

BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ MÔI TRƯỜNG
VIỆN KHOA HỌC ĐỊA CHẤT VÀ KHOÁNG SẢN

ĐỊA CHẤT VÀ KHOÁNG SẢN

Tập 12

KỶ NIỆM 60 NĂM THÀNH LẬP
VIỆN KHOA HỌC ĐỊA CHẤT VÀ KHOÁNG SẢN
(15/5/1965 – 15/5/2025)



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC TỰ NHIÊN VÀ CÔNG NGHỆ

Tập 12

ĐỊA CHẤT VÀ KHOÁNG SẢN
KỶ NIỆM 60 NĂM THÀNH LẬP VIỆN KHOA HỌC ĐỊA CHẤT VÀ KHOÁNG SẢN (15/5/1965 – 15/5/2025)

NHÀ XUẤT BẢN
KHOA HỌC TỰ NHIÊN VÀ CÔNG NGHỆ

ISBN: 978-604-357-374-9



SÁCH KHÔNG BÁN

**BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ MÔI TRƯỜNG
VIỆN KHOA HỌC ĐỊA CHẤT VÀ KHOÁNG SẢN**

**ĐỊA CHẤT
VÀ
KHOÁNG SẢN**

TẬP 12

**KỶ NIỆM 60 NĂM THÀNH LẬP
VIỆN KHOA HỌC ĐỊA CHẤT VÀ KHOÁNG SẢN
(15/5/1965 - 15/5/2025)**



**NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC TỰ NHIÊN VÀ CÔNG NGHỆ
HÀ NỘI - 2025**

BAN BIÊN TẬP

Trịnh Hải Sơn (Trưởng ban)

Trịnh Xuân Hoà, Quách Đức Tín, Hoàng Cao Phương

Nguyễn Đại Trung (Thư ký)

MINISTRY OF AGRICULTURE AND ENVIRONMENT
VIETNAM INSTITUTE OF GEOSCIENCES AND MINERAL RESOURCES

GEOLOGY AND MINERAL RESOURCES

VOLUME 12

**60TH ANNIVERSARY OF
VIETNAM INSTITUTE OF GEOSCIENCES AND MINERAL RESOURCES
(1965 - 2025)**



**PUBLISHING HOUSE FOR SCIENCE AND TECHNOLOGY
HANOI - 2025**

MỤC LỤC

- [1] MỘT SỐ THÀNH TỰU KHOA HỌC, ĐÀO TẠO VÀ HỢP TÁC QUỐC TẾ CỦA VIỆN KHOA HỌC ĐỊA CHẤT VÀ KHOÁNG SẢN..... 9

Trịnh Hải Sơn

- [2] THẠCH LUẬN GRANITOID TUỔI PERMI - TRIAS KHU VỰC BẮC ĐAI TẠO NÚI TRƯỜNG SƠN, VIỆT NAM: DỮ LIỆU TỪ KHỐI KIM CƯƠNG, TƯƠNG DƯƠNG 21

PERMIAN - TRIASISIC GRANITOID PETROGENESIS OF THE NORTH TRUONG SON BELT, VIETNAM: DATA FROM KIM CUONG, TUONG DUONG BLOCKS

Trịnh Hải Sơn, Nguyễn Văn Đạt, Bùi Thế Anh, Vũ Thị Thảo Linh, Nguyễn Thị Hoàng Linh, Nguyễn Viết Hiên

- [3] ĐẶC ĐIỂM QUẶNG HÓA CHÌ - KẼM BẢN KẸP, BẮC MÊ, HÀ GIANG... 50

GEOLOGICAL AND MINERALOGICAL CHARACTERISTICS OF PB-ZN ORES IN THE BAN KEP AREA, BAC ME DISTRICT, HA GIANG PROVINCE

Tạ Đình Tùng, Nguyễn Tiến Quang, Đỗ Quốc Bình, Nguyễn Văn Tình

- [4] TIỀM NĂNG SINH KHOÁNG NỘI SINH TRÊN CƠ SỞ NGHIÊN CỨU THẠCH HOÁ CÁC ĐÁ GRANITOID KHỐI KIM CƯƠNG KHU VỰC BẮC TRUNG BỘ, VIỆT NAM..... 63

ENDOGENOUS METALLOGENY POTENTIAL BASED ON STUDIES OF PETROCHEMISTRY GRANITOIDS ROCKS KIM CUONG BLOCK IN THE NORTH CENTRAL REGION, VIETNAM

Nguyễn Văn Đạt, Trịnh Hải Sơn, Lưu Văn Thắng, Đặng Thanh Loan, Ứng Thị Dung, Phạm Thị Sắc

- [5] ĐẶC ĐIỂM CỦA RUBY, SAPHIR TRONG ĐÁ GỐC VÀ SA KHOÁNG KHU VỰC TRÚC LẬU - YÊN BÁI (ĐỐI SÔNG HỒNG) 78

CHARACTERISTICS OF RUBY AND SAPPHIRE IN PRIMARY HOST ROCKS AND PLACER FORMATIONS IN TRUC LAU AREA, YEN BAI PROVINCE (RED RIVER ZONE)

Nguyễn Văn Nam, Nguyễn Thị Huyền, Trần Văn Trọng

- [6] TIỀM NĂNG NĂNG LƯỢNG NGUỒN ĐỊA NHIỆT TRIỂN VỌNG TU BÔNG..... 92
ENERGY POTENTIAL OF TU BONG GEOTHERMAL PROSPECT
Trần Trọng Thắng
- [7] ĐẶC ĐIỂM ĐỊA MẠO VÀ TIỀM NĂNG DI SẢN ĐỊA MẠO QUẦN THỂ DI TÍCH VÀ DANH THẮNG YÊN TỬ 102
GEOMORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS AND
GEOMORPHOLOGICAL HERITAGE POTENTIAL OF YEN TU
RELICS AND LANDSCAPES
*Nguyễn Xuân Nam, Trần Tân Văn, Đoàn Thị Ngọc Huyền, Đoàn Thế Anh,
Đỗ Văn Thắng, Nguyễn Đình Tuấn, Lê Anh Phương, Nguyễn Thị Lan,
Trần Ngọc Yến, Cao Thị Hường, Hoàng Xuân Đức, Phạm Thị Thúy*
- [8] ĐIỀU TRA, ĐÁNH GIÁ VÀ PHÂN VÙNG CẢNH BÁO NGUY CƠ TRƯỢT LỞ ĐẤT ĐÁ CÁC VÙNG MIỀN NÚI VIỆT NAM: ĐÁNH GIÁ CÁC SẢN PHẨM CHÍNH ĐÃ ĐẠT ĐƯỢC VÀ TÁC ĐỘNG THỰC TIỄN CỦA CHÚNG 133
PROJECT INVESTIGATION, ASSESSMENT AND WARNING
ZONATION FOR LANDSLIDES IN THE MOUNTAINOUS REGIONS
OF VIETNAM: COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF PRODUCTS
AND PRACTICAL IMPACT
*Nguyễn Quốc Khánh, Trịnh Xuân Hòa, Phạm Văn Sơn, Nguyễn Thị Hải Vân,
Nguyễn Thị Huyền, Trần Văn Trọng, Nguyễn Huy Dương*
- [9] NGUYÊN NHÂN VÀ ĐỀ XUẤT CÁC GIẢI PHÁP KHẮC PHỤC SỤT LÚN TẠI KHU VỰC BẢN NONG SƠN VÀ LÂN CẬN, HUYỆN MAI SƠN, TỈNH SƠN LA 151
CAUSES AND PROPOSED SOLUTIONS TO LAND SUBSIDENCE IN
NONG SON VILLAGE AND SURROUNDING AREA, MAI SON
DISTRICT, SON LA PROVINCE
*Nguyễn Văn Tuấn, Trần Diệp Anh, Nguyễn Văn Đông, Vũ Văn Tuyền,
Nguyễn Thị Hiền An, Lê Chí Phúc, Trịnh Thị Thúy, Nguyễn Ngọc Trâm,
Đỗ Trọng Quốc*

