

ỨNG DỤNG MÔ HÌNH SWAT TÍNH TOÁN LƯU LƯỢNG NƯỚC VÀ BÙN CÁT GIA NHẬP HỆ THỐNG HỒ CHỨA BẬC THANG LAI CHÂU, SƠN LA, HÒA BÌNH TRÊN DÒNG CHÍNH SÔNG ĐÀ

Nguyễn Văn Đại⁽¹⁾, Đặng Quang Thịnh⁽¹⁾, Lê Thị Hiệu⁽²⁾, Phùng Thị Thu Trang⁽¹⁾

⁽¹⁾Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu

⁽²⁾Cục Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu

Số liệu lưu lượng nước và bùn cát là đầu vào không thể thiếu của mô hình HEC-6 trong việc tính bồi lắng hồ chứa. Trong thực tế, các số liệu trên chỉ được quan trắc tại một số vị trí trên các sông lớn và nhánh chính. Do đó, việc tính toán lưu lượng nước và bùn cát cho các lưu vực sông không có số liệu quan trắc làm đầu vào cho việc tính bồi lắng hồ chứa là hết sức cần thiết. Nghiên cứu trình bày các kết quả ứng dụng mô hình SWAT để tính toán lưu lượng nước và bùn cát làm đầu vào cho mô hình HEC-6 tính bồi lắng cho hệ thống hồ chứa bậc thang Lai Châu - Sơn La - Hòa Bình trên dòng chính sông Đà.

Từ khóa: Lưu lượng nước, bùn cát, SWAT, HEC-6.

1. Mở đầu

Ba hồ chứa Lai Châu, Sơn La, Hòa Bình trên dòng chính sông Đà tạo thành một hệ thống hồ chứa bậc thang lớn nhất và có vai trò quan trọng ở nước ta. Quá trình bồi lắng bùn cát trong hệ thống hồ chứa bậc thang này diễn ra cực kỳ phức tạp theo không gian và thời gian. Bùn cát bồi lắng ở cả phần dung tích chết và dung tích hiệu dụng của mỗi hồ, ảnh hưởng đến việc tính toán điều tiết và dự báo dòng chảy hạ du đập. Vì vậy, việc ước tính bồi lắng bùn cát cho mỗi hồ chứa đơn lẻ nói chung và cho hệ thống hồ chứa bậc thang nói riêng là rất cần thiết.

Mô hình HEC-6 có khả năng tính phân bố bồi lắng bùn cát trong hệ thống hồ chứa bậc thang theo không gian và thời gian. Để chạy được mô hình này cần có dữ liệu lưu lượng nước và quan hệ lưu lượng nước ~ lưu lượng bùn cát tổng cộng ($Q \sim Q_s$) trên sông chính và các lưu vực bộ phận gia nhập khu giữa. Trường hợp thiếu số liệu lưu lượng nước và bùn cát của các lưu vực bộ phận, phải sử dụng các mô hình để tính toán, bổ sung số liệu. Có nhiều mô hình cho phép tính toán lưu lượng nước và bùn cát cho các lưu vực sông; một trong số mô hình được ứng dụng rộng rãi là mô hình SWAT (Soil and Water Assessment Tool) có khả năng mô phỏng lưu lượng nước, bùn cát trên

những lưu vực lớn, phức tạp.

Bài báo này giới thiệu tóm tắt việc ứng dụng mô hình SWAT để tính toán lưu lượng nước và xây dựng quan hệ $Q \sim Q_s$ cho những lưu vực bộ phận thiếu số liệu thực đo, phục vụ cho việc tính toán bồi lắng trong hệ thống hồ chứa bậc thang Lai Châu - Sơn La - Hòa Bình.

