

ỨNG DỤNG MÔ HÌNH SWAT ĐỂ TÍNH TOÁN LƯU LƯỢNG DÒNG CHẢY VÀ BÙN CÁT TRÊN LƯU VỰC SÔNG CẦU

Trần Việt Bách¹

Tóm tắt: Nghiên cứu này trình bày về ứng dụng của mô hình Soil and Water Assessment Tool (SWAT) mô phỏng lưu lượng dòng chảy và bùn cát trên lưu vực sông Cầu, con sông trọng yếu của khu vực Bắc bộ. Mô hình được hiệu chỉnh và kiểm nghiệm thông qua việc so sánh kết quả mô phỏng và chuỗi số liệu thủy văn và bùn cát thực đo từ năm 2007 đến 2014. Ở mô đun tính toán lưu lượng dòng chảy, kết quả hiệu chỉnh và kiểm nghiệm ở mức rất tốt ($R^2 = 0.905$, $NSE = 0.903$ và $PBIAS = 0.635$ cho bước hiệu chỉnh; $R^2 = 0.921$; $NSE = 0.9$ và $PBIAS = 10.03$ cho bước kiểm nghiệm). Ở mô đun tính toán bùn cát ở mức đạt yêu cầu (R^2 , NSE và $PBIAS$ lần lượt là 0.832, 0.812 và -22.534 ở bước hiệu chỉnh và 0.645, 0.587 và -18.586 ở bước kiểm nghiệm). Theo kết quả mô phỏng, lượng bùn cát đóng góp vào hệ thống sông Cầu biến đổi theo không gian và thời gian với tổng lượng hàng năm khoảng 940 ngàn tấn. Các kết quả nghiên cứu và thông số mô hình sau khi hiệu chỉnh có thể được sử dụng cho các nghiên cứu tiếp theo.

Từ khóa: SWAT, SWAT-CUP, lưu lượng dòng chảy, bùn cát, sông Cầu.

1. GIỚI THIỆU

Trong giai đoạn bùng nổ dân số, biến đổi khí hậu và tăng trưởng kinh tế, vấn đề đánh giá và quản lý tài nguyên nước bền vững đang ngày một gặp thách thức. Khan hiếm nước ngọt cũng như sử dụng thiếu hiệu quả sẽ đe dọa phát triển, quản lý và bảo vệ nguồn tài nguyên này một cách bền vững.

Mô hình toán là công cụ hữu hiệu và kinh tế để đánh giá tài nguyên nước cấp lưu vực sông cả về chất và lượng. Rất nhiều mô hình thủy văn đã được xây dựng để mô phỏng, đánh giá lưu lượng và chất lượng nước sông cấp lưu vực ví dụ như mô hình Precipitation Runoff Modeling System (PRMS) (Leavesley, et al 1983); Hydrological Simulation Program-Fortran (HSPF) (Bicknell, et al 1993); MIKE 11 (DHI, 1995); Soil and Water Assessment Tool (SWAT) (Arnold, et al 1998). Trong số đó nổi bật là mô hình SWAT, được xây dựng để tính toán, đánh giá ảnh hưởng của các hoạt động nông nghiệp và quản lý đất đai tới chế độ thủy văn và chất lượng nước lưu

vực sông, với rất nhiều ứng dụng rộng rãi. Lợi thế của SWAT là nguồn cơ sở dữ liệu mở rất đầy đủ và được tích hợp hệ thống thông tin địa lý GIS đem đến sự thuận tiện cho người sử dụng. Hơn nữa, để hỗ trợ cho việc hiệu chỉnh và kiểm định mô hình, Soil and Water Assessment Tool Calibration and Uncertainty Procedure (SWAT-CUP) đã được giới thiệu. Được tích hợp những thuật toán tối ưu như Sequential Uncertainty Fitting version 2 (SUFI-2), Particle Swarm Optimization (PSO), Generalized Likelihood Uncertainty Estimation (GLUE), SWAT-CUP giúp tìm ra giá trị các thông số của mô hình một cách chính xác.