- [10]PHÂN TÍCH ẢNH VIỄN THĂM PHỤC VỤ CÔNG TÁC ĐÁNH GIÁ XÓI LỖ, BỒI TỤ BỜ SÔNG KỶ LỘ, TỈNH PHÚ YÊN..... 170
ANALYSIS OF REMOTE SENSING IMAGERY FOR THE ASSESSMENT OF RIVERBANK EROSION AND ACCRETION ALONG THE KY LO RIVER IN PHU YEN PROVINCE
Trần Hồng Hạnh, Nguyễn Thành Long, Nguyễn Văn Hoàng, Nguyễn Thị Lợi, Đinh Văn Huy, Phạm Chế Linh, Nguyễn Thị Thanh Thảo
- [11]ĐẶC ĐIỂM PHÂN BỐ CÁC KIM LOẠI NẶNG TRONG ĐẤT VÙNG SƠN ĐỘNG - BA CHẾ..... 184
GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF SOIL IN THE SON DONG - BA CHE AREA
Bùi Hữu Việt, Nguyễn Văn Niệm, Đỗ Đức Nguyên, Phạm Hùng Thanh, Mai Trọng Tú, Nguyễn Khắc Giảng
- [12]KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU BƯỚC ĐẦU VỀ ĐẶC ĐIỂM MÔI TRƯỜNG HÓA LÝ CỦA NƯỚC MẶT KHU VỰC PHÍA TÂY NINH BÌNH PHỤC VỤ PHÁT TRIỂN NÔNG NGHIỆP VÀ DU LỊCH CẢNH QUAN..... 196
PRELIMINARY RESEARCH RESULTS ON PHYSICAL AND CHEMICAL ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS OF SURFACE WATER IN THE WESTERN AREA OF NINH BINH FOR THE DEVELOPMENT OF AGRICULTURE AND LANDSCAPE TOURISM
Đặng Thị Vinh
- [13]NGHIÊN CỨU TÁC ĐỘNG CỦA HOẠT ĐỘNG KHAI THÁC CÁT ĐẾN ĐỘNG LỰC SÓNG VÀ ĐỊA HÌNH BIỂN SÓC TRĂNG..... 212
ASSESSING THE IMPACT OF SAND MINING ON WAVE DYNAMICS AND SEABED TOPOGRAPHY IN SOC TRANG
Trần Ngọc Diễn, Trần Anh Quân
- [14]ĐÁNH GIÁ DIỄN BIẾN THỦY ĐỘNG LỰC VÀ BỒI XÓI KHI KHAI THÁC KHOÁNG SẢN MỎ CÁT CẨM NGỌC, XÃ CẨM THỦY, THANH HÓA 229
ASSESSMENT OF HYDRODYNAMIC EVOLUTION AND EROSION-DEPOSITION DUE TO MINERAL EXTRACTION AT CAM NGOC SAND MINE, CAM THUY COMMUNE, THANH HOA
Trần Anh Quân, Vũ Cúc Phương

- [15] ĐỊNH HƯỚNG PHÁT TRIỂN NGÀNH ĐỊA CHẤT ĐẾN NĂM 2045
TRONG BỐI CẢNH CÁCH MẠNG CÔNG NGHIỆP LẦN THỨ TƯ GẮN
VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG 259

ORIENTATION FOR THE DEVELOPMENT OF THE GEOLOGY
SECTOR TO 2045 IN THE CONTEXT OF THE FOURTH INDUSTRIAL
REVOLUTION ASSOCIATED WITH SUSTAINABLE DEVELOPMENT

*Nguyễn Đại Trung, Đoàn Thế Hùng, Nguyễn Bá Minh, Mai Trọng Tú,
Trịnh Xuân Hòa, Trần Tân Văn*

ĐÁNH GIÁ DIỄN BIẾN THỦY ĐỘNG LỰC VÀ BỒI XÓI KHI KHAI THÁC KHOÁNG SẢN MỎ CÁT CẨM NGỌC, XÃ CẨM THỦY, THANH HÓA

Trần Anh Quân, Vũ Cúc Phương

Trường Đại học Mở - Địa chất

Tóm tắt: Nghiên cứu đánh giá diễn biến thủy động lực và bồi xói tại mỏ cát Cẩm Ngọc, Sông Mã, xã Cẩm Thủy, Thanh Hóa, nhằm làm rõ tác động của khai thác cát đến dòng chảy, bồi xói và môi trường, từ đó đề xuất giải pháp quản lý bền vững trước nhu cầu cấp thiết bảo vệ hệ sinh thái sông. Phương pháp tích hợp mô hình MIKE NAM (mô phỏng mưa - dòng chảy), MIKE 11 (thủy lực 1 chiều) và MIKE 21 (thủy lực 2 chiều, bồi xói), sử dụng dữ liệu địa hình tỷ lệ 1:500-1:10.000, đo đạc thực địa (61 mặt cắt, trầm tích D50 = 0,315 mm), và số liệu thủy văn từ trạm Cẩm Thủy, Hồi Xuân, Lý Nhân (2000-2023). Kết quả kiểm định cho thấy độ chính xác cao: MIKE NAM ($E_f, R > 0,9$), MIKE 11 ($E_f = 0,97, R = 0,99$), MIKE 21 (vết lũ 8/2023: +15,25 m so với +15,36 m). Mô phỏng 4 kịch bản (hiện trạng và sau 30 năm khai thác, mùa lũ/kiệt) chỉ ra khai thác tăng tiêu thoát lũ (mực nước giảm 0,03-0,16 m thượng lưu, 0,03-0,06 m tại dự án), giảm vận tốc dòng chảy (mùa lũ từ $>1,5$ m/s, mùa kiệt từ $>0,4$ m/s xuống thấp hơn), gây bồi lấp (+0,1 m đến +0,46 m tại khu khai thác, +0,2 m đến +0,8 m hạ lưu) và xói lòng sông (-0,2 m đến -0,5 m), với xói bờ (-0,3 m) tại thượng lưu và hạ lưu. Nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học quan trọng, hỗ trợ quản lý khai thác cát, giảm thiểu tác động môi trường và bảo vệ cộng đồng ven sông.

Từ khóa: Bồi xói, khai thác cát sỏi, Sông Mã, MIKE, mô hình hóa.

1. Giới thiệu

Hoạt động khai thác cát trên Sông Mã, đặc biệt tại mỏ Cẩm Ngọc (Cẩm Thủy, Thanh Hóa), đang gây ra những tác động nghiêm trọng đến thủy động lực và môi trường, làm thay đổi dòng chảy, gia tăng bồi xói lòng sông, sạt lở bờ và ảnh hưởng đến đời sống người dân (Tran và nnk., 2023). Nghiên cứu diễn biến thủy động lực và bồi xói trong quá trình khai thác cát là cần thiết để cung cấp cơ sở khoa học cho quản lý tài nguyên bền vững (Bui và nnk., 2018). Việc khai thác làm thay đổi cấu trúc lòng sông, gây mất cân bằng địa mạo, suy giảm chất lượng nước và hệ sinh thái, đặc biệt tại khu vực đông dân cư và đất nông nghiệp như Thanh Hóa (Nguyen và nnk., 2021). Do đó, nghiên cứu này không chỉ giúp hiểu rõ mối quan hệ giữa khai thác cát và biến động thủy động lực mà còn cung cấp dữ liệu để dự báo rủi ro, đề xuất giải pháp giảm thiểu tác động tiêu cực, bảo vệ tài nguyên thiên nhiên và phát triển bền vững.

Nghiên cứu này được thực hiện với mục tiêu chính là đánh giá toàn diện diễn biến thủy động lực và quá trình bồi xói tại khu vực mỏ cát Cẩm Ngọc trên Sông Mã trong bối cảnh khai thác khoáng sản. Cụ thể, nghiên cứu phân tích các thay đổi về dòng chảy, vận tốc nước, độ sâu lòng sông và sự dịch chuyển của vật liệu trầm tích trước, trong và sau quá trình khai thác cát, dựa trên các phương pháp mô phỏng hiện đại như MIKE 21 (DHI, 2021). Đồng thời, nghiên cứu cũng nhằm xác định mức độ ảnh hưởng của hoạt động khai thác đến sự bồi xói, sạt lở bờ sông và các hệ quả liên quan đến môi trường và đời sống dân sinh. Từ các kết quả thu được, nghiên cứu đề xuất các biện pháp quản lý khai thác cát hiệu quả, đảm bảo sự cân bằng giữa lợi ích kinh tế và bảo vệ môi trường (Hackney và nnk., 2020).

Đối tượng nghiên cứu của đề tài là các yếu tố thủy động lực và quá trình bồi xói tại khu vực mỏ cát Cẩm Ngọc trên Sông Mã, xã Cẩm Thủy, tỉnh Thanh Hóa. Phạm vi nghiên cứu được giới hạn trong khu vực khai thác cát tại mỏ Cẩm Ngọc và vùng phụ cận chịu ảnh hưởng trực tiếp từ hoạt động này. Về mặt thời gian, nghiên cứu tập trung vào giai đoạn khai thác hiện tại, kết hợp với phân tích dữ liệu quá khứ từ các trạm thủy văn để so sánh sự thay đổi theo thời gian (Vietnam Meteorological and Hydrological Administration, 2023). Phương pháp nghiên cứu bao gồm khảo sát thực địa, đo đạc thủy văn, và mô phỏng số bằng các công cụ như MIKE NAM, MIKE 11 và MIKE 21 để đánh giá các thông số liên quan (DHI, 2021).