2. Phương pháp nghiên cứu và dữ liệu

2.1. Giới thiệu mô hình SWAT

SWAT là mô hình thông số phân bố, chia dòng chảy thành 3 pha: Pha mặt đất (diễn tả các thành phần trong dòng chảy mặt, sỏi mòn); pha sát mặt đất (diễn tả các thành phần sát mặt đất, dòng chảy ngầm); pha trong sông (diễn tả dòng chảy trong sông tới mặt cắt cửa ra của lưu vực). Mô hình SWAT sử dụng phương trình đường cong SCS và phương trình thấm Green-Ampt để mô phỏng lưu lượng nước từ dữ liệu mưa và phương trình mất đất phổ dụng cải tiến MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation) để tính toán quá trình xói mòn đất và phương trình vận chuyển bùn cát của Bagnold.

2.2. Dữ liệu sử dụng

- Dữ liệu không gian

Bản đồ DEM 30 tải từ trang web <http://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>.

Bản đồ hiện trạng sử dụng đất của 4 tỉnh Lai

Châu, Điện Biên, Sơn La và Hòa Bình năm 2015.

Bản đồ thổ nhưỡng của 4 tỉnh Lai Châu, Điện Biên, Sơn La và Hòa Bình năm 2015.

- Dữ liệu thuộc tính

Số liệu khí tượng (Lượng mưa ngày, nhiệt độ không khí (Tmax và Tmin) ngày) của 8 trạm: Mường Tè, Sìn Hồ, Lai Châu, Sơn La, Cỏ Nòi, Yên Châu, Mộc Châu, Hòa Bình.

Số liệu thủy văn (lưu lượng nước và bùn cát lơ lửng ngày) tại 10 trạm: Nà Hừ, Nậm Giang, Nậm Múc, Bản Củng, Lai Châu, Tạ Bú, Hòa

Bình, Phiêng Hiêng, Thác Vai, Bãi Sang.

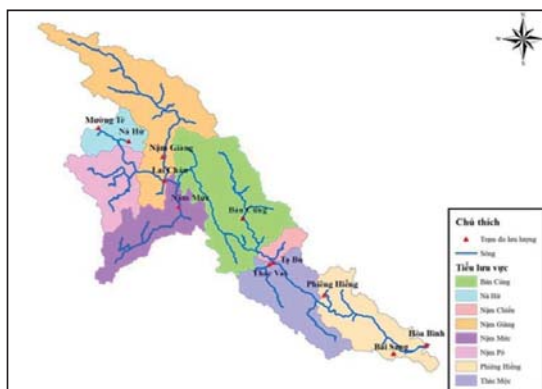
2.3. Sơ lược lưới sông suối ở vùng nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu trên sông Đà từ đập Hòa Bình đến biên giới Việt - Trung rộng 24,000 km², gồm nhiều phụ lưu có diện tích lưu vực lớn hơn 50 km². Tuy nhiên, do hạn chế của mô hình HEC-6 chỉ cho phép mô phỏng tối đa 8 điểm nhập lưu / phân lưu cục bộ trên toàn hệ thống nên đã chia khu giữa thành 08 lưu vực bộ phận với diện tích hứng nước tương ứng (Bảng 1, Hình 1).

Bảng 1. Phân chia khu giữa đoạn từ đập Hòa Bình đến biên giới Việt - Trung

Thứ tự	Lưu vực bộ phận	Sông, suối chính	Diện tích lưu vực (km ²)
1	Nà Hừ	Nậm Bum	1179
2	Nậm Pô	Nậm Nhật	2613
3	Nậm Giang	Nậm Na	2565
4	Nậm Múc	Nậm Múc	1949
5	Bản Củng	Nậm Mu	6792
6	Nậm Chiến	Suối Chiến	673
7	Thác Mộc	Nậm Bú	3737
8	Phiêng Hiêng	Suối Sập	530

Các lưu vực bộ phận này được giới hạn từ điểm nhập lưu của nhánh sông ở trên với sông chính đến điểm nhập lưu của sông nhánh dưới với sông chính, do đó các nhánh nhỏ khác không được đề cập sẽ được gộp vào các sông nhánh chính



Hình 1. Các trạm thủy văn và lưu vực bộ phận sử dụng trong mô hình SWAT

Bốn trong tám lưu vực bộ phận này có số liệu thực đo lưu lượng nước là Nà Hừ, Nậm Múc, Nậm Giang và Bản Củng. Ngoài ra, còn có số liệu độ đục của trạm Thác Mộc, Thác Vai, Phiêng Hiêng và Bãi Sang. Từ đó, đặt ra yêu cầu phải

tính lưu lượng nước và bùn cát để xây dựng quan hệ $Q \sim Q_s$ cho các lưu vực bộ phận gia nhập vào hệ thống hồ chứa bậc thang Hòa Bình, Sơn La, Lai Châu trên dòng chính sông Đà.

