

NGHIÊN CỨU DỰ BÁO BIẾN ĐỘNG LÒNG DẪN HẠ DU HỆ THỐNG SÔNG MÃ DO ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THỦY ĐIỆN THƯỢNG NGUỒN

PGS.TS. Nguyễn Thanh Hùng, Vũ Đình Cường, Nguyễn Thu Huyền
Phòng Thí nghiệm TDQG về ĐLHSB, viện KH Thủy lợi Việt Nam

Tóm tắt: Các công trình hồ thủy điện trên thượng nguồn hệ thống sông Mã lần lượt được xây dựng đã và đang có ảnh hưởng tới hạ du sau một số năm vận hành. Hiện tượng xói phổ biến gây hạ thấp lòng dẫn hệ thống sông đã xuất hiện. Nghiên cứu này trình bày một số kết quả tính toán dự báo diễn biến lòng dẫn, xói phổ biến lan truyền xuống hạ du và biến động quan hệ Q - H do sự hạ thấp lòng dẫn. Kết quả tính toán ở nghiên cứu này có thể sử dụng để đề xuất các giải pháp khắc phục, giảm thiểu các tác động bất lợi của thủy điện cho khu vực hạ du hệ thống sông Mã.

Từ khóa: Diễn biến lòng dẫn, ảnh hưởng của hồ thủy điện, sông Mã

Abstract: The hydro-electric reservoirs in upstream of Ma river system have been built and having impacts to downstream river system after some years of operation. As a result, channel changes have made river bed system lower. This study focuses on results of changes in river bed prediction, spread to downstream of erosion process and related change of Q - H relation due to lowering process. The study results can be a basis for proposing solutions to minimize the adverse impacts of hydropower for downstream Ma river system.

Key words: River morphological changes, impact of hydro-electric reservoir, Ma river.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Khi xây dựng đập ngăn sông tạo hồ chứa nước cho mục đích thủy điện hoặc cấp nước sẽ làm chế độ thủy lực, thủy văn và lòng dẫn của thượng và hạ lưu đập có những thay đổi căn bản. Ở vùng thượng lưu đập dâng sẽ hình thành một hồ trữ nước lớn và được điều tiết theo chế độ vận hành của nhà máy thủy điện. Ở đó mực nước dâng cao, diện tích, dung tích tăng lên và tốc độ dòng chảy giảm nhỏ làm cho bùn cát của sông lắng đọng lại trong hồ chứa. Do bùn cát được giữ lại trong lòng hồ dẫn đến mất cân bằng bùn cát ở đoạn sông hạ du. Sự mất cân bằng giữa khả năng tải cát của dòng nước (S_t) với lượng chuyển cát thực tế của dòng sông hạ lưu S_0 , với S_t luôn lớn hơn

S_0 ($S_t > S_0$). Vì thế dòng chảy luôn đối bùn cát sẽ đào xói lòng dẫn hạ lưu để lấy lại trạng thái cân bằng vận chuyển bùn cát. Cũng vì vậy lòng dẫn sông bị hạ thấp. Quá trình xói lòng dẫn như trên gọi là xói phổ biến hạ du công trình thủy điện. Xói phổ biến kéo dài theo thời gian và lan truyền theo không gian về phía hạ lưu cho tới giai đoạn ổn định. Số liệu thực tế cho thấy mức độ hạ thấp lòng sông từ 0.4-0.5m ở năm đầu thủy điện Tuyên Quang vận hành và kéo theo sụt, sụt lở bờ. Mức độ xói sâu lòng dẫn ở thủy điện này được dự đoán tới 5-7 m sau 10-20 năm (Nguyễn Ngọc Quỳnh và nnk, 2010). Đối với nhà máy thủy điện Hoà Bình, xói cục bộ trong thời gian đầu vận hành (khoảng 8-9 năm đầu) diễn ra rất ác liệt đã ảnh hưởng rất lớn tới khu vực hạ lưu sát đập và thị xã Hoà Bình. Ở sau khu vực tiêu năng lòng sông đã bị xói sâu tới 12m, có chỗ 15 m (Nguyễn Văn Toán, 2000). Hiện tượng xói phổ biến lan truyền ở hạ du các đập thủy điện ở các

Người phản biện: PGS.TS. Nguyễn Ngọc Quỳnh
Ngày nhận bài: 21/8/2015
Ngày thông qua phản biện: 6/10/2015
Ngày duyệt đăng: 15/12/2015

sông trên thế giới cũng được phân tích qua tổng kết ở nghiên cứu của Trần Xuân Thái và nnk, 2005.

Nghiên cứu này tập trung vào dự báo biến động lòng sông ở hạ lưu với thay đổi đầu vào của dòng chảy và bùn cát qua các đập thủy điện thượng nguồn hệ thống sông Mã tỉnh Thanh Hóa. Mục tiêu của nghiên cứu gồm:

(1) Xác định xu hướng biến đổi lòng dẫn theo không gian và thời gian trước và sau khi xây dựng đập, trọng tâm là biến đổi chế độ thủy văn và bùn cát, dẫn đến sự thay đổi vật liệu đáy, độ cao đáy, độ rộng lòng dẫn.

(2) Sử dụng mô hình toán để dự đoán biến đổi lòng dẫn trong tương lai (5, 10 và 20 năm sau) và đặc biệt là mức hạ thấp đáy lòng sông.

Về tình hình biến đổi chế độ thủy văn và bùn cát trên hệ thống sông Mã từ khi các hồ chứa vận hành đã được thảo luận trong nghiên cứu của Nguyễn Thanh Hùng và nnk, 2015. Bài báo này tiếp tục phân tích và dự báo độ hạ thấp lòng dẫn đáy sông Mã và các điều kiện thủy lực khác liên quan do ảnh hưởng của các thủy điện thượng nguồn.