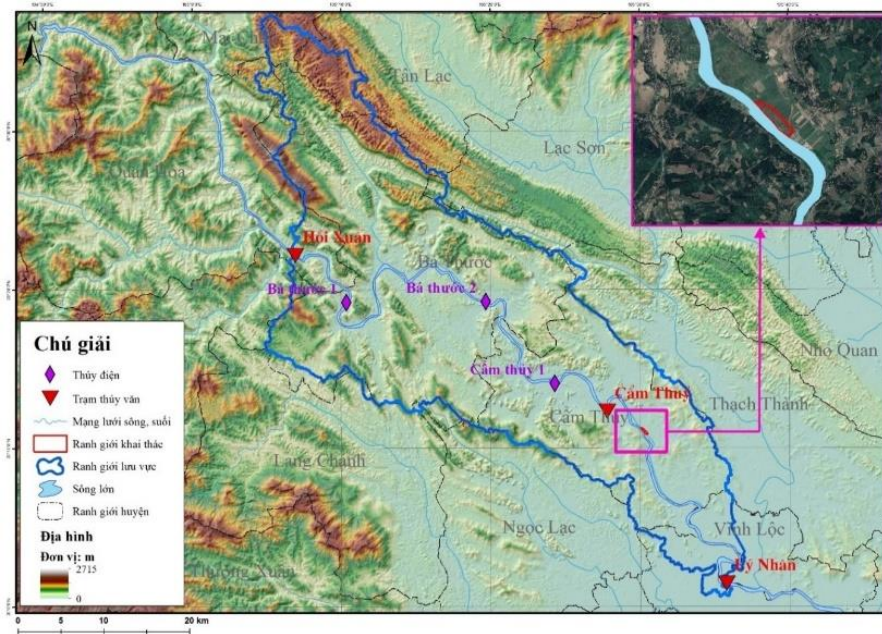
Nghiên cứu này mang lại đóng góp mới thông qua việc cung cấp một bức tranh chi tiết về tác động của khai thác cát đến thủy động lực và bồi xói tại mỏ Cẩm Ngọc - một khu vực chưa được nghiên cứu đầy đủ trước đây. Kết quả nghiên cứu bổ sung dữ liệu khoa học quan trọng vào kho tài liệu về quản lý tài nguyên sông ngòi tại Việt Nam, đặc biệt là trên Sông Mã (Vo & Gourbesville, 2016). Hơn nữa, việc áp dụng các phương pháp phân tích hiện đại như mô phỏng thủy động lực và đánh giá định lượng quá trình bồi xói giúp nâng cao độ chính xác trong dự đoán các biến động địa mạo (Park và nnk., 2022). Đóng góp thực tiễn của nghiên cứu nằm ở việc đưa ra các khuyến nghị cụ thể nhằm giảm thiểu tác động tiêu cực từ khai thác cát, hỗ trợ chính quyền địa phương xây dựng chính sách quản lý tài nguyên bền vững, đồng thời bảo vệ lợi ích lâu dài cho cộng đồng dân cư ven sông (Hackney và nnk., 2020).

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu nằm tại mỏ cát Cẩm Ngọc trên Sông Mã, thuộc xã Cẩm Thủy, huyện Cẩm Thủy, tỉnh Thanh Hóa (hình 1). Về địa hình, khu vực có lòng sông hẹp với cao độ đáy sông dao động từ +7 m đến +9 m, hai bên bờ là bãi sông bằng phẳng (cao độ +17 m đến +20 m) và các đồi núi thấp bao quanh. Khí hậu mang đặc trưng nhiệt đới gió mùa, với hai mùa rõ rệt: mùa mưa từ tháng 5 đến tháng 10

(lượng mưa trung bình 1.600-1.800 mm) và mùa khô từ tháng 11 đến tháng 4. Đặc điểm khí tượng thủy văn chịu ảnh hưởng lớn từ lưu vực Sông Mã, với lưu lượng trung bình năm khoảng 340 m³/s tại trạm Cẩm Thủy, lưu lượng lũ đỉnh đạt 9.950-13.600 m³/s (tần suất 1-0,2%) và nồng độ bùn cát biến động mạnh theo mùa.



Hình 1. Bản đồ vị trí khu vực mỏ cát trên nền địa hình

2.2. Dữ liệu nghiên cứu

Dữ liệu được thu thập từ nhiều nguồn khác nhau, bao gồm bản đồ địa hình, số liệu khí tượng thủy văn, tài liệu báo cáo và kết quả khảo sát thực địa.

Dữ liệu địa hình: Bao gồm bình đồ tỷ lệ 1:500 và 1:1000, bản đồ địa chất khu vực tỷ lệ 1:10.000 kèm cột địa tầng và mặt cắt địa chất, bản đồ địa hình đáy sông tỷ lệ 1:1.000, bản đồ phân khối và tính trữ lượng tỷ lệ 1:1.000, cùng bản đồ kết thúc khai thác mỏ tỷ lệ 1:1.000. Các bản đồ này được sử dụng để xác định cấu trúc địa hình và dự đoán thay đổi sau khai thác. Các dữ liệu này được kế thừa từ công tác đo đạc khảo sát địa chất và trữ lượng của mỏ cát, dữ liệu thu thập từ một số công trình nghiên cứu của Trường Đại học Khoa học Tự nhiên (ĐHQGHN) và Viện Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu.

Dữ liệu khí tượng thủy văn gồm số liệu mực nước, lưu lượng, lượng mưa và nồng độ bùn cát từ các trạm Cẩm Thủy, Lý Nhân, Hồi Xuân (2000-2023), làm cơ sở hiệu chỉnh mô hình toán. Ngoài ra, thông tin về các thủy điện Bá Thước 1, Bá Thước 2 và Cẩm Thủy 1 (diện tích lưu vực, lưu lượng, dung tích hồ chứa, thông số đập) được sử dụng để mô phỏng tác động lên dòng chảy.

Dữ liệu thực địa đo đạc bổ sung bao gồm 61 mặt cắt ngang Sông Mã từ Hồi Xuân đến Lý Nhân, với các mặt cắt tại mỏ Cẩm Ngọc do được (hình 2). Phân tích 9 mẫu trầm tích cho thấy cát chiếm ưu thế ($D_{50} = 0,315$ mm), với độ rỗng 0,4 và trọng lượng riêng $2,66 \text{ g/cm}^3$, cung cấp thông tin quan trọng về đặc tính vật liệu lòng sông.

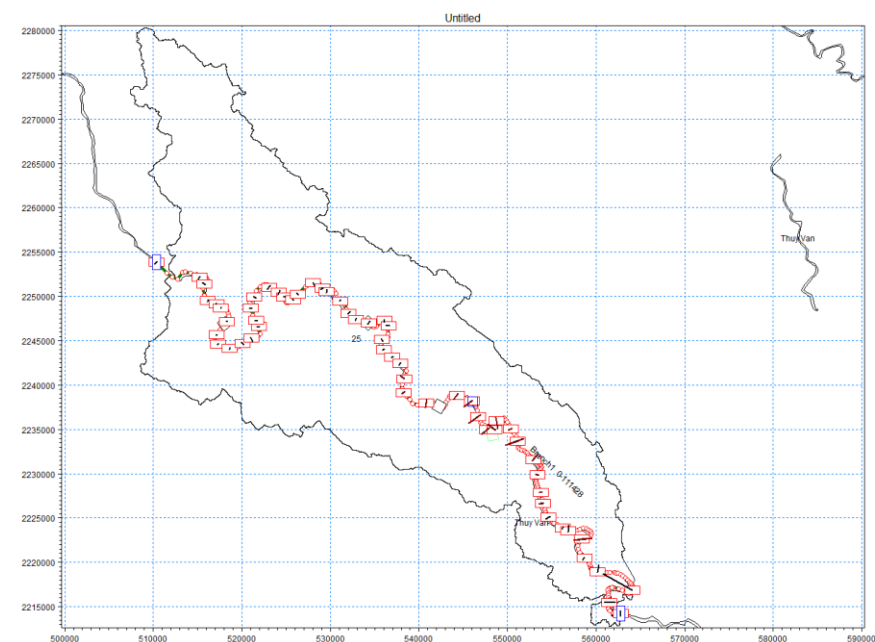
2.3. Mô hình MIKE NAM

Giới thiệu mô hình: MIKE NAM là mô hình thủy văn dạng bể chứa, được thiết kế để mô phỏng quá trình mưa - dòng chảy dựa trên các bể chứa đại diện cho lớp phủ thực vật, tầng rễ cây và nước ngầm. Các thông số chính bao gồm U_{\max} (dung lượng bề mặt), L_{\max} (độ ẩm tầng dưới), CQ_{OF} (hệ số dòng chảy tràn mặt), CQ_{IF} (hệ số dòng chảy sát mặt) và $CK_{1,2}$ (hằng số thời gian dòng chảy), cho phép mô hình hóa chính xác sự hình thành dòng chảy trong lưu vực.

Mô hình được xây dựng cho lưu vực giữa Hồi Xuân và Lý Nhân (diện tích 1.342 km^2), với ranh giới lưu vực được phân chia từ bản đồ địa hình DEM. Số liệu đầu vào bao gồm lượng mưa và bốc hơi từ các trạm Cẩm Thủy, Hồi Xuân và Lý Nhân, đảm bảo phản ánh đầy đủ đặc điểm khí tượng thủy văn của khu vực nghiên cứu.