2.4. Ứng dụng mô hình SWAT để tạo biên đầu vào cho HEC-6

Tham khảo nghiên cứu [3] về bùn cát trên lưu vực sông Đà, lấy bùn cát tổng cộng bằng 1,35 bùn cát lơ lửng.

Quá trình ứng dụng mô hình SWAT tạo biên cho mô hình HEC-6 ước tính bồi lắng hệ thống hồ chứa bậc thang trên dòng chính sông Đà được mô tả trong sơ đồ ở Hình 2.

Để đánh giá độ chính xác của kết quả mô phỏng so với số liệu thực đo, đã sử dụng hai chỉ số là chỉ số hiệu quả Nash-Sutcliffe (NSI) và sai số tổng lượng PBIAS. Chỉ số NSI là một thông số thống kê xác định giá trị tương đối của phương sai dư so với phương sai của chuỗi thực đo, được tính theo công thức:

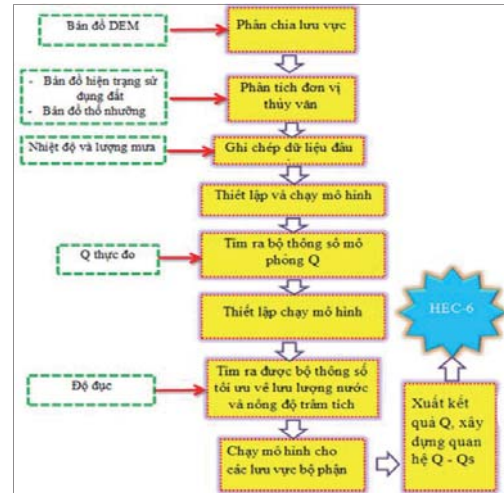
$$NSI = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{tb})^2 - \sum_{i=1}^n (x_i - x'_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{tb})^2} \quad (1)$$

PBIAS là chỉ số dùng để ước tính xu hướng trung bình của mô phỏng lớn hơn hoặc nhỏ hơn giá trị thực đo. Chỉ số PBIAS được tính theo công thức:

$$PBIAS = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x'_i)}{\sum_{i=1}^n (x_i)} \quad (2)$$

Trong đó: x_i là giá trị thực đo x'_i là giá trị mô phỏng, x_{tb} là giá trị thực đo trung bình, n là chiều dài chuỗi số liệu.

Để phân loại mức độ chính xác của mô phỏng trên cơ sở các chỉ số NSI và PBIAS, sử dụng tiêu chuẩn phân loại trong bảng 2.



Hình 2. Sơ đồ ứng dụng SWAT để tạo biên đầu vào cho mô hình HEC-6

Bảng 2. Tiêu chuẩn phân loại mức độ chính xác của kết quả mô phỏng theo các chỉ số NSI và PBIAS (Moriassi và nnk 2007)