2. TÀI LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

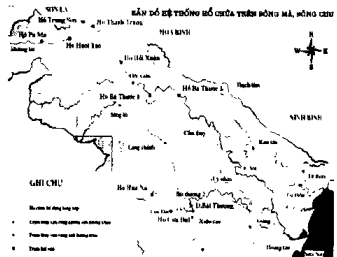
2.1. Giới thiệu lưu vực sông Mã và các công trình thủy điện thượng nguồn

Hệ thống sông Mã gồm dòng chính là sông Mã và 2 phụ lưu lớn là sông Chu, sông Bưởi. Hệ thống sông này có tổng chiều dài là 881 km, tổng diện tích lưu vực là 39.756 km², trong đó có 17.520 km² nằm trong lãnh thổ Việt Nam. Các phụ lưu lớn của sông Mã là sông Chu, sông Bưởi, sông Cầu Chày đều hợp lưu với sông Mã trên địa phận Thanh Hóa. Hệ thống sông Mã đổ ra vịnh Bắc Bộ theo 3 nhánh sông chính: sông Mã (nhánh chính phía Nam) và sông Lèn (nhánh chính phía Bắc) và nhánh nhỏ là sông Lạch Trường.

Các hồ thủy điện trên lưu vực sông Mã

Quy hoạch bậc thang thủy điện trên lưu vực sông Mã có 7 công trình thủy điện lợi dụng tổng hợp trên dòng chính sông Mã và 2 công trình trên sông Chu (theo Quyết định số 2383/QĐ-BCT năm 2008 và Quyết định số 1588/QĐ-TTg).

Tuy nhiên cho đến nay mới chỉ có 4 hồ thủy điện tham gia điều tiết: thủy điện Cửa Đạt và Hòa Na trên sông Chu, thủy điện Bá Thước 1 và Bá Thước 2 trên sông Mã, trong đó chủ yếu là thủy điện Hòa Na và thủy điện Cửa Đạt (hoàn thành và đi vào vận hành từ năm 2010), các thủy điện Bá Thước 1 và Bá Thước 2 là các thủy điện cột nước thấp, hồ chứa có dung tích nhỏ dẫn đến dòng chảy được tháo qua đập gần như toàn bộ. Thủy điện Trung Sơn là công trình thủy điện lớn đã được chặn dòng thi công từ năm 2011 và đang trong quá trình hoàn thiện.



Hình 1. Sơ đồ các hồ chứa và trạm thủy văn trên hệ thống sông Mã

Đặc điểm lòng dẫn hạ du sông Mã

Lòng dẫn hạ du hệ thống sông Mã từ sau thủy điện Cửa Đạt và Bá Thước biến đổi rất phức tạp:

Sông Mã từ Bá Thước đến cửa biển dài khoảng 94 km, được chia thành 4 phân đoạn:

+ Đoạn từ Bá Thước đến Cẩm Thủy: sông chảy giữa hai bên là núi cao, lòng sông dốc có nhiều bãi cạn và cuội sỏi.

+ Đoạn từ Cẩm Thủy đến nhập lưu sông Bưởi sông đã bắt đầu có đê, lòng sông cong gấp ở nhiều vị trí, có nhiều bãi cạn và chủ yếu là sỏi lẫn cát thô.

+ Đoạn từ nhập lưu sông Bưởi đến ngã ba Bông lòng sông chủ yếu là cát thô lẫn sỏi.

+ Đoạn từ ngã ba Bông xuôi về hạ lưu lòng sông chủ yếu là cát hạt trung và mịn, khu vực gần cửa sông có lẫn bùn.

Sông Chu từ Cửa Đạt đến Giăng dài khoảng 80km, trên tuyến sông có nhiều ghềnh cạn có cấu tạo là đá gốc hoặc đá cuội kích thước lớn, được chia thành 3 phân đoạn:

+ Đoạn từ Cửa Đạt đến đập dâng Bái Thượng có 5 ghềnh cạn, sông chảy giữa hai bên là đồi núi thấp, lòng sông chủ yếu là đá cuội kích thước lớn và đá gồ.

+ Đoạn từ hạ lưu đập Bái Thượng đến TT. Thọ Xuân (cầu Hạnh Phúc) có 4 ghềnh cạn, sông bắt đầu có đê, lòng sông chủ yếu là cuội sỏi pha lẫn cát hạt thô.

+ Đoạn từ TT. Thọ Xuân đến ngã ba Giăng có 1 ghềnh cạn, lòng sông chủ yếu là sỏi nhỏ và cát hạt thô pha lẫn cát hạt trung và mịn.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu đã sử dụng phương pháp mô hình toán để tính toán mô phỏng và dự báo xu thế biến động lòng dẫn hạ du sông Mã dưới ảnh hưởng của hệ thống hồ thủy điện thượng nguồn.

Lựa chọn mô hình toán

Để mô phỏng chế độ thủy lực, vận chuyển bùn cát và biến động lòng dẫn hạ du sông Mã dưới ảnh hưởng của hệ thống hồ chứa thượng nguồn, nghiên cứu này đã sử dụng mô hình MIKE 11 với mô đun ST để dự báo mức độ xói lở, bồi lắng lòng dẫn hạ du hệ thống sông Mã.

Thiết lập mô hình MIKE11

Mạng sông đưa vào tính toán thủy lực bao gồm toàn bộ dòng chính và các phụ lưu chính

của vùng trung, hạ du trong lưu vực sông Mã, giới hạn phạm vi cụ thể như sau:

Biên trên- Biên lưu lượng

Sông Chu: $Q \sim t$ tại Cửa Đạt;

Sông Mã: $Q \sim t$ tại Cẩm Thủy;

Sông Bưởi: $Q \sim t$ tại Thạch Lâm;

Sông Âm: $Q \sim t$ tại Lang Chánh.

Các biên nhập lưu khu giữa

Nhập lưu sông Bưởi: 6 nhập lưu;

Nhập lưu sông Mã: 3 nhập lưu;

Nhập lưu sông Chu: 3 nhập lưu.

Các công trình lấy nước

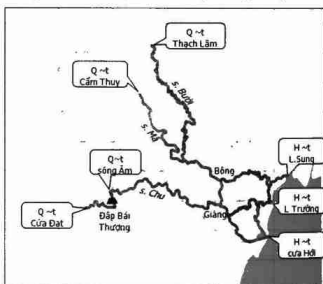
Các cống, trạm bơm trên hệ thống sông.

Biên dưới- Biên mực nước:

Sông Lạch Trường: $H \sim t$ cửa Lạch Trường

Sông Lèn: $H \sim t$ tại cửa Lạch Sung;

Sông Mã: $H \sim t$ tại cửa Hới (Hoàng Tân).