Bảng 1. Giá trị các thông số mô hình MIKE NAM

Dòng chảy mặt và sát mặt	U_{\max}	L_{\max}	CQ_{OF}	CK_{IF}	$CK_{1,2}$	T_{OF}	T_{IF}
	10,6	108	0,41	329,9	34,1	0,68	0,26
Dòng chảy ngầm	TG				CKBF		
	0,026				2098		



Hình 2. Mạng lưới thủy lực và vị trí mặt cắt trên lưu vực

Hiệu chỉnh và kiểm định: Bộ thông số mô hình được hiệu chỉnh dựa trên nghiên cứu của Lê Thị Thường (2019) (bảng 1). Kết quả kiểm định đạt hệ số Nash (Ef) và tương quan (R) trên 0,9, chứng minh độ tin cậy cao của mô hình trong việc mô phỏng dòng chảy.

2.4. Mô hình MIKE 11

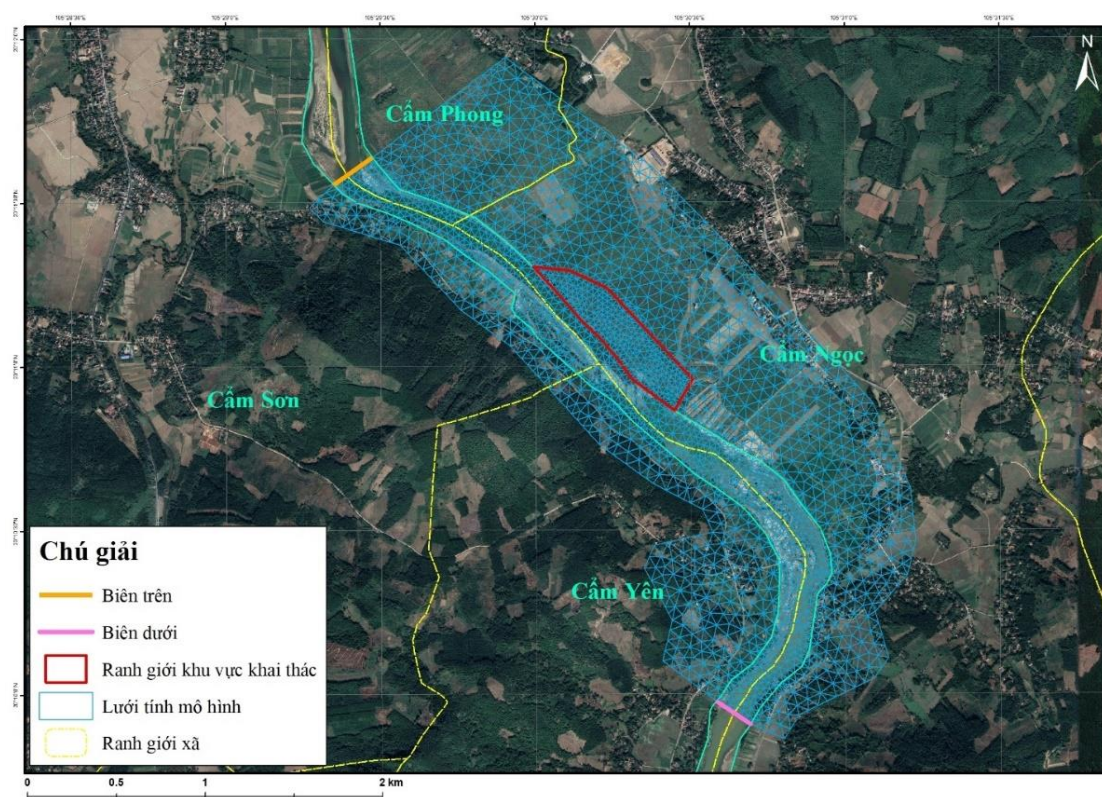
MIKE 11 là mô hình thủy lực một chiều, sử dụng phương pháp sai phân hữu hạn 6 điểm Abbott để giải hệ phương trình Saint-Venant, nhằm tính toán mực nước và lưu lượng trên mạng lưới sông. Mô hình phù hợp để phân tích chế độ thủy động lực trên các đoạn sông dài, với điều kiện biên linh hoạt tại thượng lưu và hạ lưu. Phạm vi mô phỏng bao gồm đoạn Sông Mã từ Hồi Xuân đến Lý Nhân (dài 110 km), tích hợp 61 mặt cắt ngang và thông tin về các công trình thủy điện (Bá Thước 1, Bá Thước 2, Cẩm Thủy 1). Điều kiện biên được thiết lập bằng mực nước tại trạm Hồi Xuân (biên trên) và Lý Nhân (biên dưới), kết hợp dữ liệu thực đo để đảm bảo tính chính xác.

2.5. Mô hình MIKE 21

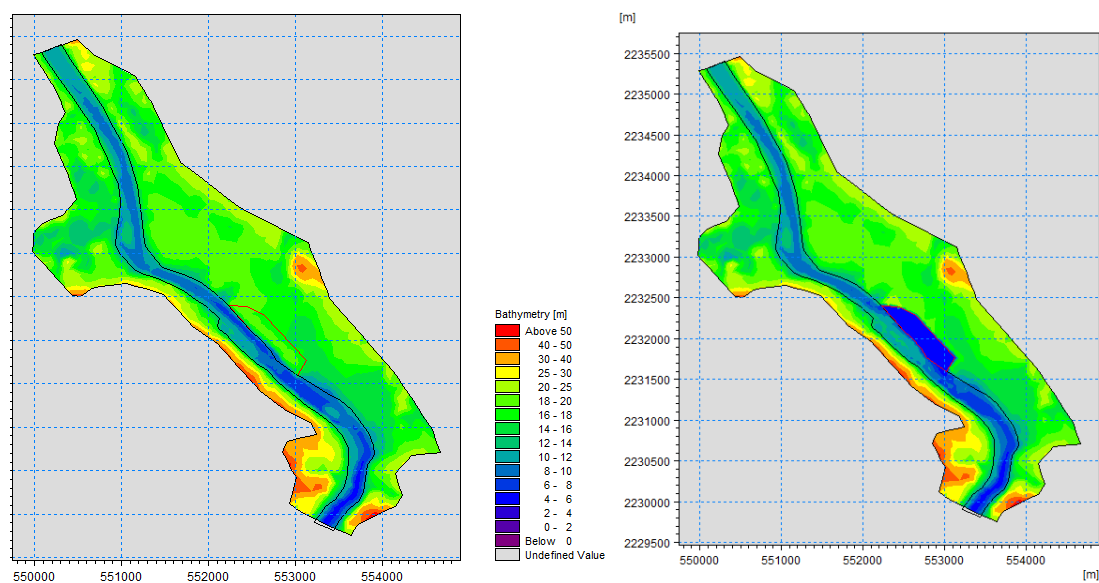
MIKE 21 là mô hình thủy lực hai chiều, dựa trên hệ phương trình Navier-Stokes trung bình Reynolds, kết hợp các mô đun thủy lực (HD) và vận chuyển trầm tích (ST, MT). Phương pháp Engelund & Hansen được áp dụng để tính toán vận chuyển cát (di đáy và lơ lửng), phù hợp cho việc đánh giá chi tiết thủy động lực và bồi xói. Mô hình được thiết lập trên đoạn Sông Mã dài 4 km quanh mỏ cát Cẩm Ngọc (1,5 km thượng lưu, 2,5 km hạ lưu), với lưới tính toán phân giải 10-40 m (lòng sông) và 40-70 m (ven sông) (hình 3). Điều kiện biên lấy từ kết quả MIKE 11, mực nước ban đầu dựa trên trung bình mùa lũ và kiệt năm 2023, cùng nồng độ bùn cát từ trạm Cẩm Thủy. Như vậy, miền tính bao trùm một vùng lòng sông cũng như các khu vực có nguy cơ bị ngập lụt ven sông có diện tích khoảng 527,7 ha, tương ứng với khoảng 4465 phần tử lưới trong miền tính toán. Lưới tính mô hình là lưới phần tử hữu hạn được xây dựng dựa trên dữ liệu địa hình chi tiết được đo đạc.

Hiệu chỉnh và kiểm định: Các thông số mô phỏng bao gồm độ nhám Manning ($M_s = 32 \text{ mL/3/s}$ cho lòng sông, $M_{bs} = 10 \text{ mL/3/s}$ cho bãi sông), hệ số nhớt rối ($\mu = 0,2 \text{ m}^2/\text{s}$), bước thời gian ($\Delta t = 10 \text{ s}$) và đường kính hạt ($D_{50} = 0,315 \text{ mm}$). Mô hình được hiệu chỉnh với vết lũ tháng 8/2023 (cao độ tính toán +15,25 m, thực đo +15,36 m), đảm bảo độ chính xác cao trong dự báo.