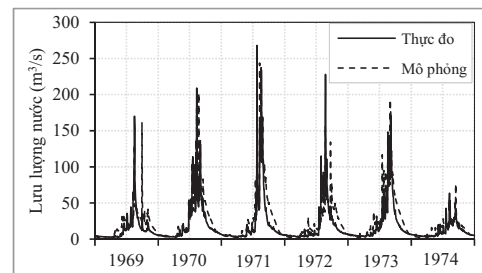
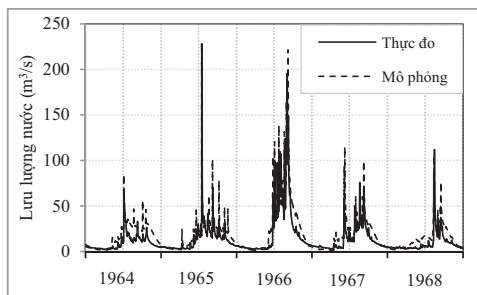
Phân loại	NSI	PBIAS (%)	
		Dòng chảy nước	Bùn cát
Tốt	$0,75 < NSI \leq 1$	$PBIAS < \pm 10$	$PBIAS < \pm 15$
Khá	$0,65 < NSI \leq 0,75$	$\pm 10 \leq PBIAS < \pm 15$	$\pm 15 \leq PBIAS < \pm 30$
Trung bình	$0,5 < NSI \leq 0,65$	$\pm 15 \leq PBIAS < \pm 25$	$\pm 30 \leq PBIAS < \pm 55$
Dưới trung bình	$NSI < 0,5$	$PBIAS > \pm 25$	$PBIAS > \pm 55$

3. Kết quả tính toán bằng mô hình SWAT

3.1. Kết quả hiệu chỉnh, kiểm định lưu lượng

Trên cơ sở chuỗi số liệu lưu lượng nước thu thập được tại các trạm tiến hành hiệu chỉnh, kiểm định bộ thông số mô hình SWAT cho lưu vực 7 thủy văn, trong đó, 3 trạm Thác Vai, Bãi Sang, Phiêng Hiêng đã ngừng hoạt động và chỉ quan trắc trong khoảng thời gian khá ngắn, Do đó, khoảng thời gian có số liệu của các trạm được

chia ra để hiệu chỉnh và kiểm định bộ thông số mô hình như sau: Nà Hừ (giai đoạn hiệu chỉnh 1968 - 1976 và giai đoạn kiểm định 1980 - 1986), Nậm Giàng (1967 - 1971 và 1984 - 1987), Nậm Mức (1969 - 1972 và 1974 - 1977), Bản Củng (1971 - 1974 và 1975 - 1980), Thác Vai (1964 - 1968 và 1969 - 1974), Bãi Sang (1963 - 1966 và 1974 - 1976) và Phiêng Hiêng (1965 - 1967 và 1972 - 1974).



Hình 3. Kết quả hiệu chỉnh (trái) và kiểm định (phải) lưu lượng nước tại trạm Thác Vai

Quá trình lưu lượng nước mô phỏng và thực đo hiệu chỉnh, kiểm định tại các trạm khá phù hợp về dạng, như tại trạm Thác Vai (hình 3, bảng

3). So sánh tiêu chuẩn đánh giá (bảng 2), tại các trạm, chỉ số NSI đều đạt mức khá và tốt, chỉ số PBIAS đạt từ mức trung bình đến tốt. Qua đó,

xác định được bộ thông số mô hình SWAT của lưu vực 7 trạm (bảng 4) để tính lưu lượng nước cho các lưu vực không có số liệu quan trắc lân

cận lưu vực các trạm này, làm đầu vào tính toán bồi lắng cho hệ thống hồ chứa bậc thang Lai Châu - Sơn La - Hòa Bình.

Bảng 3. Chỉ số NSI và PBIAS hiệu chỉnh và kiểm định mô phỏng lưu lượng nước

Chỉ số	Giai đoạn	Nà Hừ	Nậm Giàng	Nậm Mức	Bản Củng	Thác Vai	Bãi Sang	Phiêng Hiềng
NSI	Hiệu chỉnh	0,78	0,8	0,82	0,75	0,65	0,65	0,71
	Kiểm định	0,74	0,85	0,65	0,7	0,71	0,71	0,66
PBIAS	Hiệu chỉnh	15,4	-18,7	6,5	14,6	-24,8	-8,3	0,9
	Kiểm định	16	-9,3	-18,2	1,49	-20,8	-17,1	1,7