Với diện tích 6030 km², lưu vực sông Cầu đóng vai trò quan trọng trong phát triển kinh tế - xã hội, bảo vệ môi trường sinh thái cho các tỉnh Bắc Cạn, Thái Nguyên, Vĩnh Phúc, Bắc Ninh, Bắc Giang và Hà Nội (Ngô Chí Tuấn, nnk, 2012). Tuy nhiên, trên lưu vực sông Cầu hiện nay chỉ có duy nhất một trạm thủy văn đo lưu lượng tại Cầu Gia Bầy, Thái Nguyên (thượng lưu sông Cầu) mà không có trạm đo lưu lượng nào tại cửa ra của sông Cầu. Điều này đặt ra một nhu cầu cần thiết mô phỏng chế độ thủy văn của

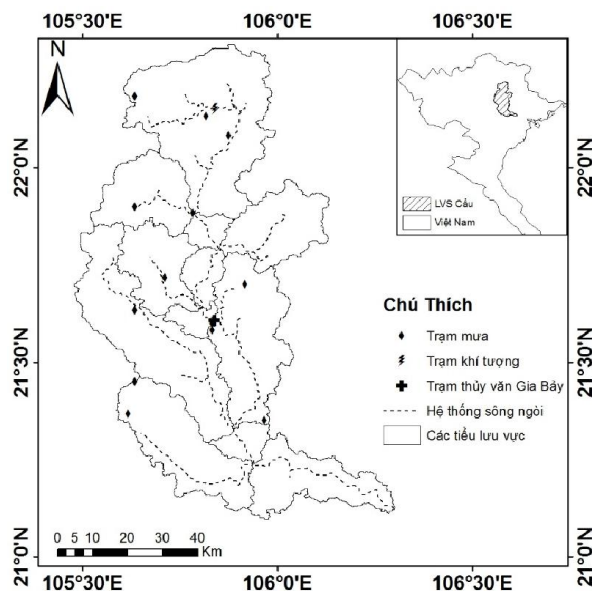
¹ Trung tâm nghiên cứu môi trường lưu vực sông (ICRE), Đại học Yamanashi, Nhật Bản.

toàn bộ lưu vực. Thêm vào đó, chi tiết về quá trình vận chuyển bùn cát cũng là một tiêu chí quan trọng để đánh giá chất lượng nước sông Cầu. Nghiên cứu này giới thiệu đầy đủ các bước thiết lập, hiệu chỉnh, kiểm định của mô hình SWAT để đánh giá chế độ thủy văn và vận chuyển bùn cát cho lưu vực sông Cầu.

2. VÙNG NGHIÊN CỨU

Bắt nguồn từ vùng núi phía Tây Bắc của tỉnh Bắc Cạn, sông Cầu trải trên phạm vi từ 21°07' đến 22°18' vĩ bắc và từ 105°28' đến 106°08' kinh đông (Hình 1); được bao bọc ở phía tây bởi dãy núi Ngân Sơn, ở phía bắc và phía tây bởi những dãy núi cao hơn 1000 m. Sông Cầu hợp lưu với sông Thương và sông Lục Nam tại Phả Lại, Hải Dương tạo thành hệ thống sông Thái Bình.

Lưu vực sông Cầu chịu ảnh hưởng của khí hậu nhiệt đới gió mùa với nhiệt độ trung bình biến đổi từ 18°C đến 23°C theo từng khu vực. Độ ẩm không khí trung bình năm dao động khoảng 81% - 87%. Tốc độ gió trung bình tháng và năm biến đổi rõ rệt theo địa hình và độ cao, dao động từ dưới 1m/s đến trên 2m/s. Lượng mưa hàng năm trung bình vào khoảng 1800mm, trong đó có 80% lượng mưa xuất hiện vào mùa lũ (từ tháng 5 đến tháng 10), lượng còn lại ở mùa khô (từ tháng 11 đến tháng 4 năm sau).