Hiệu chỉnh: Mô hình được hiệu chỉnh với vết lũ tháng 8/2023 (cao độ tính toán +15,25 m so với thực đo +15,36 m), đảm bảo độ tin cậy cao.



Hình 3. Bản đồ lưới tính và vị trí biên mô hình MIKE 21



Hình 4. Địa hình khu vực dự án trước (hình trái) và sau (hình phải) khi khai thác

2.6. Điều kiện biên và điều kiện ban đầu

Điều kiện mực nước và nồng độ bùn cát ban đầu được lấy theo giá trị trung bình của mùa lũ và mùa kiệt trong giai đoạn tính toán:

Giá trị mực nước ban đầu của mô hình:

- Mùa lũ: Giá trị trung bình của mùa lũ năm 2023 (Tháng 1/7/2023 đến tháng 1/11/2023)
- Mùa kiệt: Giá trị trung bình của mùa kiệt trong giai đoạn 1/1/2023 đến 1/5/2023

Giá trị nồng độ bùn cát ban đầu của mô hình:

- Mùa lũ: Giá trị trung bình trong mùa lũ tại trạm thủy văn Cẩm Thủy (trạm thủy văn gần nhất)
- Mùa kiệt: Giá trị trung bình trong mùa kiệt tại trạm thủy văn Cẩm Thủy (trạm thủy văn gần nhất)

2.7. Xây dựng kịch bản tính toán

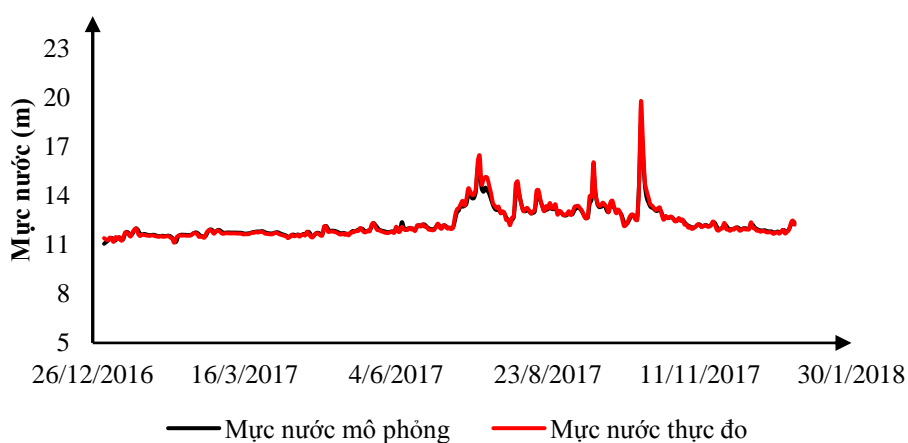
Kịch bản mô phỏng gồm 4 kịch bản được thiết lập: (1) Địa hình hiện trạng mùa lũ, (2) Địa hình sau khai thác mùa lũ, (3) Địa hình hiện trạng mùa kiệt, (4) Địa hình sau khai thác mùa kiệt. Các kịch bản này nhằm đánh giá tác động của khai thác cát đến tiêu thoát lũ, bồi xói và độ đục nước. Thời gian tính toán được dựa trên dữ liệu năm 2023, với giả định khai thác kéo dài 30 năm (cao độ nạo vét +5,0 đến +5,5 m).

3. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

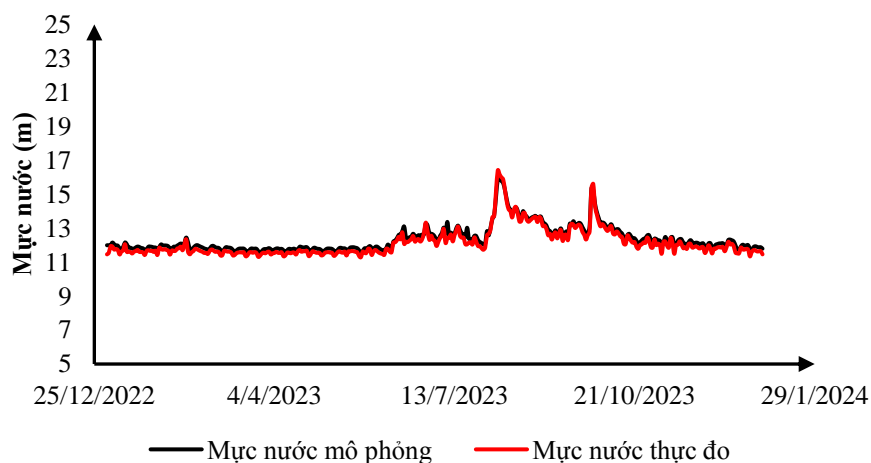
3.1. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình MIKE 11

Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình MIKE 11 cho mực nước Sông Mã giai đoạn độc lập từ 26/12/2016 đến 30/1/2018 được thể hiện tại hình 5 và hình 6 dưới đây.

Kết quả cho thấy đường quá trình mực nước mô phỏng bám sát với đường thực đo. Xét thấy, các mô hình đã mô phỏng khá tốt cả về giá trị và dao động mực nước trong hệ thống sông. Hiệu chỉnh và kiểm định cho thấy độ nhám Manning ($n = 0,033-0,029$) được điều chỉnh dựa trên số liệu mực nước thực đo tại trạm Cẩm Thủy trong các năm 2017 và 2023, đạt $E_f = 0,97$ và $R = 0,99$ (hiệu chỉnh) và $E_f = 0,91$, $R = 0,99$ (kiểm định).



Hình 5. Kết quả tính toán hiệu chỉnh mô hình



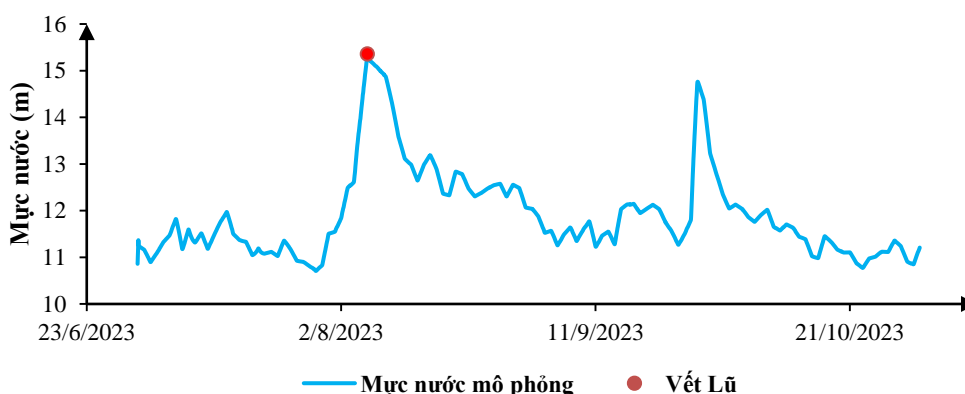
Hình 6. Kết quả tính toán kiểm định mô hình

3.2. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình MIKE 21

Do trong khu vực dự án không có trạm quan trắc chế độ thủy động lực nên nghiên cứu sử dụng số vết lũ điều tra khu vực dự án trong trận lũ tháng 8/2023 để hiệu chỉnh mô hình. Vết lũ thu được tại khu vực có cao độ +15,36m. Kết quả tính toán trận lũ tháng 8/2023 tại khu vực có cao độ lớn nhất là +15,25m, tương đối phù hợp với giá trị đo đạc thực địa. Bộ thông số thủy lực sử dụng trong mô hình đạt mức độ tin cậy tốt:

Độ nhám đáy sông: $M_{Is} = 32 \text{ (m}^{1/3}/\text{s)}$

Độ nhám khu vực bãi sông: $M_{bs} = 10 \text{ (m}^{1/3}/\text{s)}$



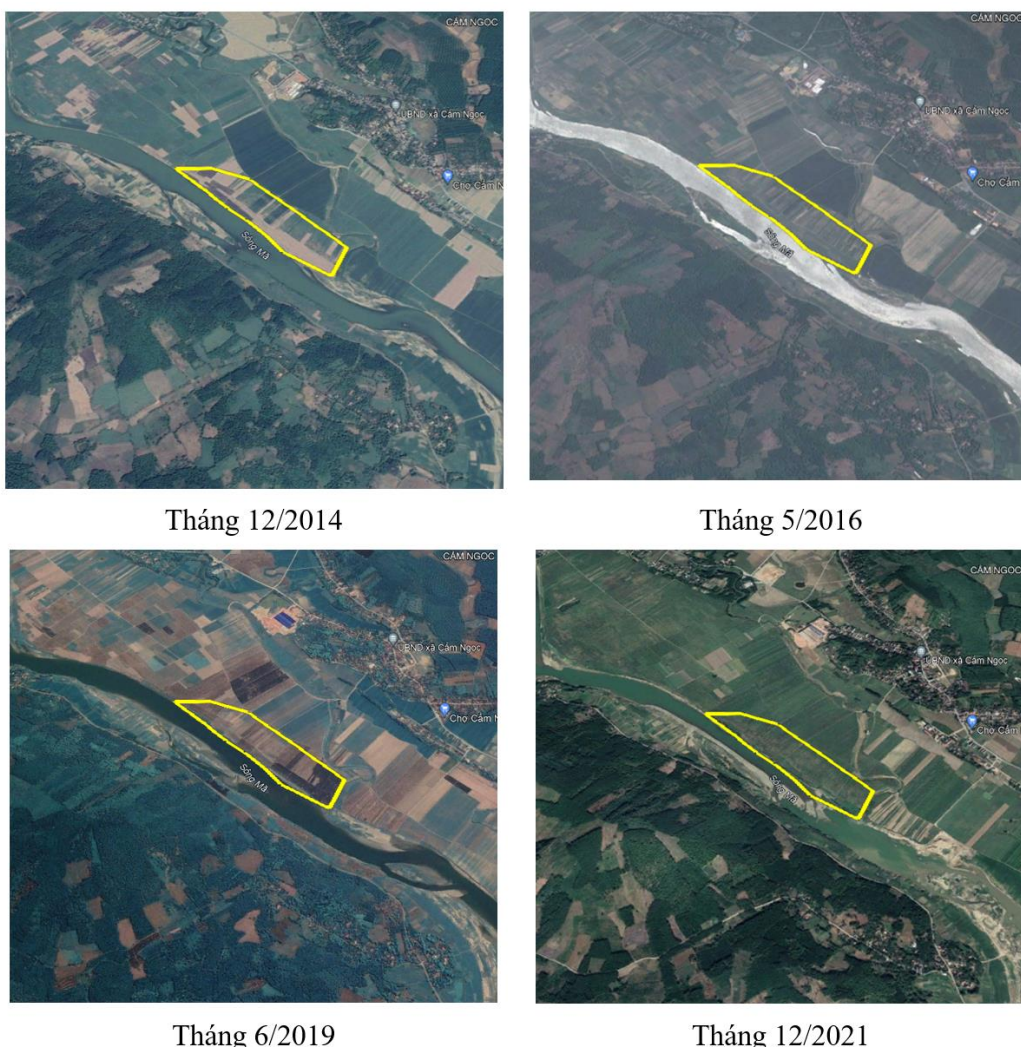
Hình 7. Diễn trình mực nước và vết lũ tại trận năm 2023

4. Kết quả đánh giá sự thay đổi chế độ thủy thạch động lực học lòng sông Mã do hoạt động của mỏ cát

4.1. Hiện trạng xói lở chung khu vực dự án tại xã Cẩm Ngọc

Xã Cẩm Ngọc (huyện Cẩm Thủy) duy trì tình trạng ổn định trước nguy cơ xói lở nhờ địa hình cao, nền địa chất bền vững và quản lý hiệu quả. Báo cáo năm 2023 của Phòng Tài nguyên và Môi trường huyện đánh giá khu vực này an toàn, không ghi nhận sạt lở đáng kể. Khảo sát của Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản (8/2022) cho thấy tốc độ xói lở chỉ 0,02-0,05m/năm, thấp hơn mức trung bình toàn huyện. Ngoài điều kiện tự nhiên thuận lợi, xã còn chủ động trồng cây chắn sóng, kiểm soát chặt khai thác cát, giúp duy trì sự ổn định bờ sông.

Khu vực khai thác thuộc địa phận xã Cẩm Ngọc, huyện Cẩm Thủy, tỉnh Thanh Hóa, bãi khai thác nằm lệch về phía bờ tả của sông Mã. Dựa trên dữ liệu ảnh viễn thám những năm gần đây (2014 - 2021) cho thấy hai bên bờ sông khu vực dự án khá ổn định, không có biến động nhiều. Đối diện khu vực dự án (phía bờ hữu) có cồn cát lớn làm cho một đoạn sông bị co hẹp. Các ảnh vệ tinh đều được chụp trong mùa kiệt, do đó cồn cát này được thể hiện rõ trong các ảnh vệ tinh năm 2014, 2016, 2019 và 2021 (Hình 8). Phía bên bờ tả của khu vực khai thác là đất nông nghiệp và các cụm dân cư, có địa hình tương đối bằng phẳng. Phía bờ hữu của khu vực khai thác là khu vực đồi thấp, địa hình dốc. Tuy nhiên, các chuyên gia cảnh báo rằng tình hình ổn định hiện tại không đồng nghĩa với việc Cẩm Ngọc hoàn toàn an toàn trong tương lai. Biến đổi khí hậu và các hoạt động phát triển kinh tế - xã hội trong khu vực vẫn có thể tác động đến tình trạng bờ sông trong dài hạn. Vì vậy, việc duy trì công tác giám sát, đánh giá định kỳ và thực hiện các biện pháp phòng ngừa vẫn là cần thiết để đảm bảo an toàn lâu dài cho cộng đồng dân cư ven sông tại Cẩm Ngọc.



Hình 8. Hình ảnh vệ tinh khu vực dự án năm 2014, 2016, 2019 và 2021
(nguồn Google Earth)

4.2. Đánh giá hoạt động khai thác đến khả năng tiêu thoát lũ và khả năng suy giảm mực nước mùa cạn

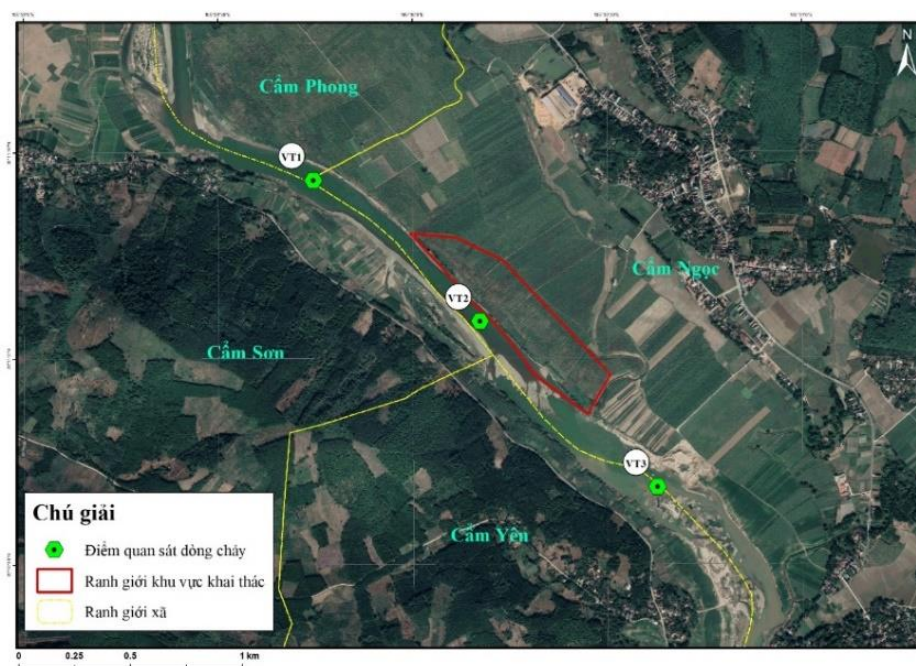
Việc khai thác sẽ làm thay đổi đường bờ và địa hình đáy sông khu vực, qua đó sẽ ảnh hưởng đáng kể tới chế độ dòng chảy trên sông. Nghiên cứu thiết lập 03 điểm quan sát mực nước, số liệu mực nước tại các vị trí này tại các thời điểm trước và sau khi vận hành trong mùa lũ và mùa kiệt sẽ cho biết ảnh hưởng từ dự án tới khả năng tiêu thoát lũ trên sông trong mùa lũ và nguy cơ suy giảm mực nước trong mùa cạn (Hình 9). Kết quả tính toán cho thấy, trong mùa lũ, mực nước tại vị trí VT1, cách dự án khoảng 1km về thượng lưu, trước khai khai thác lớn hơn sau khi khai thác. Trung bình, mực nước chênh lệch giữa hai kịch bản khoảng 0,16 m. Điều này gây ra bởi khi

mở cát được khai thác sẽ làm tăng khả năng lưu thông dòng chảy và dẫn đến suy giảm mực nước trong mùa lũ, từ đó, tăng khả năng tiêu thoát lũ tại khu vực thượng lưu dự án. Tương tự như xu thế tại VT1, Mực nước tại vị trí VT2, nằm tại khu vực Dự án, mực nước trước khi khai thác lớn hơn so với sau khi khai thác. Mực nước trung bình mùa lũ chênh lệch giữa kịch bản trước khi khai thác và sau khai thác khoảng 0,03-0,06 m. Bảng 1. Mực nước lớn nhất tại các vị trí quan sát trong mùa lũ

