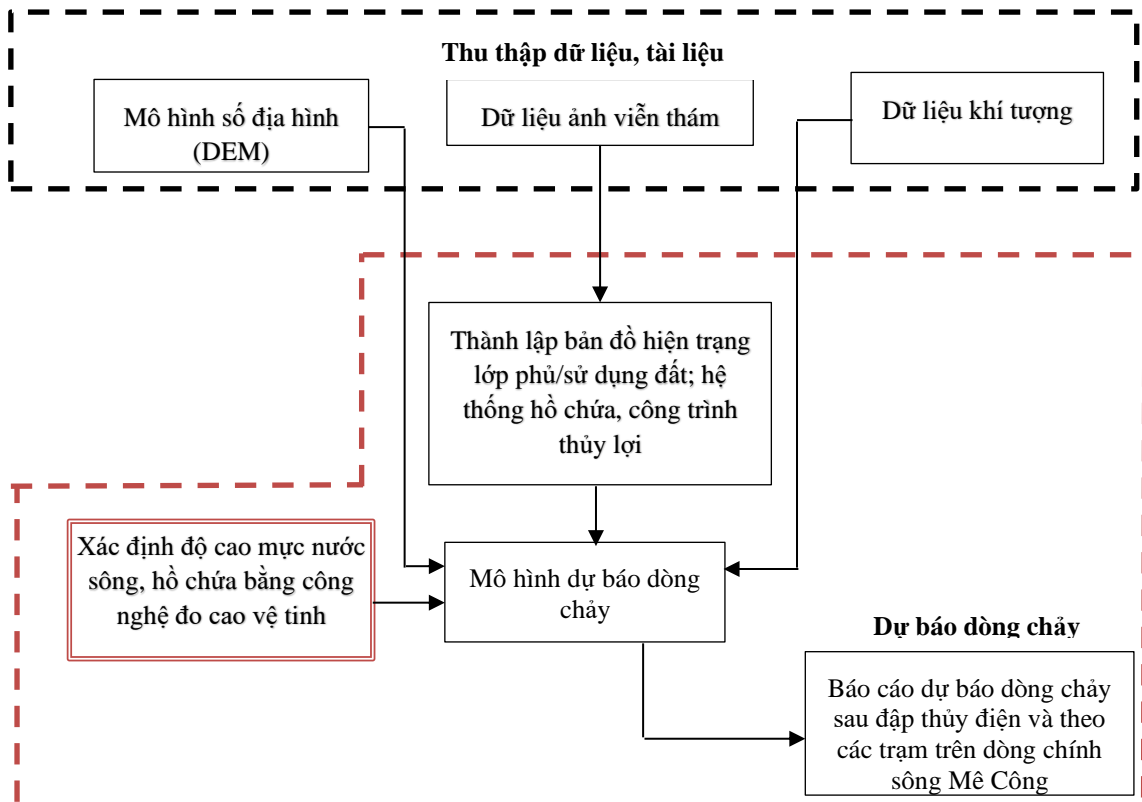
Để tính toán độ cao mực nước bằng công nghệ đo cao vệ tinh, trong nghiên cứu này sử dụng các nguồn dữ liệu như sau:

- Dữ liệu đo cao vệ tinh Sentinel-3A/B và Sentinel-6. Đây là các dữ liệu vệ tinh mới ứng dụng công nghệ SAR. Vệ tinh Sentinel-3 và Sentinel-6 nằm trong Chương trình Copernicus của Cơ quan vũ trụ Châu Âu (ESA). Vệ tinh Sentinel-3A đã được phóng thành công lên quỹ đạo vào ngày 18/02/2016 và sau đó là vệ tinh Sentinel-3B vào ngày 25/04/2018; với chu kỳ của quỹ đạo của mỗi vệ tinh là xấp xỉ 27 ngày [12]. Vệ tinh Sentinel-6 được phóng ngày 22/11/2020 là dự án hợp tác giữa ESA và NASA nối tiếp thế hệ vệ tinh Jason [13]. Dữ liệu Sentinel-3A/B, Sentinel-6 được tải về từ Copernicus Open Access Hub ở mức xử lý L2 với loại sản phẩm SA_2_LAN tại địa chỉ <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>.

- Dữ liệu viễn thám quang học: Dữ liệu viễn thám Sentinel 2A/2B thu thập tại địa chỉ <https://scihub.copernicus.eu>; Dữ liệu viễn thám Landsat 8/9 [14] được tải từ địa chỉ <http://glovis.usgs.gov>. Dữ liệu ảnh vệ tinh quang học được sử dụng để chiết tách đối tượng bề mặt nước và xác định các trạm “ảo” là vị trí giao cắt giữa vệ tinh quỹ đạo vệ tinh trên mặt đất với đối tượng mặt nước.