Hình 2. Sơ đồ mô hình thủy lực hệ thống sông Mã

• Biên bùn cát

Được thiết lập đồng bộ tại các vị trí biên thủy lực, sử dụng 2 dạng biên: vận chuyển bùn cát (Sediment transport) cho các biên có tài liệu thực đo tại Cẩm Thủy và Cửa Đạt (bùn cát tại Cửa Đạt lấy số liệu tại Xuân Khánh) và biên

cân bằng bùn cát (Sediment Supply) cho các biên còn lại không có tài liệu thực đo.

Tài liệu phục vụ nghiên cứu

Tài liệu địa hình

Số liệu địa hình trong nghiên cứu gồm 377 mặt cắt ngang hệ thống sông. Các số liệu này do Cục Quản lý đê điều và Phòng chống lụt bão đo đạc trong các năm từ 2008-2013. Số lượng mặt cắt cụ thể cho mỗi sông như sau: s. Mã 91 mặt cắt, s. Bưởi 46 mặt cắt, s. Chu 60 mặt cắt, s. Lèn 75 mặt cắt, kênh De 16 mặt cắt, s. Lạch Trường 39 mặt cắt, s. Gòlong 5 mặt cắt.

Tài liệu bùn cát, địa chất lòng sông

Bùn cát: sử dụng các số liệu bùn cát lơ lửng thực đo tại một số điểm trên hệ thống sông Mã trong mùa lũ tháng 10/2014 để hiệu chỉnh và số liệu đo trong mùa kiệt tháng 5/2014. Kiểm định mô hình vận chuyển bùn cát đã ước tính lượng bùn cát di đầy đáy bằng 20% lượng bùn cát lơ lửng (từ kinh nghiệm của các nghiên cứu đã công bố).

Địa chất lòng sông: sử dụng số liệu thực đo đường kính hạt cát đáy trung bình D_{50} (Global) cho cả mạng sông là 0,2 mm, cục bộ các đoạn sông chỉ tiết lấy từ số liệu thực đo mẫu bùn cát đáy; chiều dày lớp đáy sông có thể xói xác định theo số liệu các hố khoan địa chất lòng sông (58 hố khoan dọc hệ thống sông Mã từ thượng nguồn về hạ du với khoảng cách 3-5km/hố khoan, sâu 3-5m tại đáy sông).

Tài liệu thủy văn

Tài liệu lưu lượng (Q), mực nước (H) thực đo mùa kiệt vào tháng 5/2014 và tài liệu Q, H của trận lũ lịch sử 10/2007 được dùng để hiệu chỉnh mô hình thủy lực.

Tài liệu Q, H thực đo mùa lũ 10/2014 và tài liệu Q, H trung bình ngày từ 2008-2012 được dùng để kiểm định mô hình thủy lực.

Phân tích, xử lý tài liệu phục vụ tính toán biến động lòng dẫn hạ du sông Mã

Tài liệu dòng chảy

Nghiên cứu đã sử dụng phương pháp năm đại biểu thủy văn để tính lưu lượng dòng chảy hạ du hệ thống sông Mã.

+ Lưu lượng tại Cửa Đạt sông Chu

Xác định năm thủy văn đại biểu từ chuỗi số liệu lưu lượng trung bình ngày trong 32 năm (1981-2013) tại trạm Cửa Đạt. Kết quả phân tích đã chọn được năm thủy văn đại biểu là năm 2000-2001 (từ 07/2000-06/2001) vì năm này có lưu lượng trung bình năm $Q=130\text{m}^3/\text{s}$ xấp xỉ lưu lượng trung bình nhiều năm, tương ứng với tần suất khoảng 50% trên đường tần suất lý luận.

+ Lưu lượng tại Cẩm Thủy sông Mã

Tương tự như phân tích ở trên đối với sông Chu, sông Mã có trạm thủy văn Cẩm Thủy có tài liệu lưu lượng từ năm 1959-1976, 1995-2013. Kết quả phân tích lựa chọn năm thủy văn 2000-2001 (từ 07/2000-06/2001) là năm đại biểu vì có lưu lượng trung bình nhiều năm $Q = 417\text{m}^3/\text{s}$ xấp xỉ lưu lượng trung bình nhiều năm và lưu lượng này có tần suất lặp lại khoảng 50% (hình 3).

+ Lưu lượng các nhập lưu và lấy nước trên hệ thống

- Lưu lượng các nhập lưu khu giữa và các nhánh sông được lấy tương ứng theo năm đại biểu 2000-2001. Do không có số liệu thực đo nên các giá trị lưu lượng nhập lưu được tính toán từ mô hình mưa- dòng chảy MIKE NAM đã được hiệu chỉnh kiểm định đảm bảo độ phù hợp tốt.

- Lưu lượng lấy nước trên hệ thống: tổng số 21 cụm công trình lấy nước là các trạm bơm, cửa lấy nước được đưa vào mô hình tính toán dưới dạng nguồn điểm. Lưu lượng lấy nước được tính cho thời điểm hiện tại và tính theo phương án phát triển kinh tế xã hội của lưu vực đến năm 2020.

+ Mực nước biên dưới tại các cửa sông: sử dụng số liệu mực nước giờ thực đo tại trạm Hoàng Tân năm đại biểu là 2000-2001; các cửa sông khác tính từ mô hình 2 chiều toàn biên Đông.

Tài liệu về thác, ghềnh, đứ gốc

Từ kết quả điều tra khảo sát thực địa đã xác định được các ghềnh, thác trên hệ thống sông Mã. Đặc biệt trên tuyến sông Chu đoạn từ Cửa Đạt đến thượng lưu đập Bái Thượng, lòng sông ở đây chủ yếu là đá gốc, lòng sông đoạn này không có khả năng xảy ra xói và được mặc định là giá trị xói tối hạn.

Tính toán lượng bùn cát ra khỏi hồ chứa tháo xuống hạ du

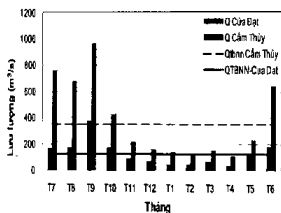
Để tính toán dự báo biến động lòng dẫn hệ thống sông trong tương lai do ảnh hưởng của hồ thượng nguồn, nghiên cứu đã xác định năm

bùn cát điển hình và hệ số xả bùn cát ra khỏi hồ, từ đó tính được lưu lượng bùn cát xả xuống hạ du.