Hình 1. Bản đồ hệ thống lưu vực sông Cầu

Rừng và cây bụi chiếm phần lớn diện tích lưu vực sông Cầu (53%), sau đó là diện tích đất nông nghiệp (44%) phần còn lại là diện tích đất thổ cư và sông hồ (3%). Phân bố diện tích đất ở lưu vực sông Cầu rất không đều theo không gian, phía bắc chiếm phần lớn đất rừng, phía nam gần với đồng bằng châu thổ sông Hồng là nơi canh tác lúa và hoa màu. Về thổ nhưỡng, trên lưu vực sông Cầu, đất xám feralit chiếm phần lớn diện tích (70%), tiếp theo là các loại đất phù sa và phù sa cổ nằm rải rác ở khu vực phía nam của lưu vực chiếm khoảng 15%, phần còn lại là núi đá và các loại đất khác.

3. TỔNG QUAN VỀ MÔ HÌNH SWAT

Được tích hợp với GIS, mô hình SWAT phân lưu vực sông thành các đơn vị Hydrological Response Unit (HRU), đây là sự kết hợp đan xen của các lớp bản đồ sử dụng đất, thổ nhưỡng và độ dốc. Mỗi một HRU hàm chứa một sự đồng nhất về loại thảm phủ, thổ nhưỡng và độ dốc nhất định. Chu trình thủy văn của mô hình dựa trên nguyên lý cơ bản của phương trình cân bằng nước:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{day} - E_a - W_{seep} - Q_w) \quad (1)$$

Trong đó:

SW_t – tổng lượng nước tại cuối thời đoạn tính toán (mm)

SW_0 – tổng lượng nước ban đầu tại ngày thứ i (mm)

t – thời gian (ngày)

R_{day} – tổng lượng mưa tại ngày thứ i (mm)

Q_{day} – tổng lượng nước mặt tại ngày thứ i (mm)

E_a - lượng bốc thoát hơi nước tại ngày thứ i (mm)

W_{seep} – lượng nước đi vào tầng nước ngầm ngày thứ i (mm)

Q_w – lượng nước hồi quy tại ngày thứ i (mm)

SWAT phân chia chu trình thủy văn ở lưu vực thành hai giai đoạn. Giai đoạn trên bề mặt đất mô tả quá trình hình thành dòng chảy của các tiểu lưu vực chảy ra các kênh, sông suối. Giai đoạn trên kênh mô tả quá trình mà nước từ các kênh này chảy đến cửa ra của lưu vực sông. SWAT tích hợp hai phương pháp để tính toán dòng chảy bề mặt, đó là phương pháp Soil Conservation Service (SCS) và tính thấm của

Green & Ampt. Trong nghiên cứu này, phương pháp SCS đã được lựa chọn dựa trên bộ số liệu mưa ngày.

Để tính toán lượng bốc hơi tiềm năng, mô hình SWAT cung cấp ba phương pháp: Hargreaves, Penman/Monteith và Priestley & Taylor. Bộ số liệu khí tượng thu thập (nhiệt độ ngày lớn nhất và nhỏ nhất) phù hợp với phương pháp Hargreaves trong nghiên cứu này. Xói mòn đất và vận chuyển bùn cát gây nên bởi mưa và dòng chảy mặt được tính toán bằng phương trình Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) cho từng tiểu lưu vực. Cuối cùng, để tính toán dòng chảy trên hệ thống sông của lưu vực, phương pháp Muskingum được sử dụng trong nghiên cứu này.

4. THIẾT LẬP MÔ HÌNH

SWAT yêu cầu một lượng lớn dữ liệu đầu vào bao gồm bản đồ địa hình (DEM); bản đồ sử dụng đất, thảm phủ; các số liệu về khí tượng thủy văn... Cụ thể, số liệu đầu vào cho mô hình SWAT ở nghiên cứu này bao gồm các thành phần như ở Bảng 1. Mô hình SWAT phân chia lưu vực thành các đơn vị đồng nhất HRU dựa vào các bản đồ địa hình, thảm phủ, thổ nhưỡng đầu vào. Sau đó, các dữ liệu mưa, nhiệt độ, gió, độ ẩm theo ngày được khai báo.