2.3. Quy trình công nghệ dự báo lưu lượng dòng chảy cho khu vực hạ lưu

Việc dự báo lưu lượng dòng chảy và mực nước ở hạ lưu sông Mê Công phụ thuộc rất nhiều vào số liệu thủy văn đầu nguồn, trong đó có dữ liệu điều tiết các hồ chứa và lưu lượng dòng chảy phía thượng lưu phục vụ hiệu chỉnh và kiểm định mô hình dự báo [19, 20]. Như đã phân tích ở trên, đối với lưu vực sông Mê Công hiện nay các dữ liệu đầu vào này theo thời gian thực hoặc gần thực đều không thể thu thập hoặc đo đạc trực tiếp do vấn đề lãnh thổ và bí mật quốc gia mà các nước không công bố. Do đó, việc dự báo lưu lượng nước về các sông khu vực đồng bằng sông Cửu Long được đề xuất như trong quy trình trên hình 2.



Hình 3. Sơ đồ quy trình công nghệ dự báo lưu lượng dòng chảy sau các đập thủy điện.

Trong quá trình này, dữ liệu đo cao mực nước được sử dụng để tính toán dữ liệu điều tiết hồ chứa thông qua mối quan hệ Mực nước-Diện tích-Dung tích hồ chứa. Lưu lượng xả của hồ chứa có thể được tính toán nếu biết được thay đổi dung tích nước trong hồ trong một khoảng thời gian. Trong khi đó, biến đổi dung tích nước trong hồ có thể xác định thông qua biến đổi độ cao mực nước và diện tích mặt hồ ở độ cao mực nước tương ứng. Với giải pháp này, trong trường hợp thiếu dữ liệu điều tiết hồ vẫn có thể tiến hành thiết lập và hiệu chỉnh, kiểm định mô hình.

Khi đó, việc thiết lập, hiệu chỉnh mô hình dự báo lưu lượng dòng chảy được thực hiện như sau:

- Tính toán độ cao mực nước hồ chứa và diện tích hồ để xây dựng đường đặc tính dòng chảy nhằm xác định số liệu điều tiết hồ giả định (đường cong vận hành).
- Áp dụng mô hình diễn toán dòng chảy cho lưu vực sông tính toán dòng chảy ngày tới mỗi hồ chứa (sử dụng đầu vào từ mô hình thủy văn).
- Áp dụng mô hình cho toàn bộ mạng lưới sông và hệ thống hồ chứa lưu vực sông dựa trên bài toán liên hồ chứa để tính toán dòng chảy hệ thống tới từng vị trí yêu cầu.
- Kiểm định toàn bộ mô hình sử dụng dữ liệu lưu lượng dòng chảy quan trắc được ở các sông phía Việt Nam.

Như vậy, bài toán khó khăn nhất trong trường hợp thiếu dữ liệu điều tiết hồ chứa có thể được giải quyết thông qua việc xác định biến đổi độ cao mực nước hồ chứa theo thời gian. Do đó, trong nghiên cứu này không đi sâu vào phân tích, thiết lập mô hình dự báo dòng chảy mà chỉ tập trung vào việc xử lý, cung cấp số liệu độ cao mực nước (hoặc số liệu biến đổi độ cao mực nước) nhằm xây dựng dữ liệu điều tiết hồ giả định cho các hồ chứa phía thượng nguồn.

2.4. Xác độ cao mực nước hồ chứa sử dụng công nghệ viễn thám

Do không có dữ liệu điều tiết hồ của các đập thủy điện, thủy lợi nên trong nghiên cứu này sẽ đề xuất sử dụng dữ liệu đo cao mực nước hồ từ dữ liệu viễn thám để xác định quan hệ Mực nước và Dung tích hồ nhằm phục vụ tính toán lưu lượng xả của các đập thủy điện, thủy lợi. Để tính toán độ cao mực nước hồ bằng công nghệ viễn thám, có hai phương pháp có thể được sử dụng như sau:

a) Phương pháp 1: Xác định độ cao mực nước sông, hồ bằng công nghệ đo cao vệ tinh

Giải pháp công nghệ đo cao vệ tinh trong xác định độ cao mực nước sông, hồ, được thể hiện như quy trình hình trong hình 3. Nguyên lý chung của phương pháp đo cao vệ tinh trong xác định độ cao mực nước là dựa trên việc gián tiếp xác định khoảng cách từ vệ tinh đến bề mặt nước. Để đo khoảng cách từ vệ tinh đến mặt nước, trên vệ tinh sẽ lắp đặt thiết bị đo cao để phát đi các xung tín hiệu radar cao tần theo phương thẳng đứng về phía bề mặt sông, hồ; sau đó thiết bị sẽ thu nhận lại các tín hiệu phản hồi. Sau đó sử dụng các thuật toán nhằm tính toán khoảng cách R giữa vệ tinh và mặt nước dựa vào việc xác định khoảng thời gian lan truyền hai chiều của tín hiệu radar t . Độ cao mực nước WSH (*water surface height*) được xác định bởi chênh cao giữa độ cao quỹ đạo vệ tinh (Alt) với trị đo khoảng cách R và các số hiệu chỉnh khác nhau như độ trễ thời gian khi các xung tín hiệu radar đi qua môi trường khí quyển Trái đất [9, 10, 15, 16].