+ Xác định năm điển hình bùn cát:

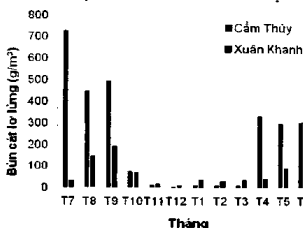
Số liệu thực đo bùn cát trung bình ngày trên sông Mã chỉ có tại Cẩm Thủy giai đoạn 1959-1976, 2004-2009 và trên sông Chu chỉ có tại Xuân Khánh giai đoạn 1965-1981. Từ chuỗi số liệu bùn cát trung bình ngày tại hai trạm đã xác định được năm đại biểu bùn cát tại Cẩm Thủy là năm 2009 và tại Xuân Khánh là năm 1975 gần với giá trị trung bình nhiều năm từ chuỗi số liệu đo đạc (hình 4).

Lưu lượng năm đại biểu tại Cửa Đạt và Cẩm Thủy
(năm 2000-2001)



Hình 3. Lưu lượng năm thủy văn đại biểu tại Cẩm Thủy và Cửa Đạt

Hàm lượng bùn cát lơ lửng năm đại
biểu trạm Xuân Khánh và Cẩm Thủy



Hình 4. Hàm lượng bùn cát lơ lửng năm đại biểu tại Cẩm Thủy và Xuân Khánh

+ Xác định lưu lượng bùn cát xuống hạ du:

Tỷ lệ bùn cát xả từ hồ xuống hạ du/giữ lại hồ được xác định theo phương pháp Brown (Brown, 1944). Phương pháp Brown tính hệ số bồi lắng Te của hồ theo công thức sau:

$$Te = 100 \left(1 - \frac{1}{0.0021 \frac{kT}{W}} \right)$$

Trong đó:

V là dung tích hồ ở mực nước dâng cao nhất (m^3);

W là diện tích lưu vực của hồ (km^2);

k là hệ số phụ thuộc vào đặc trưng kích thước hạt bùn cát tại hồ. Đối với mỗi hồ, k thường được xác định bằng thực nghiệm trên cơ sở các chuỗi số liệu quan trắc. Hệ số k dao động từ 0.046 đến 1.0, tăng dần theo độ thô của bùn cát tại hồ.

Kết quả xác định được hệ số k trong phương pháp Brown đối với hồ Trung Sơn là 0.18 và hồ Hủa Na là 0.046 bằng phương pháp mô phỏng sử dụng mô hình SWAT (Hà Ngọc Hiến, 2014). Hồ Cửa Đạt là bậc thang dưới của hồ Hủa Na, dòng chảy bùn cát đến hồ chủ yếu là từ hồ Hủa Na gồm các hạt mịn lơ lửng vì vậy có thể giả thiết dòng

chảy bùn cát đi qua hồ Cửa Đạt và hồ Hòa Na là như nhau. Trên cơ sở phân trăm bùn cát (T_e) bị giữ lại hồ, phân trăm lượng bùn cát ra khỏi hệ thống hồ trên các tuyến sông được tính ra và trình bày trên Bảng 1.

Bảng 1. Tỷ lệ bùn cát xả xuống hạ du từ hồ Cửa Đạt (s.Chu) và Trung Sơn (s.Mã)

Thời gian vận hành hồ (năm)	Cửa Đạt (%)	Trung Sơn (%)
1	10.53	9.61
5	10.59	9.84
10	10.65	10.15
15	10.72	10.49
20	10.80	10.84
50	11.24	13.59

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

4.1. Kết quả hiệu chỉnh, kiểm định mô hình MIKE11

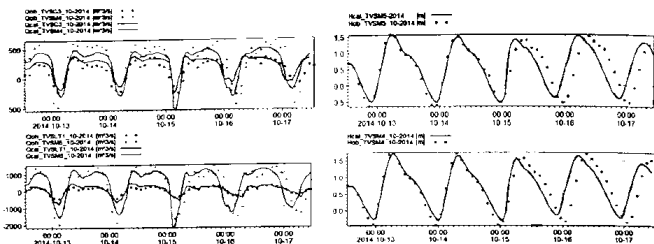
Kết quả tính toán hiệu chỉnh mô hình MIKE11 với số liệu thực đo trong mùa lũ tháng 10/2014 tại 7 trạm trên toàn hệ thống, kiểm định với số liệu trận lũ lịch sử năm 2007 và với chuỗi số liệu trung bình ngày 2008-2012 cho thấy giá trị mực nước đỉnh lũ và đường quá trình lũ tính toán khá phù hợp với giá trị thực đo. Chênh lệch mực nước giữa tính toán và thực đo ở các trạm dao động trong khoảng 20 cm (hình 5, hình 6). Chỉ số đánh giá sai số NASH tại các điểm so sánh đều cho kết quả tốt (Bảng 2, Bảng 3). Như vậy bộ thông số sử dụng trong mô hình là phù hợp, có đủ độ tin cậy để sử dụng mô hình vào tính toán mô phỏng dòng với các kịch bản.

Bảng 2. Kết quả hiệu chỉnh mô hình với đợt đo 10-15/5/2014

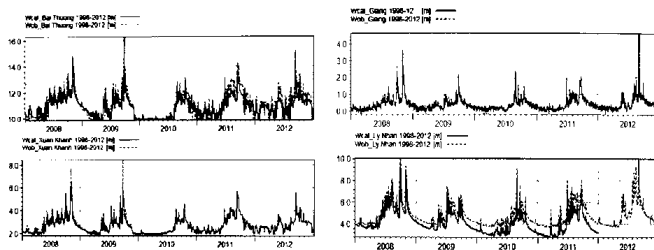
Vị trí trạm đo	Yếu tố đo	Đơn vị	Sông	Trị số đỉnh		Chênh lệch đỉnh	Chỉ số Nash
				Thực đo	Tính toán		
Ngã ba s.Bưởi- s.Mã	H	m	Mã	2.50	2.45	0.05	0.64
Ngã ba s.Chu- s.Mã	H	m	Mã	1.21	1.10	0.11	0.90
Cửa sông Mã	H	m	Mã	1.07	0.92	0.15	0.97
Ngã ba s.Bưởi- s.Mã	Q	m ³ /s	Mã	124	105	19.8	0.92
Ngã ba s.Chu- s.Mã	Q	m ³ /s	Chu	263	360	96.7	0.81
Sông Bưởi vào sông Mã	Q	m ³ /s	Bưởi	46.4	47.2	0.75	0.99
Cửa sông Lạch Trường	Q	m ³ /s	L.Trường	311	366	54.0	0.68