Để kiểm tra khả năng của mô hình, bước hiệu chỉnh và kiểm nghiệm cần phải được tiến hành. Không chỉ đánh giá trực quan thông qua biểu đồ so sánh lưu lượng thực đo và mô phỏng, các chỉ số thống kê cũng cần được tính toán và xem xét. Nghiên cứu của Moriasi năm 2007 đề xuất ba chỉ tiêu để đánh giá mô hình thủy văn đó là: hệ số hiệu quả Nash & Sutcliffe, hệ số tắt định R^2 và PBIAS như trong Bảng 2.

Bảng 1. Các dữ liệu đầu vào của mô hình SWAT

Dữ liệu đầu vào	Số lượng/ độ phân giải	Mục đích sử dụng
DEM – Bản đồ địa hình	90 m x 90 m	Thiết lập mô hình
Bản đồ sử dụng đất	300 m x 300 m	
Bản đồ thổ nhưỡng	1 km x 1 km	
Số liệu khí tượng theo ngày (nhiệt độ,	1 trạm	

độ ẩm tương đối, tốc độ gió) (2003-2014)		
Số liệu mưa ngày (2003-2014)	13 trạm	
Số liệu lưu lượng Trạm Gia Bảy (2003-2014)	1 trạm	Hiệu chỉnh và kiểm nghiệm mô hình
Nồng độ bùn cát nước sông Cầu tại trạm Gia Bảy (2011-2014)	19 mẫu	

Bảng 2. Chỉ tiêu thống kê đánh giá khả năng của mô hình thủy văn (nguồn Moriasi, 2007)

Xếp hạng	NSE & R^2	PBIAS
Rất tốt	$0.75 < NSE \& R^2 \leq 1.00$	$ PBIAS < 10$
Tốt	$0.65 < NSE \& R^2 \leq 0.75$	$10 \leq PBIAS < 15$
Đạt yêu cầu	$0.50 < NSE \& R^2 \leq 0.65$	$15 \leq PBIAS < 25$
Không đạt yêu cầu	$NSE \& R^2 \leq 0.50$	$ PBIAS \geq 25$

Nghiên cứu này sử dụng công cụ SWAT-CUP để tiến hành các bước phân tích độ nhạy, hiệu chỉnh và kiểm nghiệm các thông số của mô hình một cách tự động. Thuật toán tối ưu ở đây là SUFI-2 được thực hiện với các chỉ tiêu như NSE, R^2 và PBIAS. Mô hình SWAT được hiệu chỉnh theo hai bước liên tiếp. Đầu tiên, các thông số liên quan đến mô phỏng lưu lượng dòng chảy sẽ được hiệu chỉnh trước, sau đó đến lượt các thông số liên quan đến sự mô phỏng bùn cát. Thuật toán SUFI-2 tích hợp trong công cụ SWAT-CUP được dùng cho cả bước hiệu chỉnh và kiểm định với vài vòng lặp cho 1000 lượt mô phỏng. Ở bước mô phỏng lưu lượng dòng chảy, sau khi giai đoạn khởi động (từ năm 2003 đến 2006), mô hình được hiệu chỉnh cho các năm từ 2010 đến 2014 và kiểm nghiệm cho các năm trước đó (2007-2009) dựa vào chuỗi quan trắc lưu lượng tại trạm Gia Bảy, Thái Nguyên. Sau đó, các thông số liên quan đến việc mô phỏng lượng bùn cát trên lưu vực cũng được hiệu chỉnh và kiểm nghiệm khi so sánh với tài liệu quan trắc tính toán từ các năm 2007 đến 2014.

5. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

5.1. Tính toán lượng tải bùn cát làm giá trị thực đo

Do số lượng mẫu nồng độ bùn cát thực đo thu thập được khá ít ỏi gây trở ngại cho việc hiệu chỉnh mô hình, mối quan hệ giữa lượng tải bùn cát và lưu lượng dòng chảy đã được thiết lập để nhân rộng ra số lượng mẫu thực đo (theo tháng). Mối quan hệ đó được tính toán dựa trên phương trình:

$$L = aQ^b, \quad (2)$$

Trong đó L là lượng tải bùn cát (kg/ngày), Q là lưu lượng dòng chảy (m³/s), a, b là hằng số. Kết quả tính toán dựa vào các mẫu thu thập cho ra được mối quan hệ theo công thức L =

59.54Q^{2.07} với hệ số tương quan R² = 0.9 đạt yêu cầu để hồi quy lượng tải bùn cát thực đo. Kết quả hồi quy này sẽ được so sánh với giá trị mô phỏng để hiệu chỉnh mô hình.

5.2. Phân tích độ nhạy, hiệu chỉnh và kiểm nghiệm mô hình

SWAT là mô hình phân bố, phụ thuộc vào sự thay đổi của các biến khác nhau theo không gian và thời gian. Do đó, phân tích độ nhạy là bước quan trọng để tìm ra thông số có ảnh hưởng quyết định đến kết quả mô phỏng. Điều này giúp cho việc hiệu chỉnh mô hình được thuận tiện hơn bằng cách chỉ cần quan tâm đến các thông số có độ nhạy cao. Kết quả phân tích độ nhạy trong nghiên cứu này được trình bày trong Bảng 3.

Bảng 3. Các thông số của mô hình SWAT

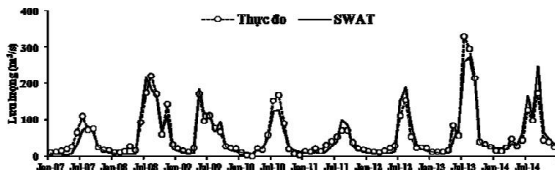
Phân loại thông số	Tên thông số	Đơn vị	Xếp hạng độ nhạy	Khoảng giá trị mặc định		Khoảng giá trị tối ưu		Giá trị tối ưu
				Min	Max	Min	Max	
Thông số quyết định mô phỏng lưu lượng dòng chảy	ALPHA_BF.gw *	-	1	0	1			0.031
	GW_DELAY.gw	ngày	2	0	500	430	468	440
	CH_K2.rte	mm/h	3	0	500	3	40	18.62
	GWQMN.gw	mm	4	0	5000	3900	4500	4269
	CH_N2.rte	-	5	0.01	0.3	0.001	0.045	0.016
	GW_REVAP.gw	-	6	0.02	0.2	0.02	0.06	0.023
	CN2.mgt **	-	7	-20	20	-2.286	4.022	-1.735
	CH_K1.sub	mm/h	8	0	300	0	12	0.284
	ESCO.hru	-	9	-20	20	0.677	0.831	0.752
	CH_N1.sub	-	10	0.01	30	0	1.68	0.321
	SURLAG.bsn	-	11	1	24	6.2	8	7.1
	CANMX.hru	-	12	0	100	64.6	83.4	83
	EVRCH.bsn	-	13	0.5	1	0.675	0.715	0.69
Thông số quyết định mô phỏng lượng tải bùn cát	USLE_K.sol	-	1	0	0.65	0	0.1	0.025
	OV_N.hru	-	2	0.01	30	11	21	19.2
	LAT_SED.hru	-	3	0	5000	45.57	1313	750
	CH_COV1.rte	-	4	0	0.6	0	0.2545	0.01
	SPEXP.bsn	-	5	1	1.5	1.195	1.3	1.276
	CH_COV2.rte	-	6	0.001	1	0.099	0.521	0.377
	SPCON.bsn	-	7	0.001	0.01	0.003	0.006	0.005

* thông số ALPHA_BF.gw được tính bằng phần mềm baseflow filter program dựa vào tài liệu lưu lượng quan trắc.