Bảng 4. Bộ thông số mô hình SWAT tính lưu lượng nước cho lưu vực 7 trạm

Chỉ số	Mô tả	Đơn vị	Giá trị						
			Nà Hừ	Nậm Giàng	Nậm Mức	Bản Củng	Thác Vai	Bãi Sang	Phiêng Hiềng
CN2	Chỉ số CN ứng với điều kiện âm II		70,0	59,0	61,0	73,0	73,1	39,7	70,0
ALPHA_BF	Hệ số triết giảm dòng chảy ngầm	l/ngày	0,05	0,06	0,06	0,55	0,35	0,4	0,1
GW_DELAY	Thời gian trữ nước tầng nước ngầm	ngày	3,4	1,4	21,3	6,0	18,8	11,0	36,0
CH_K2	Hệ số dẫn thủy lực của kênh chính	mm/h	110,3	164,6	44,4	22,0	40,0	34,3	63,6
CH_N1	Hệ số nhám của kênh dẫn		0,3	0,21	0,182	0,15	0,28	0,1	1,0
CH_N2	Hệ số nhám của kênh chính		0,05	0,05	0,10	0,11	0,06	0,07	0,15
SOL_AWC	Khả năng trữ nước của đất		0,02	0,3	0,81	0,04	0,32	0,14	0,02
SOL_K	Độ dẫn thủy lực trong trường hợp bão hòa	mm/h	14,2	16,7	13,6	92,0	274	90,0	174
OV_N	Hệ số nhám Manning cho dòng chảy mặt		9,6	8,86	8,68	4,75	4,3	3,25	1,97
CH_K1	Hệ số dẫn thủy lực của kênh dẫn	mm/h	31,7	27,2	38,9	30,0	35,4	5,34	18,18

3.2. Kết quả hiệu chỉnh, kiểm định nồng độ bùn cát

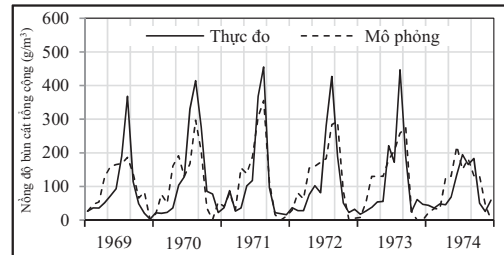
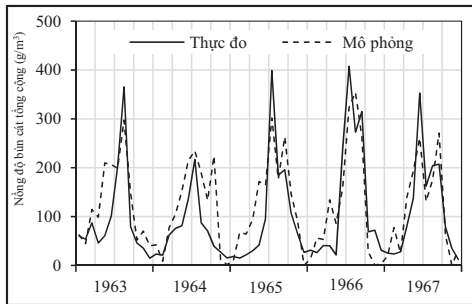
Sau quá trình hiệu chỉnh và kiểm định lưu lượng nước, căn cứ tính tương tự của lưu vực lân cận, lấy bộ thông số của Nậm Pô theo Nà Hừ, Nậm Chiến theo Bản Củng rồi tiến hành hiệu chỉnh và kiểm định nồng độ bùn cát tại các trạm Nậm Mức (giai đoạn hiệu chỉnh 1997 - 1999 và giai đoạn kiểm định 2010 - 2012), Thác Vai (1963 - 1967 và 1969 - 1974), Bãi Sang (1963 -1966 và 1974 - 1976) và Phiêng Hiềng (1965 - 1967 và 1972 - 1974).