Bảng 3. Kết quả kiểm định mô hình với trận lũ lịch sử 10/2007

Vị trí trạm đo	Sông	Mực nước thực đo (m)	Mực nước tính toán (m)	Sai số đỉnh lũ (%)	Chỉ số Nash
Cầm Thủy	Mã	21.87	21.60	1.2	0.98
Lý Nhân	Mã	13.24	13.54	2.2	0.98
Bái Thượng	Chu	20.64	20.80	0.8	0.96
Giàng	Mã	7.28	7.60	4.3	0.71
Cụ Thôn	Lèn	5.65	5.86	3.5	0.98
Kim Tân	Bưởi	14.25	14.46	1.4	0.90
Xuân Khánh	Chu	12.61	12.90	2.2	0.90



Hình 5. Kết quả hiệu chỉnh mô hình với đợt đo 12-17/10/2014



Hình 6. Kết quả kiểm định mô hình với chuỗi số liệu trung bình ngày 2008-2012

4.2. Hiệu chỉnh kiểm định mô hình

MIKE11ST

Hiệu chỉnh mô hình:

Nghiên cứu đã tính toán thử nghiệm các dạng công thức tính vận chuyển bùn cát gồm các công thức tính bùn cát tổng cộng, tính riêng vận chuyển bùn cát đáy và tính riêng bùn cát lơ lửng. Đối với công thức tính vận chuyển tổng cộng đã thử nghiệm các công thức của: Engelund-Hansen, Ackers-White, Smart & Jaeggi. Đối với các công thức tính vận chuyển bùn cát lơ lửng và đáy riêng biệt đã thử nghiệm các công thức: Engelund-Fredsoe, Van Rijn, Meyer-Peter và Muller cho bùn cát đáy; Engelund-Fredsoe, Van Rijn, Ashida và Michiue cho bùn cát lơ lửng. Dựa trên so sánh đường quan hệ lưu lượng nước- bùn cát (Q-Qs) cũng như độ lệch của giá

trị lưu lượng bùn cát tính toán và giá trị thực đo tại trạm SC2 trên sông Chu và SM2 trên sông Mã để tìm ra hàm mô phỏng tốt nhất. Nghiên cứu đã sử dụng các chỉ tiêu đánh giá sai số: RMSE (Root mean square error-Sai số quân phương) và RRMSE (Relative Root Mean Squared Error-sai số quân phương tương đối) để so sánh và đánh giá sai số của các hàm vận chuyển bùn cát để lựa chọn công thức phù hợp cho lưu vực nghiên cứu (bảng 4). Giá trị của chỉ số RMSE càng tiến gần về 0 thì độ chính xác của hàm vận chuyển càng lớn, trong khi đó giá trị của hàm RRMSE (%) càng nhỏ thì độ tin cậy của mô hình càng cao.

Công thức tính các chỉ số:

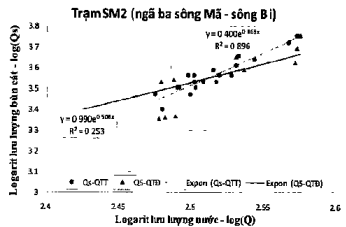
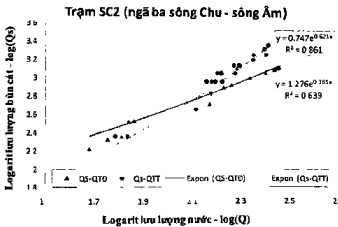
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2}; \quad RRMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2} \cdot \frac{1}{\bar{X}_{tb}}$$

Trong đó: Y_i : giá trị tính toán tại thời điểm i ;
 X_i là giá trị thực đo tại thời điểm i ,

N : Tổng giá trị so sánh, X_{tb} : giá trị thực đo trung bình

Bảng 4. Kết quả tính toán mức độ sai số theo hai chỉ tiêu RMSE và RRMSE

TT	Hàm vận chuyển	RMSE	RRMSE	TT	Hàm vận chuyển	RMSE	RRMSE
1	Bùn cát tổng cộng			3	Bùn cát đáy		
	Acker và White	0.003	0.18		Engelund và Fredsoe	0.0026	0.2016
	Engelund và Hansen	0.171	10.355		Van Rijn	0.0029	0.2286
	Smart và Jaeggi	0.004	0.264		Meyer Peter and Muller	0.0018	0.1402
2	Bùn cát lơ lửng				Sato-kiawa & Asida	0.0023	0.1836
	Engelund và Fredsoe	0.2152	16.9767		Asida & Micchiue	0.0028	0.2234
	Van Rijn	0.0024	0.1863		Asida, Takahashi & Mizuyama	0.0022	0.1766
	Lane-Kalinske	0.0029	0.2325				
	Asida & Micchiue	0.0028	0.2234				



Hình 7. Đồ thị dạng logarit biểu diễn đường quan hệ $Q-Q_s$ tại vị trí SC2, SM2

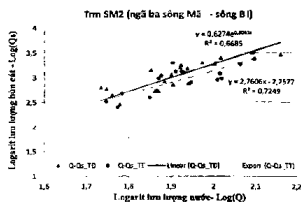
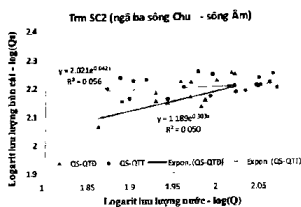
Kết quả tính toán hiệu chỉnh với số liệu từ 12/10 - 17/10/2014 cho thấy kết quả chỉ tiêu RMSE và RRMSE của công thức vận chuyển bùn cát đáy Mayer Peter & Muller và công thức vận chuyển bùn cát lơ lửng Van Rijn cho kết quả tốt nhất trong các công thức của mô hình khi kiểm nghiệm với số liệu thực đo trên sông Mã và sông Chu (hình 7). Các công thức này cũng đã được nhiều tác giả sử dụng trong các nghiên cứu cho các lưu vực sông khác tương tự ở Việt Nam (Nguyễn Kiên Dũng, Cao Phong Nhã, 2013). Do đó nghiên cứu đã lựa chọn công thức này để kiểm định.