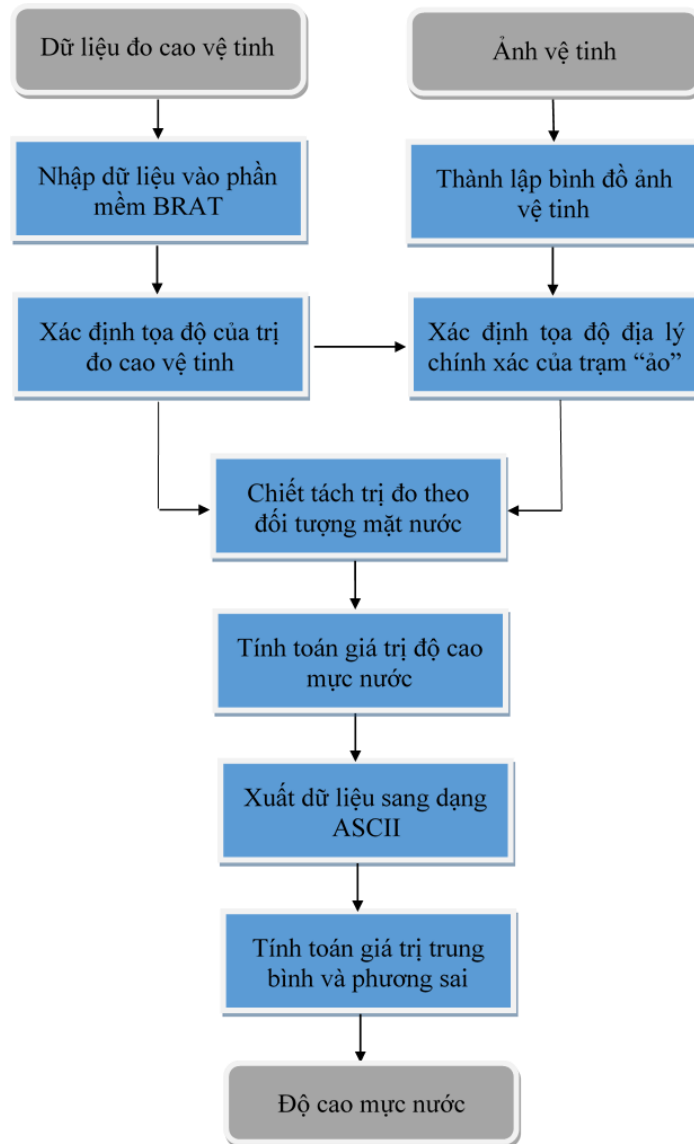
Thông tin về tọa độ của các trị đo cao vệ tinh được chiết xuất từ các trường dữ liệu độ kinh (lon) và độ vĩ (lat) trong các bản ghi dữ liệu. Để tính toán độ cao mực nước tại một vị trí, cần thiết lập và xác định tọa độ địa lý của trạm “ảo”. Vị trí trạm ảo đảm bảo chứa được tất cả các trị đo trên bề mặt nước tại điểm giao cắt và hạn chế những trị đo trên bề mặt đất. Việc xác định các điểm đo dọc theo vệt quỹ đạo vệ tinh trong tất cả các chu kỳ dữ liệu được xác định dựa trên nền dữ liệu viễn thám đã được quy chiếu về Hệ quy chiếu và Hệ tọa độ toàn cầu WGS-84 [5].

Việc chiết tách trị đo theo đối tượng mặt nước tại các vị trí giao cắt của vệt quỹ đạo vệ tinh với bề mặt sông được thực hiện theo công thức như sau [5]:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

Trong đó \bar{x} là giá trị trung bình độ cao mực nước; x_i là giá trị độ cao mực nước của mỗi trị đo tần số cao nằm trong phạm vi ranh giới đa giác của một trạm ảo; N là số lượng trị đo tần số cao nằm trong phạm vi ranh giới đa giác của một trạm ảo.

Toàn bộ quá trình tính toán xác định độ cao mực nước sông, hồ bằng công nghệ đo cao vệ tinh được thực hiện như trong hình 4.



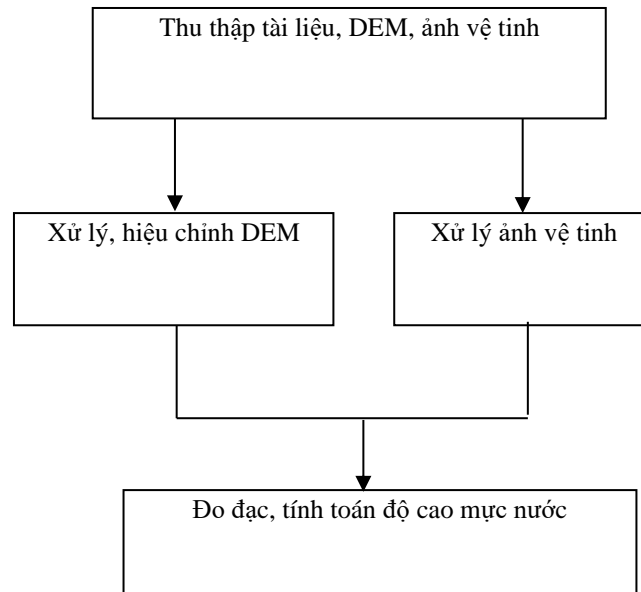
Hình 4. Quy trình xác định độ cao mực nước sông, hồ bằng đo cao vệ tinh.

