

Ứng dụng mô hình SWAT tính toán kéo dài số liệu dòng chảy lưu vực sông Lục Nam

Trịnh Minh Ngọc*

*Khoa Khí tượng Thủy văn và Hải dương học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN
334 Nguyễn Trãi, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 25 tháng 11 năm 2009

Tóm tắt. Mô hình SWAT là mô hình thuộc loại mô hình có thông số phân bố theo tiểu vùng thủy văn, các thông số của mô hình được xác định dựa trên cơ sở vật lý của hiện tượng thủy văn và điều kiện của lưu vực. Trong nghiên cứu này, mô hình được thử nghiệm để tính toán kéo dài số liệu dòng chảy từ tài liệu mưa của lưu vực sông Lục Nam, tỉnh Bắc Giang.

1. Điều kiện tự nhiên và kinh tế xã hội lưu vực sông Lục Nam

a. Điều kiện tự nhiên

Sông Lục Nam là nhánh sông cấp I của hệ thống sông Thái Bình. Phần lớn diện tích lưu vực sông thuộc tỉnh Bắc Giang (trước năm 1995 là tỉnh Hà Bắc), với diện tích tập trung nước là 3070 km² chủ yếu qua lãnh thổ các huyện: Lục Nam, Lục Ngạn và Sơn Động [1].

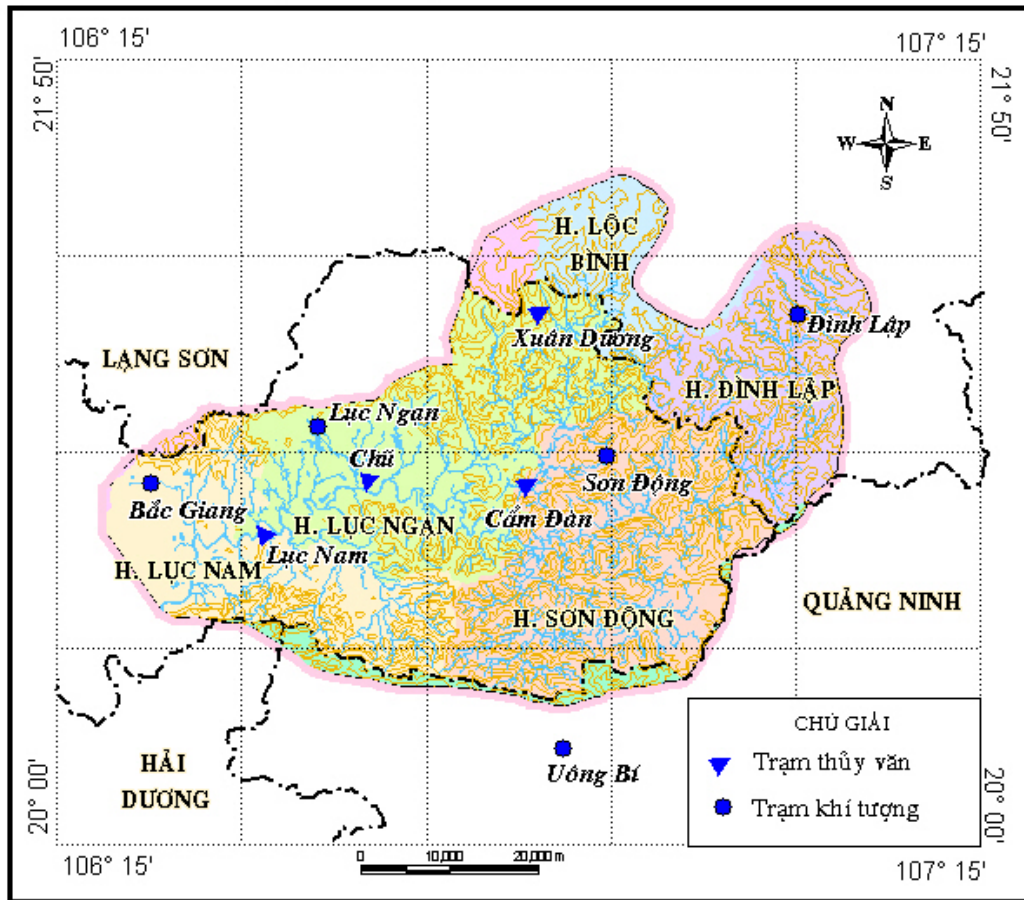
Lưu vực sông Lục Nam có cấu tạo địa chất là các thành tạo trầm tích và biến chất: Phần hạ lưu và các vùng đất dọc hai bên bờ sông là vùng bồi tích có xen lẫn trầm tích biển ở đồng bằng ven biển. Ở phía Đông và Đông Bắc có dạng trầm tích ven biển và lục địa như: Cuội kết, cát kết, bột kết, đá phiến sét, đá vôi và than đá. Do vị trí địa lý của lưu vực sông Lục Nam nằm giữa các dãy núi cánh cung phía Bắc nên nhìn

chung địa hình lưu vực chủ yếu là đồi, núi thấp, có xu thế thấp dần từ Đông sang Tây và được chia thành ba vùng: vùng núi, vùng trung du và vùng đồng bằng. Vùng núi và trung du chiếm phần lớn diện tích. Vùng đồng bằng chiếm ít diện tích hơn tập trung chủ yếu ở phần hạ lưu sông nơi mở rộng tiếp giáp với đồng bằng Bắc Bộ.