- Kiểm định mô hình:

Sau khi hiệu chỉnh tìm được bộ thông số mô hình và công thức vận chuyển bùn cát phù hợp với số liệu đo

đặc nhất là công thức Mayer Peter & Muller và Van Rijn, tiến hành kiểm định lại mô hình với số liệu đo đạc từ ngày 10/5 - 15/5/2014. Kết quả kiểm định tại trạm SC2 và SM2 được trình bày như Hình 8.

Kết quả kiểm định cho thấy giá trị hệ số tương quan của lưu lượng nước và lưu lượng vận chuyển bùn cát khá tốt đối với trạm SM2 trên sông Mã và chưa tốt đối với trạm SC2 trên sông Chu. Vì số liệu đo đạc hạn chế nên không có điều kiện để kiểm định thêm, do đó đã dùng bộ thông số và công thức vận chuyển bùn cát đã được hiệu chỉnh và kiểm định có độ tin cậy ở mức chấp nhận được để sử dụng để tính toán dự báo vận chuyển bùn cát và diễn biến lòng dẫn sông Chu, sông Mã.



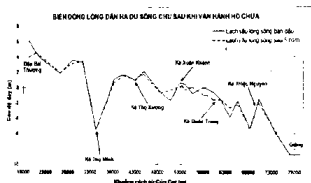
Hình 8. Đồ thị dạng logarit biểu diễn đường quan hệ Q-Qs tại vị trí SC2, SM2

4.3. Kết quả mô phỏng dự báo biến động lòng dẫn hạ du sông Mã

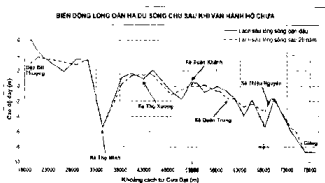
Tiến hành tính toán dự báo biến động lòng dẫn hạ thống sông Mã sử dụng mô hình đã được hiệu chỉnh, kiểm định cho giai đoạn 5, 10 và 20 năm từ khi vận

hành hồ chứa. Kết quả tính biến động lòng dẫn sông Chu sau 5 năm và 20 năm được trình bày ở Hình 9,

Hình 10, giá trị tính toán chi tiết cho ở Bảng 5. Tương tự kết quả dự báo biến động lòng dẫn sông Mã được cho ở hình 11, Hình 12 và Bảng 6.



Hình 9. Biến động lòng dẫn hạ du sông Chu sau 5 năm vận hành hồ chứa



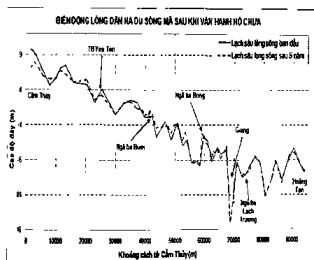
Hình 10. Biến động lòng dẫn hạ du sông Chu sau 20 năm vận hành hồ chứa

Bảng 5. Mức độ hạ thấp lòng dẫn lòng sông Chu từ đập Bái Thượng tới ngã ba Giàng

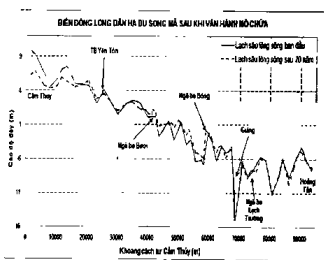
Vị trí	Khoảng cách từ đập (m)	Hạ thấp lòng dẫn Δz theo thời gian kể từ khi hồ chứa vận hành (m)		
		Sau 5 năm	Sau 10 năm	Sau 20 năm
Hạ lưu đập Bái Thượng	19,217	-2.05	-2.55	-3.10
Cổng-TB Thọ Lâm (KS hữu Chu)	28,910	-0.41	-0.55	-0.72
Kè Xuân Tín	38,310	-0.45	-0.64	-0.88
Quần Bình- xã Hạnh Phúc (K20.5 hữu Chu)	44,850	-0.45	-0.60	-0.68
Kè Cẩm Hạ	52,736	-0.49	-0.37	-0.42
Kè Cẩm Vân	58,120	-1.03	-0.76	-0.64
Đồng Chí- xã Thiệu Minh (K34.8 hữu Chu)	60,250	-1.01	-1.08	-0.95
Kè Quy Xá	65,540	-0.46	-0.56	-0.53
Cổng TB. Tươi xã Thiệu Nguyên	70,230	-0.54	-0.67	-0.21

ng 6. Mức độ hạ thấp lòng dẫn lòng sông Mã từ Cẩm Thủy đến cửa biển

Vị trí	Khoảng cách từ Cẩm Thủy (km)	Hạ thấp lòng dẫn Δz theo thời gian kể từ khi hồ chứa vận hành (m)		
		Sau 5 năm	Sau 10 năm	Sau 20 năm
Đại Đồng- Cẩm Sơn (Cẩm Thủy)	1,44	-2.69	-3.06	-3.50
Cẩm Thành- xã Cẩm Văn	13,22	-1.32	-1.62	-2.21
Cổng-TB Nam sông Mã	37,28	-0.85	-0.87	-0.88
Trạm bơm Thiệu Thịnh	65,55	-0.76	-0.75	-0.97
Khu vực ngã ba Giàng	68,24	-0.38	-0.88	-0.67
Kê Hàm Rồng	75,60	-0.64	-1.15	-0.93
Kê Quảng Phú	86,41	-0.43	-0.91	-0.66
Kê Quảng Châu	87,89	-0.12	-0.70	-0.43



Hình 11. Biến động lòng dẫn sông Mã sau 5 năm vận hành hồ chứa



Hình 12. Biến động lòng dẫn sông Mã sau 20 năm vận hành hồ chứa

Tiến hành phân tích quá trình diễn biến lòng dẫn theo thời gian tại một số vị trí trên hệ thống sông Mã: hạ lưu đập Bái Thượng trên sông Chu và tại Cẩm Thủy trên sông Mã. Kết quả thấy rằng quá trình xói mạnh xảy ra ở những năm đầu và sau 20 năm quá trình xói cơ bản ổn định (hình 13, hình 14) với mức hạ thấp lòng sông khoảng 1m ở hạ lưu đập Bái Thượng và 2.5 m ở Cẩm Thủy.