Đối với phương pháp đo cao vệ tinh hiện nay, có thể sử dụng dữ liệu từ các vệ tinh như: Jason-3 (chu kỳ khoảng 10 ngày), Sentinel-3A (chu kỳ 27 ngày), Sentinel-3B (chu kỳ 27 ngày), Sentinel-6 (chi kỳ lặp 10 ngày). Việc kết hợp các vệ tinh trên với nhau có thể cung cấp bộ dữ liệu độ cao mực nước trung bình 7-10 ngày tùy từng khu vực. Kết quả đo cao mực nước sông, hồ trên lưu vực sông Mê Công bằng phương pháp đo cao vệ tinh đã được một số tác giả [16, 17] đánh giá thử nghiệm tại Trạm đo Mộc Hóa trên sông Vàm Cỏ Tây có thể đạt độ chính xác 0,125 m.

b) Phương pháp 2: Sử dụng kết hợp ảnh radar, ảnh quang học và mô hình số địa hình (DEM) độ chính xác cao để xác định độ cao mực nước

Do giải pháp 1, các chu kỳ của vệ tinh khá thưa, nên việc cung cấp dữ liệu chỉ có thể đáp ứng với tần suất khoảng 10 ngày (tùy vị trí). Do đó để đảm bảo tăng tối đa tần suất cung cấp

dữ liệu độ cao mực nước sông, hồ trên lưu vực trong trường hợp cần thiết có thể kết hợp với giải pháp thứ 2, đó là sử dụng kết hợp ảnh vệ tinh radar, quang học và mô hình số địa hình (DEM) độ chính xác cao để xác định độ cao mực nước. Phương pháp này được tiến hành như quy trình trong hình 5 [5]. Đối với phương pháp này, trước tiên xác định đường mép nước hồ, sông tại thời điểm thu ảnh; sau đó kết hợp với mô hình số độ cao (DEM) có độ chính xác cao để xác định độ cao tuyệt đối của mực nước; trên cơ sở đó sẽ các định được sự biến đổi mực nước theo thời gian. Với phương pháp này, độ chính xác phụ thuộc rất lớn với độ chính xác của DEM và độ phân giải ảnh viễn thám được sử dụng. Thực tế hiện nay DEM ở khu vực các hồ thượng nguồn sông Mê Công tốt nhất là có độ chính xác 2 m được thành lập bằng phương pháp lập thể từ ảnh vệ tinh. Do đó, độ chính xác của độ cao mực nước đo được bằng phương pháp này cũng khá thấp, sai số độ cao có thể hơn 2 m.



Hình 5. Quy trình xác định độ cao mực nước sông, hồ bằng phương pháp kết hợp ảnh radar, ảnh quang học và DEM.

Tuy vậy, trong trường hợp cần thiết, nếu không có nguồn dữ liệu khác bổ sung (dữ liệu đo cao vệ tinh radar, dữ liệu quan trắc) thì có thể sử dụng kết hợp dữ liệu độ cao mực nước tính toán theo Phương pháp 1 và Phương pháp 2 nhằm tăng dày được chuỗi số liệu quan trắc mực nước. Với việc kết hợp này, có thể đảm bảo được sự liên tục của chuỗi số liệu trung bình 5 ngày có một trị đo độ cao mực nước tại một vị trí.

3. Kết quả và thảo luận


Để xác thử nghiệm định độ cao mực nước, nghiên cứu này tiến hành tính toán chuỗi số liệu độ cao mực nước tại 02 hồ thủy điện trên dòng chính sông Mê Công bên ngoài biên giới, gồm: Hồ Đại Triều Sơn (Trung Quốc) và hồ Xayabury (Lào). Việc tính toán giá trị độ cao mực nước được thực hiện theo hướng tự động hóa việc đọc dữ liệu vệ tinh và xử lý trên phần mềm chuyên dụng BRAT (*Basic Radar Altimetry Tools*) [18–20].