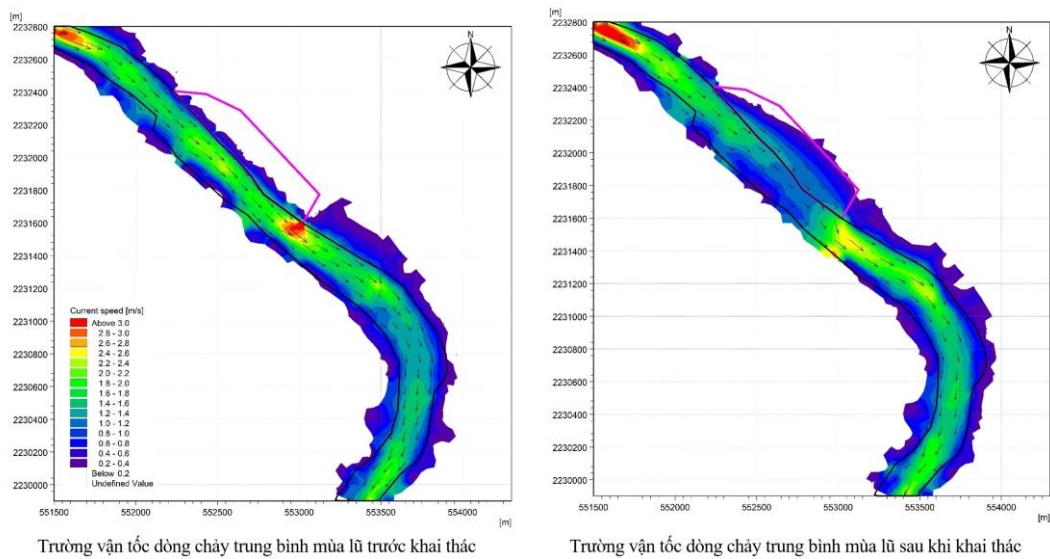
STT	Thời gian	Mực nước trung bình (m)		
		VT1	VT2	VT3
1	Trước khai thác	12,34	12,07	11,63
2	Kết thúc khai thác (30 năm)	12,18	12,04	11,57

Như vậy có thể kết luận, dự án đi vào hoạt động sẽ làm gia tăng khả năng tiêu thoát lũ tại khu vực thượng hạ lưu (mức độ hạ thấp mực nước chỉ khoảng 0,03 - 0,16 m).

Trường phân bố vận tốc dòng chảy trung bình trong mùa lũ trước và sau khi khai thác cho thấy, vận tốc dòng chảy có xu hướng lớn dần khi ra giữa lòng sông và giảm dần tại 2 bên bờ. Lưu tốc dòng chảy trung bình mùa lũ khu vực lòng sông lớn hơn 1,5 m/s (Hình 10). Trong quá trình khai thác, lưu tốc dòng chảy tại vùng khu vực khai thác nhỏ hơn so với trước khi khai thác do địa hình lòng dẫn dần hạ thấp và mở rộng. Các khu vực còn lại có phân bố vận tốc tương tự như trước khi khai thác.

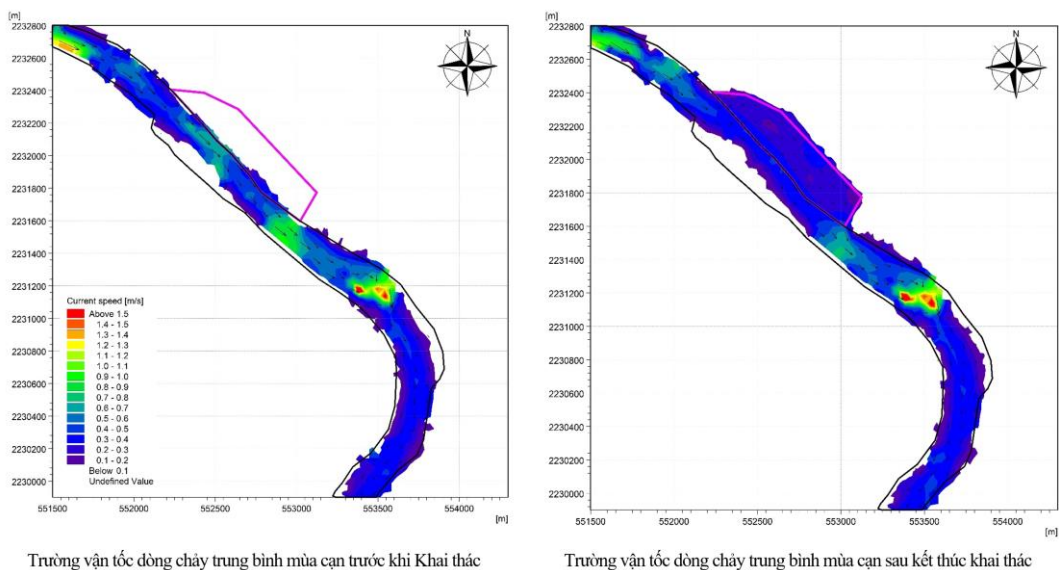


Hình 9. Vị trí các điểm trích xuất dữ liệu



Hình 10. Trường vận tốc dòng chảy trung bình mùa lũ

4.3. Đánh giá khả năng suy giảm mức nước mùa cạn



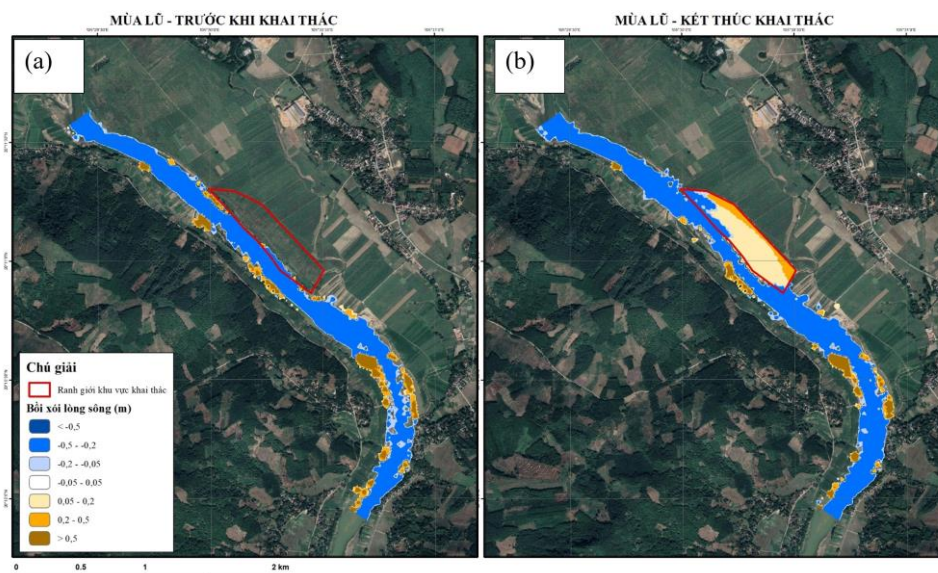
Hình 11. Trường vận tốc dòng chảy trung bình mùa cạn

Mức nước tại vị trí VT1 và VT2 sau khai thác đều giảm so với trước khai thác, trong đó VT1 có mức suy giảm mạnh hơn (0,12 m so với 0,03 m tại VT2). Nguyên nhân là do lòng sông bị hạ thấp và mở rộng, làm tăng khả năng tiêu thoát nước. Tuy nhiên, mức suy giảm này không đáng kể và không ảnh hưởng nhiều đến khả năng cấp nước. Tại VT3, mức nước gần như không thay đổi, cho thấy khai thác không tác động đáng kể đến cấp nước khu vực hạ lưu. Trong mùa cạn, tốc độ dòng chảy lớn nhất

tại giữa sông (trên 0,4 m/s) và giảm dần về hai bờ. Khu vực khai thác có vận tốc dòng chảy giảm do lòng sông bị hạ thấp, tạo điều kiện cho bùn cát lắng đọng. Tuy nhiên, do tác động của chế độ thủy lực và vận chuyển bùn cát, vùng trũng sau khai thác có xu hướng bồi lấp theo thời gian, giúp giảm thiểu ảnh hưởng đến dòng chảy trong mùa cạn.

4.4. Đánh giá khả năng bồi lắng, sạt lở bờ sông trong mùa lũ

Kết quả mô phỏng cho các kịch bản khai thác khác nhau cho thấy, trong điều kiện hiện trạng vào mùa lũ, lưu lượng dòng chảy lớn kết hợp với nồng độ bùn cát cao gây ra hiện tượng bồi lấp nhẹ tại một số khu vực thuộc bờ hữu đối diện dự án, với mức bồi trung bình từ 0,2 - 0,5 m, có nơi vượt 1,01 m khi xuất hiện lũ lớn. Hiện tượng bồi lấp mạnh nhất xảy ra tại đoạn sông cong ở hạ lưu dự án (khoảng 900 m), với mức bồi từ 0,2 - 0,8 m, hình thành các cồn cát và sỏi. Xu hướng này phù hợp với diễn biến quan sát trong những năm gần đây.