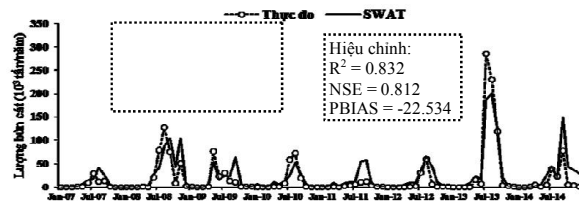
** giá trị thông số mặc định của mô hình được cộng thêm 1 giá trị cho trước

Có tổng cộng 19 thông số nhạy với mô hình được phân thành 2 loại: 13 thông số quyết định mô phỏng lưu lượng dòng chảy và 7 thông số quyết định mô phỏng lượng tải bùn cát. Sau khi chạy vài vòng lặp, SWAT-CUP đã tìm ra được khoảng giá trị tối ưu và giá trị tối ưu của các thông số nhạy cảm với mô hình. Kết quả phân tích chỉ ra rằng thông số ALPHA_BF.gw và GW_DELAY.gw là 2

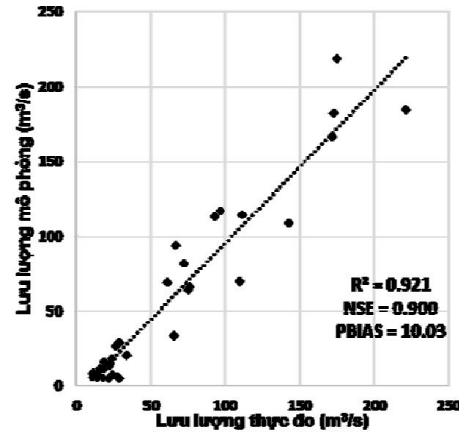
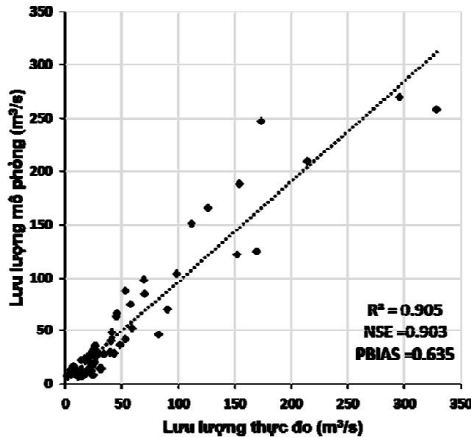
thông số nhạy nhất quyết định việc mô phỏng chu trình thủy văn của mô hình, theo sau là các thông số CH_K2.rte, GWQMN.gw, CH_N2.rte... Ở nghiên cứu này, ALPHA_BF.gw được tính bằng công cụ baseflow filter program dựa trên tài liệu về lưu lượng thực đo ở trạm Gia Bày. Ở mô đun mô phỏng bùn cát, thông số USLE_K.sol và OV_N.hru được xem là nhạy nhất.



Hình 2. Đường quá trình lưu lượng thực đo và mô phỏng từ mô hình SWAT tại trạm Gia Bảy giai đoạn hiệu chỉnh (2010-2014) và kiểm nghiệm (2007-2009).



Hình 3. Đường quá trình lượng tải bùn cát thực đo và mô phỏng giai đoạn hiệu chỉnh (2010-2014) và kiểm nghiệm (2007-2009).



Hình 4. Biểu đồ phân tán so sánh lưu lượng thực đo và mô phỏng giai đoạn hiệu chỉnh (hình trái) và kiểm nghiệm (hình phải)

Hiệu chỉnh và kiểm nghiệm mô hình được thực hiện dựa trên sự so sánh tương quan giữa số liệu thực đo và mô phỏng. Chuỗi số liệu về dòng chảy tại trạm Gia Bảy được sử dụng để hiệu chỉnh (từ 2010 đến 2014) và kiểm nghiệm (từ năm 2007 đến 2009). Kết quả cho thấy một sự phù hợp một cách trực quan giữa dòng chảy thực đo và mô phỏng (Hình 2 & 4). Chiếu theo chỉ tiêu đánh giá của Moriasi và cộng sự, bước hiệu chỉnh cho mức độ rất tốt với $R^2 = 0.905$, $NSE = 0.903$ và $PBIAS = 0.635$. Ở bước kiểm nghiệm, kết quả cũng cho ra ở mức rất tốt với $R^2 = 0.921$; $NSE = 0.9$ và $PBIAS = 10.03$ (Hình 4). Tóm lại, mô hình SWAT đạt yêu cầu về mô phỏng lưu lượng dòng chảy cho lưu vực sông Cầu. Thông số quyết định lưu lượng dòng chảy được thiết lập làm tiền đề hiệu chỉnh thông số bùn cát của mô hình.