3.1. Kết quả tính toán độ cao mực nước hồ Đại Triều Sơn (Dechaosan)

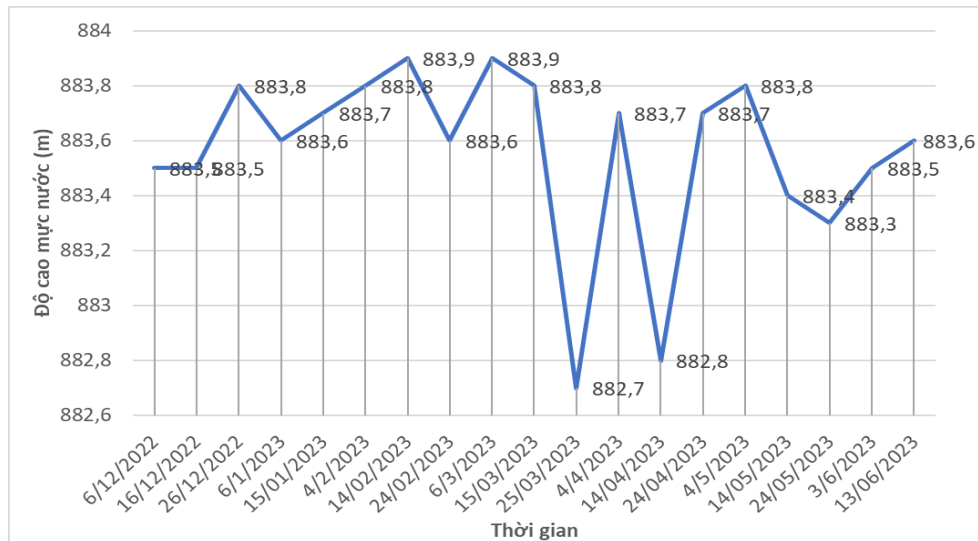
Hồ thủy điện Đại Triều Sơn nằm trên dòng Lan Thương (thượng nguồn sông Mê Công) thuộc địa phận Trung Quốc có tọa độ $X = 639.363,83$; $Y = 22.658.461,92$ với chiều dài đập là 460 m, chiều rộng đập là 28 m. Để tính toán mực nước hồ Đại Triều Sơn, nghiên cứu sử dụng dữ liệu vệ tinh Sentinel-6 trong thời gian từ tháng 9/2022 đến tháng 6 năm 2023; với trung bình 10 ngày có 1 vệ tinh đi qua. Thông tin về hồ và vị trí quan trắc độ cao mực nước thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông tin về vị trí quan trắc độ cao mực nước hồ thủy điện Đại Triều Sơn

Sông/Hồ:	Đại Triều Sơn (Dechaosan)		
Trạm thủy văn:			
Vệ tinh:	Sentinel-6	Vệt quỹ đạo vệ tinh:	140
Trạm đo ảo: Đại Triều Sơn			Mã:
	Kinh độ	Vĩ độ	
Trái trên:	100.5026	24.1422	
Phải dưới:	100.5107	24.1139	
Trung bình:	100.5060	24.1272	
Độ rộng sông/hồ (m):	300		
Khoảng cách đến trạm thủy văn (km)/Đập nước: Về phía thượng lưu 21,9 km			



Kết quả tính toán chuỗi biến đổi mực nước trong thời gian từ tháng 9/2022 đến tháng 6 năm 2023 như trong hình 6.



Hình 6. Biến đổi độ cao mực nước hồ thủy điện Đại Triều Sơn.

Hình 6 cho thấy, độ cao mực nước tại hồ Đại Triều Sơn tương đương ổn định giao động quanh mức 882-883 m; điều này cho thấy hồ Đại Triều Sơn không có sự xả nước đột biến mà tương đối cân bằng giữa lượng nước vào và ra khỏi hồ.

3.2. Kết quả tính toán độ cao mực nước hồ Xayabury

Hồ thủy điện Xayabury nằm trên dòng chính sông Mê Công, thuộc địa phận của Lào có tọa độ X = 165.252,41, Y = 2.131.530,64 với chiều dài đập là 820m, chiều rộng đập là 60 m (Hình 7) [3].

Để tính toán độ cao mực nước hồ Xayabury, bài báo sử dụng kết hợp dữ liệu đo cao của vệ tinh Sentinel-3A và Sentinel-3B trong thời gian từ 9/2022-tháng 6 năm 2023. Thông tin vị trí vệt vệ tinh Sentinel-3A đi qua hồ Xayabury (trạm ảo Xayabury-1) được thể hiện trong Bảng 2.



Hình 7. Đập thủy điện và hồ chứa Xayabury.

Bảng 2. Thông tin về vị trí quan trắc độ cao mực nước hồ thủy điện Xayabury tại trạm ảo Xayabury-1.

Sông/Hồ:	Xayabury			
Trạm thủy văn:				
Vệ tinh:	Sentinel-3A	Vệt quỹ đạo vệ tinh:	563	
Trạm đo ảo:	Xayabury_1	Mã:		
	Kinh độ	Vĩ độ		
Trái trên:	101.8725	19.4211		
Phải dưới:	101.8764	19.4134		
	101.8742			
Trung bình:		19.4177		
Độ rộng sông/hồ (m):			748	
Khoảng cách đến trạm thủy văn (km)/Đập nước: Về phía thượng lưu 24,57 km				

Kết quả tính toán độ cao mực nước tại hồ Xayabury sử dụng dữ liệu vệ tinh Sentinel-3A trong giai đoạn từ ngày 06/9/2022-03/6/2023 được thể hiện trong bảng 3. Bảng 3 cho thấy, trong giai đoạn từ tháng 9/2022-6/2023 trung bình 27 ngày sẽ có một lần vệ tinh bay qua đúng vị trí trạm ảo “Xayabury_1”.


Bảng 3. Độ cao mực nước tại hồ Xayabury sử dụng dữ liệu vệ tinh Sentinel-3A.