Nhận xét:

Quá trình diễn biến xói phổ biến thể hiện khá rõ ở khu vực hạ du các hồ thủy điện. Như đã phân tích ở phần trên, do các hồ chứa giữ lại phần lớn lượng bùn cát trong hồ, gây thiếu hụt

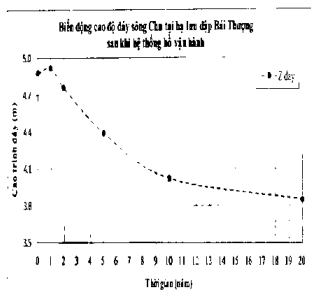
và mất cân bằng bùn cát hạ du. Lòng dẫn bị xói mạnh ở vùng gần đập và lan truyền xuống hạ du. Xu thế càng xuôi về phía hạ du mức độ xói lòng dẫn càng giảm dần. Do cấu tạo lòng dẫn có nhiều ghềnh cạn, nhất là trên tuyến sông Chu nên xu thế xói lòng dẫn ở hạ du không thuần nhất: có đoạn xói nhiều, có đoạn xói ít, có thời kỳ bồi và xói xen kẽ, thậm chí ở khu vực có ghềnh thác hoặc đá gốc, lòng dẫn sẽ không bị xói.

Trên sông Chu, đoạn từ hồ Cửa Đạt đến đập Bái Thượng (đoạn này chưa có hệ thống đê điều) do lòng sông có nhiều đá gốc và cuội sỏi lớn nên đoạn này chỉ bị xói hạn chế hoặc

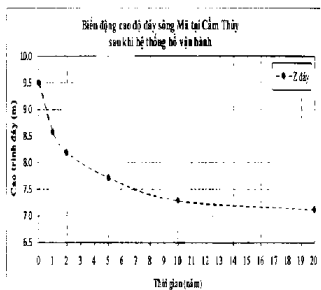
không xói. Xói chỉ xuất hiện từ hạ du đập Bái Thượng về xuôi. Kết quả tính toán dự báo cho thấy lòng sông có xu thế bị xói mạnh khu vực ngay sau đập Bái Thượng khoảng 2-3km với mức độ hạ thấp lòng dẫn khoảng 2-3m, sự hạ thấp xảy ra mạnh ở 5 năm đầu với mức 2m và 15 năm sau mới hạ thêm 1m; khu vực hạ lưu mức độ hạ thấp lòng dẫn giảm, phổ biến trong khoảng 0.5-1.0m. Một số khu vực có mức độ bồi/xói lớn như: sau đập Bái Thượng xói 2-3m, kè Thọ Nguyễn bồi 1.2-1.3m, kè Cẩm Vân xói 0.8-1.1m, kè Tân Bình bồi 0.8-1.0m, kè

Đồng Chí xói 1.0-1.1m,

Trên tuyến sông Mã, kết quả tính toán dự báo cho thấy lòng sông có xu thế bị hạ thấp mạnh khu vực từ TT. Cẩm Thủy đến Cẩm Ngọc (khoảng 5km) với mức độ từ 1.5-3.5m; khu vực hạ lưu mức độ hạ thấp giảm hơn, phổ biến trong khoảng 0.5-1.0m. Một số khu vực có mức độ bồi/xói lớn như: khu vực TT. Cẩm Thủy đến Cẩm Ngọc hạ thấp khoảng 1.5-3.5m, khu vực Cẩm Vân xói 1.3-2.2m, cống Nam Thôn bồi 1.5-1.9m, trạm bơm Thiệu Thịnh xói 0.7-1.0m, kè Quảng Phú xói 0.5-1.1m.



Hình 13. Dự báo biến động cao độ đáy sông Chu tại hạ lưu đập Bái Thượng theo thời gian



Hình 14. Dự báo biến động cao độ đáy sông Mã tại Cẩm Thủy theo thời gian

4.4. Kết quả tính độ hạ thấp mực nước và thay đổi đường quan hệ Q-II

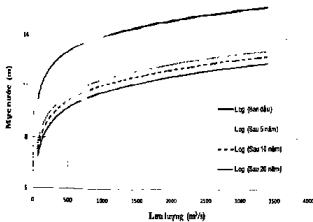
Từ kết quả tính toán diễn biến và độ hạ thấp lòng dẫn, tiến hành tính toán sự thay đổi quan hệ lưu lượng – mực nước (Q-H) tại một số điểm trên hệ thống sông. Kết quả tính toán quan hệ Q-H tại Cẩm Thủy trên sông Mã và khu vực kè Cẩm Vân (gần Xuân Khánh) trên sông Chu sau 5, 10 và 20 năm được trình bày ở hình 15 và hình 16.

Như vậy, xói phổ biến ở hạ du các hồ chứa, đặc biệt là khu vực thượng lưu làm lòng sông bị hạ thấp, từ đó dẫn tới đường mực nước ở

những khu vực này cũng bị hạ thấp kéo theo là sự thay đổi quan hệ Q-II tương ứng.

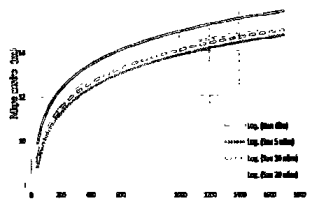
Trên tuyến sông Chu, tại khu vực kè Cẩm Vân cách Cửa Đạt khoảng 58 km, sau 5 năm vận hành hồ chứa mực nước hạ thấp khoảng 1m so với trước khi có hồ, sau 10 năm mực nước hạ thấp thêm khoảng 0.75m và sau 20 năm mực nước hạ thấp thêm khoảng 0.65m.

Trên tuyến sông Mã, tại khu vực Cẩm Thủy, sau 5 năm vận hành hồ chứa mực nước hạ thấp khoảng 2.70m so với ban đầu, sau 10 năm mực nước hạ thấp tới 3.05m và sau 20 năm mực nước hạ thấp tới 3.50m.



(Log = logarith)

Hình 15. Biến động quan hệ Q-H tại Cẩm Thủy (sông Mã) sau 5, 10 và 20 năm vận hành hồ thủy điện



(Log = logarith)

Hình 16. Biến động quan hệ Q-H tại hồ Cẩm Vân (sông Chu) sau 5, 10 và 20 năm vận hành hồ thủy điện

5. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu tính toán cho thấy xu thế biến động theo hướng hạ thấp lòng dẫn hạ du các hồ thủy điện trên hệ thống sông Mã trong tương lai tương đối lớn, hạ thấp lớn nhất tới 3.5m và trung bình từ 2-3m, tuy nhiên cũng có 1 số điểm bị bồi. Hiện tượng xói phổ biến sẽ có nguy cơ sẽ gây sạt lở bờ sông và các công trình bảo vệ bờ sông trên diện rộng ở dòng chính sông Mã và sông Chu.