Hình 12. Bản đồ bồi xói sông mùa lũ

Sau khi tiến khai dự án, xu hướng bồi lấp vẫn tiếp tục, đặc biệt tại khu vực khai thác với mức bồi từ +0,1 đến +0,46 m trong mùa lũ do quá trình nạo vét và mở rộng lòng dẫn tạo điều kiện cho sự cân bằng bùn cát. Khu vực xói chủ yếu tập trung ở lòng sông, với độ sâu xói từ -0,2 đến -0,5 m, khiến lòng sông có xu hướng mở rộng về phía dự án. Ngoài ra, ven bờ thượng lưu và khu vực dự án bị xói khoảng -0,3m, trong khi hai bên bờ sông hạ lưu, cách dự án khoảng 400 m, cũng ghi nhận mức xói tương tự. Những khu vực này có độ dốc lớn và thảm thực vật thưa thớt, làm tăng nguy cơ xói lở. Trong mùa kiệt hàng năm ước tính cân bằng bồi xói tại khu vực là +12.386,71 m³.

5. Kết luận

Nghiên cứu đặt mục tiêu đánh giá diễn biến thủy động lực và bồi xói tại mỏ cát Cẩm Ngọc, Sông Mã, xã Cẩm Thủy, Thanh Hóa, để làm rõ tác động của khai thác cát lên chế độ dòng chảy, sự thay đổi địa hình lòng sông và hệ sinh thái, từ đó đề xuất giải pháp quản lý bền vững. Phương pháp nghiên cứu tích hợp bộ mô hình MIKE NAM, MIKE 11 và MIKE 21, dựa trên dữ liệu địa hình chi tiết (tỷ lệ 1:500-1:10.000), số liệu thủy văn từ các trạm Cẩm Thủy, Hồi Xuân, Lý Nhân (2000-2023), và khảo sát thực địa (61 mặt cắt ngang, trầm tích D50 = 0,315 mm). Các mô hình được hiệu chỉnh và kiểm định kỹ lưỡng, đạt độ tin cậy cao: MIKE NAM (E_f , $R > 0,9$) tái hiện chính xác quá trình mưa - dòng chảy cho lưu vực 1.342 km² giữa Hồi Xuân và Lý Nhân; MIKE 11 ($E_f = 0,97$, $R = 0,99$ khi hiệu chỉnh; $E_f = 0,91$, $R = 0,99$ khi kiểm định) mô phỏng mực nước và lưu lượng trên đoạn sông 110 km; MIKE 21 (vết lũ 8/2023: tính toán +15,25 m, thực đo +15,36 m) phân tích chi tiết thủy lực 2 chiều và bồi xói trên đoạn 4 km quanh mỏ cát.

Kết quả mô phỏng 4 kịch bản (hiện trạng và sau 30 năm khai thác, mùa lũ/kiệt) cho thấy khai thác cát làm tăng khả năng tiêu thoát lũ, với mực nước giảm 0,03-0,16 m tại thượng lưu (VT1, cách dự án 1 km), 0,03-0,06 m tại khu vực khai thác (VT2), và 0,06 m tại hạ lưu (VT3, cách 400 m). Vận tốc dòng chảy giảm đáng kể: mùa lũ từ $>1,5$ m/s xuống thấp hơn tại khu vực khai thác do lòng sông mở rộng, mùa kiệt từ $>0,4$ m/s giảm nhẹ, tạo điều kiện bồi lắng. Hiện tượng bồi lấp ghi nhận mức +0,1 đến +0,46 m tại khu khai thác, +0,2 đến +0,8 m tại hạ lưu (đặc biệt đoạn cong 900 m), với cồn cát hình thành rõ rệt; trong khi xói lòng sông đạt -0,2 đến -0,5 m, và xói bờ khoảng -0,3 m tại thượng lưu và hai bên bờ hạ lưu do độ dốc lớn và thảm thực vật thưa thớt. Mùa kiệt, cân bằng bồi xói ước tính +12.386,71 m³, cho thấy xu hướng bồi lấp dần vùng trũng sau khai thác.

Nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học vững chắc, có khả năng ứng dụng thực tiễn trong quản lý khai thác cát, giảm thiểu tác động môi trường, bảo vệ cộng đồng ven sông và thúc đẩy phát triển bền vững. Hướng nghiên cứu tiếp theo nên mở rộng phạm vi mô phỏng, tích hợp biến đổi khí hậu, hoạt động thượng nguồn và dữ liệu dài hạn để dự báo chính xác hơn, đồng thời áp dụng kết quả cho các khu vực khai thác khác trên sông Mã hoặc lưu vực tương tự, hỗ trợ xây dựng chính sách quản lý tài nguyên hiệu quả.

Tài liệu tham khảo

1. Bui, M. D., Kummu, M., & Rasanen, T. A. (2018). Sustainable management of river sand resources in Vietnam: A case study of the Mekong Delta. *Journal of Environmental Management*, 223, 456-465. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.06.045>.

2. DHI. (2021). MIKE by DHI: User manual for MIKE NAM, MIKE 11, and MIKE 21. Danish Hydraulic Institute.
3. Hackney, C. R., Darby, S. E., Parsons, D. R., Leyland, J., Best, J. L., Aalto, R., ... & Houseago, R. C. (2020). River bank instability from unsustainable sand mining in the lower Mekong River. *Nature Sustainability*, 3, 217-225. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0455-6>.
4. Lê Thị Thường (2021). Nghiên cứu tính toán phân vùng hạn - mặn vùng đồng bằng ven biển Sông Mã trong điều kiện biến đổi khí hậu. Tập. 699 SỐ. 03 (2019): Tạp chí Khí tượng Thủy văn.
5. Nguyen, V. L., Ta, T. K. O., & Tateishi, M. (2021). Impacts of sand mining on river morphology and ecosystems in Vietnam. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(12), 14567-14578. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11892-5>.
6. Park, E., Ho, H. L., Tran, D. D., & Yang, X. (2022). Recent intensification of riverbed mining in the Mekong Delta revealed by extensive bathymetric surveying. *Science of the Total Environment*, 806, 150521. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150521>.
7. Tran, D. D., Nguyen, T. T., Hoang, L. P., & Park, E. (2023). Uncovering the lack of awareness of sand mining impacts on riverbank erosion among Mekong Delta residents: Insights from a comprehensive survey. *Scientific Reports*, 13, 15323. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42405-6>.
8. Vietnam Meteorological and Hydrological Administration. (2023). Hydrological data report for Ma River Basin (2000-2023). Ministry of Natural Resources and Environment, Vietnam.
9. Vo, N. D., & Gourbesville, P. (2016). Application of deterministic distributed hydrological model for large catchment-a case study at Vu Gia-Thu Bon catchment-Vietnam. *Journal of Hydroinformatics*, 18(6), 885-899. <https://doi.org/10.2166/hydro.2016.062>.

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC TỰ NHIÊN VÀ CÔNG NGHỆ

Nhà A16 - Số 18 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội

Điện thoại: Phòng Phát hành: **024.22149040**;

Phòng Biên tập: **024.37917148**;

Phòng Quản lý Tổng hợp: **024.22149041**;

Fax: **024.37910147**; Email: **nxb@vap.ac.vn**; Website: **www.vap.ac.vn**

ĐỊA CHẤT VÀ KHOÁNG SẢN

TẬP 12

KỶ NIỆM 60 NĂM THÀNH LẬP

VIỆN KHOA HỌC ĐỊA CHẤT VÀ KHOÁNG SẢN

(15/5/1965 - 15/5/2025)

Bộ Nông nghiệp và Môi trường

Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản

Chịu trách nhiệm xuất bản

Giám đốc, Tổng biên tập

PHẠM THỊ HIẾU

Biên tập: **Hà Thị Thu Trang**

Trình bày kỹ thuật: **Đỗ Thị Hồng Ngân**

Trình bày bìa: **Đỗ Thị Hồng Ngân**

Liên kết xuất bản:

Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản

Địa chỉ: 67 đường Chiến Thắng, phường Văn Quán, Hà Đông, Hà Nội

ISBN: 978-604-357-374-9

In 300 cuốn, khổ 19×27 cm, tại Công ty Cổ phần Khoa học và Công nghệ Hoàng Quốc Việt. Địa chỉ: Số 11 ngách 1, ngõ 1 Võ Chí Công, P. Nghĩa Đô, Q. Cầu Giấy, Hà Nội. Số xác nhận đăng ký xuất bản: 1447-2025/CXBIPH/01-16/KHTNVCN. Số quyết định xuất bản: 20/QĐ-KHTNCN, cấp ngày 07 tháng 5 năm 2025. In xong và nộp lưu chiểu quý II năm 2025.