Ngày	Kinh độ	Vĩ độ	Chu kỳ	Độ cao mực nước trung bình (m)
06/09/2022			89	277,3
03/10/2022			90	276,9
30/10/2022			91	276,7
26/11/2022			92	276,8
23/12/2022			93	277,1
19/01/2023	101,867	19,4198	94	276,9
15/02/2023			95	276,9
14/03/2023			96	276,7
10/04/2023			97	276,5
07/05/2023			98	276,7
03/06/2023			99	276,4

Bên cạnh sử dụng dữ liệu đo cao vệ tinh Sentinel-3A, việc tính toán độ cao mực nước tại hồ Xayabury sử dụng thêm dữ liệu Sentinel-3B trong thời gian từ ngày 21/9/2022-22/5/2023. Thông tin vị trí vệ tinh Sentinel-3B đi qua hồ Xayabury (trạm ảo Xayabury-2) được thể hiện trong bảng 4. Quan sát vị trí “trạm ảo Xayabury-2” cho thấy gần trùng với vị trí trạm ảo “Xayabury-1”.

Bảng 4. Thông tin vị trí quan trắc độ cao mực nước hồ thủy điện Xayabury tại trạm ảo Xayabury-2.

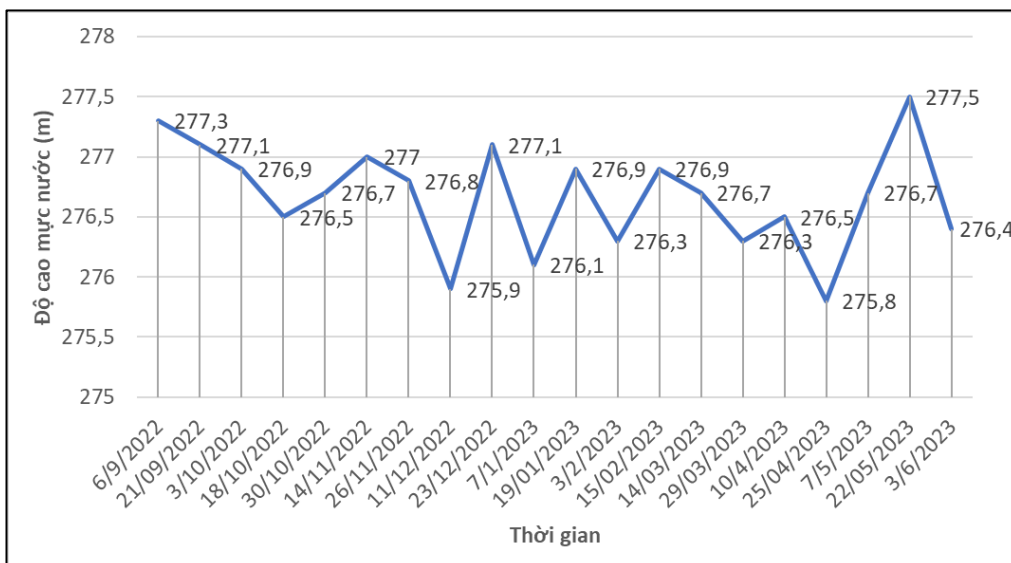
Sông/Hồ:	Xayabury		
Trạm thủy văn:			
Vệ tinh:	Sentinel-3B	Vệt quỹ đạo vệ tinh:	692
Trạm đo ảo: Xayabury_2			Mã:
	Kinh độ	Vĩ độ	
Trái trên:	101.8412	19.4320	
Phải dưới:	101.8466	19.4248	
Trung bình:	101.8439	19.4284	
Độ rộng sông/hồ (m):	748		
Khoảng cách đến trạm thủy văn (km)/Đập nước:	Về phía thượng lưu 27,57km		



Kết quả tính toán độ cao mực nước hồ Xayabury tại trạm ảo “Xayabury-2” sử dụng dữ liệu vệ tinh Sentinel-3B trong giai đoạn từ ngày 21/9/2022-22/5/2023 được thể hiện trong bảng 5. Bảng 5 cho thấy, trong giai đoạn từ tháng 9/2022-6/2023 tại vị trí trạm ảo “Xayabury-2” có 09 lần vệ tinh Sentinel-3B bay qua, tương tự như vệ tinh Sentinel-3A trung bình 27 ngày sẽ có một lần vệ tinh bay qua đúng vị trí trạm ảo.

Bảng 5. Độ cao mực nước tại hồ Xayabury sử dụng dữ liệu vệ tinh Sentinel-3B.

Ngày	Kinh độ	Vĩ độ	Chu kỳ	Độ cao mực nước trung bình (m)
21/09/2022			70	277,1
18/10/2022			71	276,5
14/11/2022			72	277,0
11/12/2022			73	275,9
07/01/2023	101,8445	19,428	74	276,1
03/02/2023			75	276,3
29/03/2023			77	276,3
25/04/2023			78	275,8
22/05/2023			79	277,5



Hình 8. Biến đổi độ cao mực nước hồ thủy điện Xayabury.