Quá trình nồng độ bùn cát mô phỏng và thực đo hiệu chỉnh, kiểm định tại các trạm khá phù hợp về dạng, như tại trạm Thác Vai (hình

4, bảng 5). So sánh tiêu chuẩn đánh giá (bảng 2), tại các trạm, hầu hết chỉ số NSI đều đạt từ mức trung bình đến khá, duy nhất trạm Bãi Sang đạt mức dưới trung bình, xấp xỉ mức trung bình trong quá trình kiểm định; chỉ số PBIAS đạt từ mức trung bình đến tốt. So với lưu lượng nước, độ chính xác của mô phỏng bùn cát thường thấp hơn do quá trình xói mòn bề mặt và vận chuyển bùn cát phụ hết sức phức tạp, hơn nữa, tại các trạm thủy văn chỉ quan trắc bùn cát lơ lửng, còn bùn cát đáy phải xác định thông qua bùn cát lơ lửng với hệ số thực nghiệm. Từ các kết quả tính toán, xác định được bộ thông số mô hình SWAT của lưu vực 4 trạm (bảng 6) để tính nồng độ bùn cát cho các

lưu vực không có số liệu quan trắc lân cận lưu vực các trạm này, làm đầu vào tính toán bồi

lắng cho hệ thống hồ chứa bậc thang Lai Châu - Sơn La - Hòa Bình.



Hình 4. Kết quả hiệu chỉnh (trái) và kiểm định (phải) nồng độ bùn cát tại trạm Thác Vai

Bảng 5. Chỉ số NSI và PBIAS hiệu chỉnh và kiểm định nồng độ bùn cát

Trạm	Chỉ số NSI		Chỉ số PBIAS	
	Hiệu chỉnh	Kiểm định	Hiệu chỉnh	Kiểm định
Thác Vai	0,64	0,64	-20,1	-5,4
Bãi Sang	0,7	0,45	-8,3	-17,1
Nậm Mức	0,57	0,56	-15	-33,8
Phiêng Hiêng	0,53	0,54	-1	6,1

Bảng 6. Bộ thông số mô hình SWAT tính nồng độ bùn cát cho từng lưu vực bộ phận

Thông số	Mô tả	Đơn vị	Giá trị			
			Thác Vai	Bãi Sang	Nậm Mức	Phiêng Hiêng
SOL_ROCK	Hàm lượng đá trong đất	%	4,0	50,0	17,0	10,7
CN2	Chỉ số CN ứng với điều kiện ẩm II		73,1	39,7	61,0	70,0
HRU_SLP	Độ dốc trung bình	m/m	0,52	0,11	0,31	0,13
USLE_P	Thông số về ảnh hưởng của các biện pháp canh tác		0,15	0,15	0,71	0,38
USLE_K	Thông số về xói mòn lớp đất		0,47	0,3	0,5	0,3
SLSUBBSN	Chiều dài sườn dốc trung bình	m	76,31	21,4	95,8	85,0
LAT_TTIME	Thời gian trễ dòng chảy ngang	ngày	16,15	15,0	16,0	9,0
LAT_SED	Nồng độ bùn cát trong dòng chảy ngang và dòng chảy ngầm	mg/l	54,7	3,26	32,0	3,0
SOL_K	Độ dẫn thủy lực ở trường hợp bão hòa	mm/h	274	90,0	13,6	174

3.3. Xây dựng quan hệ $Q \sim Q_s$

Từ kết quả tính bằng mô hình SWAT, quan hệ $Q \sim Q_s$ đã được xây dựng cho 4 trạm (bảng 7) với hệ số tương quan R^2 khá cao, dao động từ 0,77 ÷ 0,85. Chứng tỏ, các quan hệ này khá chặt chẽ và có thể áp dụng cho các lưu vực bộ phận làm đầu vào cho mô hình HEC-6 tính bồi lắng cho hệ thống hồ chứa bậc thang Lai Châu - Sơn

La - Hòa Bình. Trong đó, quan hệ của trạm Nậm Mức sẽ được áp dụng cho các lưu vực bộ phận Nà Hừ, Nậm Pồ, Nậm Giàng, Nậm Mức, Bản Củng; quan hệ của trạm Thác Vai sẽ được áp dụng cho lưu vực bộ phận Nậm Chiến, Thác Mộc; quan hệ của trạm Phiêng Hiêng sẽ được áp dụng cho lưu vực bộ phận Phiêng Hiêng.