Tương tự như lưu lượng dòng chảy, mô đun tính toán bùn cát của mô hình cũng được hiệu chỉnh và kiểm nghiệm dựa trên chuỗi số liệu từ các năm từ 2007 đến 2014. Lượng tải bùn cát từ

kết quả hồi quy ở công thức (2) được so sánh với kết quả của mô hình. Hình 3 so sánh lượng tải bùn cát thực đo và mô phỏng tại trạm Gia Bảy. Nhìn chung độ phù hợp giữa số liệu thực đo và mô phỏng là khá tốt ngoại trừ mùa mưa năm 2011 khi kết quả từ mô hình lớn hơn khá nhiều so với tải liệu thực đo. Về chỉ tiêu thống kê, các chỉ số R^2 , NSE và PBIAS lần lượt là 0.832, 0.812 và -22.534 ở bước hiệu chỉnh và 0.645, 0.587 và -18.586 ở bước kiểm nghiệm. Như vậy, có thể kết luận mô hình SWAT đạt yêu cầu về tính toán lượng tải bùn cát cho lưu vực sông Cầu. Giá trị các thông số sau khi hiệu chỉnh mô hình được giới thiệu ở bảng 3.

5.3. Mô phỏng xói mòn đất và vận chuyển bùn cát

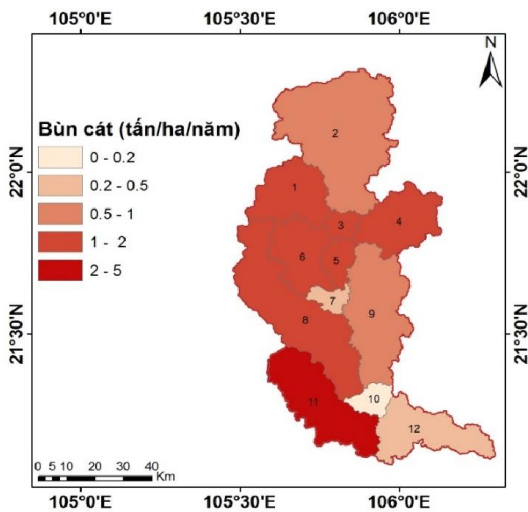
Theo kết quả mô phỏng, lượng đất bị xói mòn và vận chuyển ra hệ thống sông Cầu hàng năm vào khoảng 940 ngàn tấn (Bảng 4), năm nhiều nhất là năm 2013 với 1715 ngàn tấn, năm ít nhất là 2007 với 290 ngàn tấn. Lượng đất bị xói mòn thay biến đổi theo cả không gian và thời gian phụ

thuộc vào các yếu tố như mưa, thảm phủ, thổ nhưỡng, độ dốc địa hình. Hình 5 miêu tả sự biến đổi lượng bùn cát trên lưu các tiểu lưu vực khác nhau. Nhìn chung, hiện tượng xói mòn đất xảy ra

nghiêm trọng hơn ở hữu ngạn sông Cầu trong đó tiểu lưu vực số 11 xảy ra hiện tượng xói mòn đất lớn nhất, ngay bên cạnh là tiểu lưu vực 10 nơi ít bị ảnh hưởng bởi xói mòn đất nhất.