Do vị trí trạm ảo “Xayabury-1” và “Xayabury-2” gần như trùng nhau, do đó kết hợp dữ liệu độ cao mực nước tính toán từ 02 vệ tinh Sentinel-3A và Sentinel-3B sẽ cho bộ dữ liệu độ cao mực nước trong giai đoạn từ tháng 9/2022-6/2023 với trung bình 13 ngày có 01 giá trị. Kết quả tổng hợp dữ liệu độ cao mực nước tại 02 trạm ảo “Xayabury-1” và “Xayabury-2” được thể hiện trong hình 8. Tương tự như với hồ Đại Triều Sơn, trong giai đoạn này, mực nước hồ Xayabury không có biến động nhiều, điều này cho thấy lưu lượng dòng chảy vào ra tương đối cân bằng, không có sự đột biến nhiều.

4. Kết luận

Xác định độ cao mực nước hồ chứa trên dòng chính sông Mê Công phía thượng nguồn là vô cùng cần thiết đối với công tác dự báo biến động mực nước ở khu vực đồng bằng sông Cửu Long. Dữ liệu đo cao vệ tinh radar độ mở tổng hợp SAR đang mở ra cơ hội để theo dõi mực nước các sông, hồ có độ rộng trung bình và nhỏ. Kết quả tính toán cho thấy việc sử dụng giải pháp đo cao vệ tinh là hoàn toàn có tính khả thi trong việc giám sát độ cao mực nước các hồ chứa ở khu vực thượng nguồn sông Mê Công. Đối với các hồ ở thượng nguồn như hồ Đại Triều Sơn thì khi có biến động mực nước (tích hoặc xả) trong vòng 15-20 ngày sẽ ảnh hưởng đến mực nước các sông ở khu vực đồng bằng sông Cửu Long. Do đó, với tần suất quan trắc được như hiện nay, khoảng 10 ngày có 1 dữ liệu độ cao mực nước có thể cung cấp cho việc chạy mô hình dự báo lưu lượng dòng chảy và độ cao mực nước tại khu vực đồng bằng sông Cửu Long nhằm ứng phó với khả năng xâm nhập mặn. Giải pháp cũng có thể áp dụng trong việc tính toán độ cao mực nước biển nhằm giám sát hiện tượng nước biển dâng do biến đổi khí hậu cho khu vực đồng bằng sông Cửu Long nhằm đưa ra được giải pháp thích ứng của khu vực đối với vấn đề biến đổi khí hậu. Bên cạnh việc sử dụng dữ liệu đo cao vệ tinh từ các vệ tinh như Sentinel-3A, Sentinel-3B và Sentinel-6 thì hiện nay có thể sử dụng kết hợp thêm dữ liệu đo cao vệ tinh Janson-2, Janson-3 để tăng tần suất quan trắc lên từ 5-7 ngày. Điều này có ý nghĩa rất lớn trong việc giám sát tài nguyên nước gần thời gian thực phục vụ công tác ứng phó và xây dựng kế hoạch thích ứng với biến đổi khí hậu của khu vực đồng bằng sông Cửu Long.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.V.T., Đ.T.P.T; Xử lý số liệu: N.V.T., N.T.T., Đ.T.P.T; Viết bản thảo bài báo: Đ.T.P.T., V.T.H; Chỉnh sửa bài báo: N.V.T., Đ.T.P.T., V.T.H.

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của Đề án đặc thù “Ứng dụng viễn thám giám sát thường xuyên phục vụ các lĩnh vực thuộc Bộ Tài nguyên và Môi trường” do Cục Viễn thám quốc gia, Bộ Tài nguyên và Môi trường chủ trì.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Kịch bản biến đổi khí hậu. Nhà xuất bản Tài nguyên-Môi trường và Bản đồ Việt Nam, 2020.
2. Kaveney, B.; Lennard, E.B.; Minh, K.C.; Duy, M.D.; Thi, K.P.N.; Kristiansen, P.; Orgill, S.; Stewart-Koster, B.; Condon, J. Inland dry season saline intrusion in the Vietnamese Mekong River Delta is driving the identification and implementation of alternative crops to rice. *Agric. Syst.* **2023**, *207*, 103632.
3. Thanh, T.N.; Van, H.H.; Minh, H.V.; Tri, V.P.D. Salinity Intrusion Trends under the Impacts of Upstream Discharge and Sea Level Rise along the Co Chien River and Hau River in the Vietnamese Mekong Delta. *Climate* **2023**, *11*(3), 66. <https://doi.org/10.3390/cli11030066>.