Bảng 7. Quan hệ $Q \sim Q_s$ xây dựng từ kết quả mô hình SWAT

STT	Tên trạm	Quan hệ $Q \sim Q_s$	Hệ số tương quan R^2
1	Thác Vai	$Q_s = 0,008Q^{1,55}$	0,85
2	Bãi Sang	$Q_s = 0,0031Q^{1,1011}$	0,77
3	Nậm Mực	$Q_s = 0,0053Q^{1,7563}$	0,81
4	Phiêng Hiêng	$Q_s = 0,1017Q^{1,3402}$	0,85

4. Thảo luận và kiến nghị

Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định cho thấy, mô hình SWAT có khả năng mô phỏng lưu lượng nước với độ chính xác đạt từ khá đến tốt; mô phỏng bùn cát đạt từ trung bình đến khá, chỉ có 1 trạm kiểm định đạt dưới trung bình, xấp xỉ mức trung bình nhưng có thể chấp nhận được do tính toán bùn cát thường có sai số lớn. Quan hệ $Q \sim Q_s$ được xây dựng từ kết quả mô hình SWAT chặt chẽ, có hệ số tương quan cao. Như vậy, các bộ thông số mô hình SWAT đã kiểm định có thể sử

dụng để tính toán lưu lượng nước và bùn cát cho những lưu vực thiếu hoặc không có số liệu quan trắc để tạo biên đầu vào cho mô hình HEC-6 tính bồi lắng hồ chứa.

Để kết quả tính toán được chính xác, cần có đủ số liệu mưa đại diện cho toàn lưu vực, nguồn dữ liệu về hiện trạng sử dụng đất và thổ nhưỡng chi tiết và luôn được cập nhật. Ngoài ra cần tiến hành khảo sát bổ sung số liệu thực đo lưu lượng nước và bùn cát, phục vụ hiệu chỉnh và kiểm định, xác định bộ thông số tối ưu của mô hình.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn đề tài nghiên cứu khoa học và phát triển công nghệ cấp Bộ “Nghiên cứu cơ sở khoa học tính toán bồi lắng hệ thống hồ chứa bậc thang. Áp dụng thí điểm cho sông Đà” đã hỗ trợ để thực hiện nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

1. S.L. Neitsch, J.G. Arnold, J.R. Kiniry, J.R. Williams (2011), *Soil and Water Assessment Tool, Theoretical Documentation, Version 2009.*
2. US Army Corps of Engineers (1993), *HEC-6: Scour and Deposition in Rivers and Reservoirs. User's Manual.*
3. Nguyễn Kiên Dũng (2002), *Nghiên cứu, tính toán bồi lắng và nước dâng ứng với các phương án xây dựng khác nhau của hồ chứa Sơn La, Hà Nội.*
4. Báo cáo tổng kết Đề tài nghiên cứu cấp Bộ (2016), “Nghiên cứu cơ sở khoa học tính toán bồi lắng hệ thống hồ chứa bậc thang. Áp dụng thí điểm cho sông Đà”.

APPLICATION OF SWAT MODEL TO ESTIMATE SEDIMENT AND WATER DISCHARGE JOINING THE RESERVOIR CASCADE OF LAI CHAU, SON LA, HOA BINH ON DA RIVER MAIN STREAM

Nguyen Van Dai⁽¹⁾, Dang Quang Thinh⁽¹⁾, Le Thi Hieu⁽²⁾, Phung Thi Thu Trang⁽¹⁾

⁽¹⁾Institute of Meteorology, Hydrology and Climate change

⁽²⁾Department of Meteorology, Hydrology and Climate change

Abstract: Water discharge and sediment is indispensable input for HEC-6 model in the calculation of reservoir sedimentation. In fact, these data are only observed at several locations on the main river and its major tributaries. Therefore, it is necessary to calculate these data for the river basins without having monitoring data as input to the calculation of reservoir sedimentation. This study presents the results of application of SWAT model calculating water discharge and sediment as input to the HEC-6 model for calculating sediment deposition in the Lai Chau, Son La, Hoa Binh reservoir system on Da river mainstream.

Key words: Water discharge, sediment, SWAT, HEC-6.