Các công trình lấy nước, các công trình giao thông trên tuyến sông Mã, sông Chu sẽ chịu ảnh hưởng của sự điều tiết các thủy điện và các tác động do xói phổ biến gây ra. Với xu thế chung là lòng dẫn bị xói, hạ thấp là chủ yếu, và kéo theo hạ thấp mực nước, do đó các công trình lấy nước có nguy cơ bị treo không lấy được nước. Các trạm bơm bị treo sẽ ảnh hưởng tới khả năng lấy nước, nên cần phải có các giải pháp để chủ động nguồn nước phục vụ tưới cho nông nghiệp cũng như nhu cầu các ngành khác. Sự hạ thấp mực nước trên hệ thống nhiều hơn so với việc hồ chứa tăng lượng xả vào mùa kiệt nên việc ngoài các giải pháp điều chỉnh chế độ vận hành hồ vẫn cần tới các giải pháp khác như các trạm bơm đã

chiến, các công trình dâng nước... Cũng cần chú ý rằng, có một số đoạn sông phía hạ lưu có lòng dẫn bị bồi nên có nguy cơ bị bồi lấp giảm khả năng lấy nước vào hệ thống và cũng có thể cần giải pháp nạo vét.

Tóm lại, sau khi xây dựng hồ thủy điện ở thượng nguồn, do thay đổi chế độ thủy động lực dòng chảy, khu vực hạ du hệ thống sông Mã trong những năm tới sẽ đối mặt với các tình thế nguy hiểm mới như: xói lan truyền do nước trong, xói lở tại các vùng hợp lưu, hạ thấp mực nước, biến đổi dòng chảy và hình thái vùng cửa sông ven biển... Các công trình dọc theo tuyến sông như đê điều, kè, trạm bơm, cống lấy nước, cửa lấy nước, cầu qua sông không thích ứng với điều kiện mới có thể xảy ra các sự cố. Do hạn chế về số liệu nên kết quả dự báo cũng chỉ dừng ở mức định tính (dự đoán), do đó cần bố trí đo đạc theo dõi diễn biến, và tiếp tục nghiên cứu dự báo cũng như xây dựng kế hoạch hành động để có thể ứng phó và thích ứng để giảm thiểu các tác động bất lợi của hồ thủy điện gây ra.

Lời cảm ơn: Các tác giả của bài báo xin được cảm ơn PGS.TS Trần Xuân Thái đã cho những ý kiến đóng góp trong quá trình chỉnh sửa

hoàn thiện bài báo. Nghiên cứu này nhận được kinh phí từ nguồn ngân sách nhà nước trong việc triển khai đề tài “Nghiên cứu đánh giá tác động của các hồ chứa thượng nguồn đến biến động lòng dẫn hạ du, cửa sông ven biển hệ

thống sông Mã và đề xuất giải pháp hạn chế tác động bất lợi nhằm phát triển bền vững” thuộc chương trình nghiên cứu khoa học cấp nhà nước KC08-32/11-15.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Kiên Dũng, Cao Phong Nhã 2013, *Nghiên cứu các đặc điểm bùn cát trên các lưu vực sông Ba, Mã, Thu Bồn và Serepok*, Tuyển tập báo cáo Hội thảo khoa học lần thứ 10 - Viện KH KTTV & MT, Hà Nội, 2013.
- [2] Hà Ngọc Hiến 2013, *Nghiên cứu đánh giá lắng đọng bùn cát tại các hồ chứa thượng nguồn lưu vực sông Mã*, Chuyên đề khoa học thuộc đề tài KHCN cấp nhà nước KC08-32/11-15, Hà Nội 2014.
- [3] Nguyễn Thanh Hùng và nnk 2015, *Nghiên cứu đánh giá tác động của các hồ chứa thượng nguồn đến biến động lòng dẫn hạ du, cửa sông ven biển hệ thống sông Mã và đề xuất giải pháp hạn chế tác động bất lợi nhằm phát triển bền vững*, Đề tài KHCN cấp nhà nước KC08.32/11-15, Hà Nội, 2015.
- [4] Nguyễn Thanh Hùng, Nguyễn Thị Thu Huyền, Vũ Đình Cường 2015, *Nghiên cứu ảnh hưởng của hồ chứa thượng nguồn đến các đặc trưng thủy văn trên hệ thống sông Mã*, Tạp chí Khí tượng thủy văn, số 657 tháng 9 năm 2015.
- [5] Nguyễn Ngọc Quỳnh, Trần Xuân Thái, Hồ Việt Cường 2013, *Kết quả nghiên cứu diễn biến lòng dẫn và chế độ thủy văn hạ du sông Lô- Giam do ảnh hưởng của thủy điện Tuyên Quang*, Tạp chí Khoa học công nghệ thủy lợi, số 16 ngày 30/09/2013.
- [6] Nguyễn Văn Toán 2000, *Dự án Điều tra cơ bản xói phổ biến ở hạ lưu đập Hòa Bình*, Viện Khoa học Thủy Lợi, thực hiện 1994-2000, Hà Nội 2000.
- [7] Trần Xuân Thái, Nguyễn Tuấn Anh 2005, *Nghiên cứu dự báo xói lở, bồi lắng lòng dẫn và đề xuất các biện pháp phòng chống cho hệ thống sông vùng đồng bằng Bắc Bộ*, Đề tài KHCN cấp nhà nước KC08-11, Hà Nội 2005.
- [8] Brown C. B. 1944, *Discussion of sedimentation in reservoirs*. Ed. J. Witzig. Proc. of the American Society of Civil Engineers, Vol. 69, pp. 1493-1500.
- [9] Brune, G. M. 1953, *Trap efficiency of reservoirs*, Trans. Am. Geophys. Union, 34, 407-418.
- [10] DHI 2007, *A modeling system for Rivers and channels User Guide*, Denmark, 2007.
- [11] Williams, G. P., and M. G. Wolman, 1984, *Downstream effects of dams on alluvial rivers*, Geol. Surv. Prof. Pap. 1286, 83 pp., 1984. (<http://pubs.usgs.gov/pp/1286/report.pdf>).