4. VNMC-Ủy ban sông Mê Công Việt Nam. Bản tin nửa cuối tháng 9/2023 diễn biến tài nguyên nước tới Đồng bằng sông Cửu Long. 2023. Truy cập ngày 14/10/2023 tại địa chỉ: <https://vnmc.gov.vn/?p=3451>.
5. Cục Viễn thám quốc gia. Báo cáo giám sát biến động mực nước tại các hồ chứa trên dòng chính sông Hồng, sông Mê Công thuộc Đề án đặc thù “Ứng dụng viễn thám giám sát thường xuyên phục vụ các lĩnh vực thuộc Bộ Tài nguyên và Môi trường”, 2023.
6. Van Tho, N. Salinity Intrusion in the Vietnamese Mekong Delta, a Threat: Possible Causes, Effects on People’s Life and Production, and Temporary Solutions and Adaptable Strategies. In: Jeon, H.Y. (Eds) Sustainable Development of Water and Environment. Environmental Science and Engineering. Springer, Cham. 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-031-07500-1_1.
7. Hong, N.V.; Hien, N.T.; Diem, N.T.; Thuong, L.D. Trend and forecast the saline intrusion at estuaries in the coastal Mekong delta: A case study of the coastal sub-region between the Tien and Hau rivers. *VN J. Hydrometeorol.* **2023**, 14, 12–21. doi:10.36335/VNJHM.2023(14).12-21.
8. Tri, D.Q.; Don, N.C.; Chen, Y.C.; Mishra, P.K. Modeling the influence of river flow and salinity intrusion in the Mekong river estuary, Vietnam. *Lowland Technol. Int.* **2014**, 16(1), 14–26.
9. Birkett, C.M. Contribution of the Topex NASA radar altimeter to the global monitoring of large rivers and wetlands. *Water Resour. Res.* **1998**, 34(5), 1223–1239.
10. Phú, N.H.; Nam, N.N.; Sơn, N.T.T. Giám sát biến đổi độ cao mực nước bằng đo cao vệ tinh radar độ mở tổng hợp trên lưu vực sông Mê Kông. *Tạp chí Khoa học đo đạc và bản đồ* **2021**, 47-3/2021, 33–41.
11. Tuấn, L.A. Các đập nước và hồ chứa ở thượng nguồn: Có hay không nguy cơ môi sinh tiềm ẩn cho hạ nguồn sông Mê Kông, Hội đập lớn và phát triển nguồn nước Việt Nam. Truy cập online ngày 14/10/2023 tại địa chỉ: <http://www.vncold.vn/Web/Content.aspx?distid=230>.
12. Trực tuyến: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-3>
13. Trực tuyến: ESA-
https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-6.
14. Trực tuyến: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/>.
15. Calmant, S.; Seyler, F.; Crétaux, J.F. Monitoring continental surface water by satellite altimetry. *Surv. Geophysics* **2008**, 29, 247–269.
16. Đề tài NCKH cấp Bộ “Giám sát biến đổi mực nước sông Hồng và sông Mê Kông bằng công nghệ đo cao vệ tinh”. Mã số TNMT.2017.08.05. Tổ chức chủ trì: Trung tâm thông tin và dữ liệu viễn thám, Cục Viễn thám quốc gia. 2020.
17. Tuấn, N.V.; Thảo, Đ.T.P.; Thảo, V.T.P.; Phú, N.H. Nghiên cứu giám sát biến đổi độ cao mực nước ở thượng lưu sông Mê Công bằng công nghệ viễn thám phục vụ quản lý tài nguyên nước ở Việt Nam. Tuyển tập báo cáo Hội thảo Khoa học & Công nghệ tài nguyên nước lần thứ nhất, 2022.
18. Benveniste, J.; Rosmorduc, V.; Niemeijer, S.; Picot, N. Basic Radar Altimetry Toolbox. IGARSS 2008 - 2008 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. 2008. Doi:10.1109/IGARSS.2008.4779494.
19. ESA. Sentinel online. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/-/brat/1.0>.
20. Rosmorduc, V.; Benveniste, J.; Picot, N.; Niemeijer, S. Basic radar altimetry toolbox & tutorial. 2020. Online available: https://www-cdn.eumetsat.int/files/2020-04/pdf_conf_p_s9_36_rosmordu_p.pdf.

Applying remote sensing technology in monitoring water level changes in border river basins to serve water resources management in Vietnam in the context of climate change

Nghiem Văn Tuan^{1*}, Do Thi Phuong Thao², Vu Thi Hien³, Nguyen Trong The⁴

¹National Remote Sensing Department; tuan.nghiem.rsc@gmail.com

² University of Mining and Geology; phuongthao.mdc@gmail.com

³ Ho Chi Minh City University of Natural Resources and Environment; vthien@hcmunre.edu.vn;

⁴ Information Technology Institute; nguyentrongthevcntt@gmail.com;

Abstract: On the main stream of the Mekong River, countries have been building dozens of water reservoirs for hydropower and irrigation, thus reducing the flow to the Mekong Delta in the dry season combined with rising sea levels due to Climate change has pushed the region to face increasing saltwater intrusion. To take the initiative of water resource forecasts in the dry season, near real-time hydrological data upstream beyond the border such as flow, reservoir capacity, or lake regulation is very important. However, this data is currently not shared by all countries and Vietnam cannot monitor the one directly due to geographical issues. The main goal of the article is to present remote sensing methods in determining and monitoring high water level changes of reservoirs on the upstream main river to serve the calculation of reservoir regulation data. Research results show that, with the combined use of radar altimeter data from the Sentinel-3A, Sentinel-3B and Sentinel-6 satellites, it is possible to determine the water level in reservoirs with a frequency of about 10 days/1 time; helps to early forecast the potential impact on water levels in the Mekong Delta.

Keywords: Radar satellite altimeter; SAR; Water level; Climate change; Mekong.