Bảng 4. Mô phỏng lượng bùn cát được vận chuyển ra cửa sông Cầu theo các năm

Năm	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Trung bình
Tổng lượng bùn cát (10^3 tấn/năm)	290	1227	656	570	720	915	1715	1428	940



Hình 5. Bản đồ phân bố lượng bùn cát theo các tiểu lưu vực

6. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, mô hình SWAT được ứng dụng để mô phỏng lưu lượng dòng chảy và bùn cát cho lưu vực sông Cầu. Kết quả phân tích độ nhạy cho thấy có thông số ALPHA_BF.gw, GW_DELAY.gw là các thông

số nhạy nhất ảnh hưởng tới kết quả mô phỏng chu trình thủy văn của mô hình. Về mô đun tính toán bùn cát, thông số USLE_K.sol được xếp hạng đầu tiên về độ nhạy. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm nghiệm của mô hình cũng được đánh giá ở mức rất tốt ở mô đun tính toán thủy văn ($R^2 = 0.905$, $NSE = 0.903$ và $PBIAS = 0.635$ cho bước hiệu chỉnh; $R^2 = 0.921$; $NSE = 0.9$ và $PBIAS = 10.03$ cho bước kiểm nghiệm) và mức đạt yêu cầu ở mô đun tính toán bùn cát (0.832, 0.812 và -22.534 ở bước hiệu chỉnh và 0.645, 0.587 và -18.586 ở bước kiểm nghiệm). Theo kết quả từ mô hình, lượng bùn cát đóng góp từ lưu vực sông Cầu biến đổi theo không gian và thời gian với tổng lượng hàng năm khoảng 940 ngàn tấn. Giá trị thông số mô hình sau khi hiệu chỉnh và kiểm định cũng như các kết quả mô phỏng của mô hình có thể được sử dụng cho những nghiên cứu tiếp theo cũng như giúp cho các nhà hoạch định tìm ra giải pháp cho vấn đề về phát triển bền vững nguồn nước tại lưu vực Sông Cầu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- NC Tuấn, NT Sơn, NY Như, (2010), *Cân bằng nước hệ thống lưu vực sông Cầu bằng mô hình MIKE BASIN theo định hướng phát triển kinh tế xã hội đến năm 2020*. Tạp chí Khoa học Tự nhiên và Công Nghệ, Tập 26, số 3S, trang 463-469.
- Leavesley GH, Lichty RW, Troutman BM, Saindon LG, (1983), *Precipitation-runoff modeling system - user's manual*. USGS, Water Resources Investigations Report 83-4238.
- Bicknell BR, Imhoff JC, Kittle JL, Donigian AS, Johanson RC, (1993), *Hydrologic simulation program Fortran; user's manual for release 10*. U.S. EPA. Environmental Research Laboratory, Athens.
- MIKE 11, (1995), *A computer based modeling system for rivers and channels: reference manual*. DHI Water and Environment.
- Arnold JG, Srinivasan R, Muttiah RS, Williams JR, (1998), *Large area hydrologic modeling and assessment. Part I: model development*. J Am Water Resources Association, 34(1), 73-89.

Moriasi DN, Arnold JG, VanLiew MW, Bingner RL, Harmel RD, Veith TL, (2007), *Model avaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations*. American Society of Agricultural and Biological Engineers. 50(3), 885-900.

Abstract:

**APPLICATION OF SWAT FOR MODELING RUNOFF
AND SEDIMENT IN CAU RIVER BASIN**

This study presents an application of the model Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to simulate water discharge and sediment fluxes in the Cau River Basin, an important river of the North region. The model was calibrated and validated based on a comparison of simulated and observed flow rates and sediment loads with time series from 2007 to 2014. In runoff simulation module, calibration and validation were assesed as very good class ($R^2 = 0.905$, $NSE = 0.903$ and $PBIAS = 0.635$ in calibration; $R^2 = 0.921$; $NSE = 0.9$ and $PBIAS = 10.03$ in validation). In sediment simulation processes were evaluted as satisfactory class (R^2 , NSE and $PBIAS$ were respectively 0.832, 0.812 and -22.534 in calibration; 0.645, 0.587 and -18.586 in validation). According to model simulation, sediment load contributed to Cau River varied spatially and temporally with annual average load about 940 thousand tons. The model results and calibrated parameters can be used for futher detail studies.

Keywords: SWAT, SWAT-CUP, water discharge, sediment fluxes, Cau river.

BBT nhận bài: 16/3/2017

Phản biện xong: 08/4/2017