Lưu vực sông Lục Nam mang đặc điểm chung của khí hậu miền Bắc Việt Nam, chịu ảnh hưởng sâu sắc của cơ chế gió mùa. Do vị trí của lãnh thổ thuộc vùng Đông Bắc nên vùng này là nơi tiếp nhận sớm nhất gió mùa Đông Bắc tràn xuống Việt Nam, vì vậy chịu ảnh hưởng mạnh mẽ nhất của gió mùa cực đới, đem lại sự hạ thấp nhiệt độ mùa đông rõ rệt hơn cả. Hơn nữa, lưu vực sông còn nằm trong thung lũng sườn phía Bắc của cánh cung Đông Triều nên không chỉ mùa đông ít mưa mà mùa hè cũng ít mưa so với các vùng khác. Tình trạng ít mưa vào mùa hè do hướng của cánh cung Đông Triều đã chắn các luồng gió mùa hè và các nhiễu

* ĐT: 84-4-38584943

E-mail: trnhminhngoc@gmail.com



Hình 1. Bản đồ lưu vực và mạng lưới trạm quan trắc lưu vực sông Lục Nam.

động khí quyển tiến vào mưa rất lớn, chịu ảnh hưởng trực tiếp của bão, nhiều động khí quyển. Riêng vùng Tây Nam hạ lưu sông Lục Nam là vùng đồng bằng gió thoáng nên sự hoạt động và mức độ ảnh hưởng của thời tiết: bão, dông, hội tụ nhiệt đới tương đối rõ nét. Khu vực này bão thường đến sớm, hai tháng nhiều bão nhất là tháng VII và VIII, sang tháng IX bão đã ít đổ bộ. Chính vì mùa bão đến sớm và kết thúc sớm mà tháng mưa cực đại dịch sớm lên tháng VII đồng thời mùa mưa cũng chấm dứt sớm một tháng. Sang tháng X lượng mưa đã giảm xuống dưới giới hạn 100 mm/tháng trong nhiều năm. Do sự tương phản của hệ thống gió mùa nên lưu vực mang tính chất của hai mùa rõ rệt, mùa lũ

và mùa kiệt. Mùa lũ bắt đầu từ tháng VI đến tháng IX tập trung tới 80% tổng lượng dòng chảy năm còn tháng 8 mùa cạn từ tháng X đến tháng V thì chiếm khoảng 20%.

Nhiệt độ không khí trung bình năm toàn lưu vực là 23°C. Nhiệt độ giảm dần từ trung du lên miền núi. Mùa nóng từ tháng V đến tháng IX nhiệt độ trung bình là 27 - 28°C. Mùa lạnh từ tháng XII đến tháng II, nhiệt độ trung bình là 16 - 17°C. Sự khác chênh lệch nhiệt độ trung bình giữa tháng nóng nhất và lạnh nhất lên tới 12 - 14°C. Số tháng có nhiệt độ không khí dưới 15°C chỉ 1-2 tháng. ở vùng núi dưới 15°C, cụ thể là ở Lục Ngạn nhiệt độ: -1°C vào tháng I, XI, Sơn Đông nhiệt độ: 2,8°C và tháng I năm 1974.

b. Điều kiện kinh tế xã hội

Lưu vực sông Lục Nam bao gồm 5 huyện: 3 huyện thuộc tỉnh Bắc Giang là huyện Lục Ngạn, huyện Sơn Động, huyện Lục Nam và 2 huyện thuộc tỉnh Lạng Sơn bao gồm huyện Lộc Bình và huyện Đình Lập.

Mật độ dân số trung bình toàn lưu vực đạt 129 người/km². Tuy nhiên sự phân bố dân cư không đều tập trung nhiều ở các huyện đồng bằng như Lục Ngạn, Lục Nam, Sơn Động... còn ở một số huyện miền núi như Lộc Bình và Đình Lập thì dân cư lại thưa thớt. Trong khi đó quỹ đất ở đây lại lớn hơn các huyện khác. Chính điều này đã tạo nên một sức ép đối với sự phát triển kinh tế trên địa bàn lưu vực nhất là khi đa số người dân vẫn sống chủ yếu vào nông nghiệp [1].

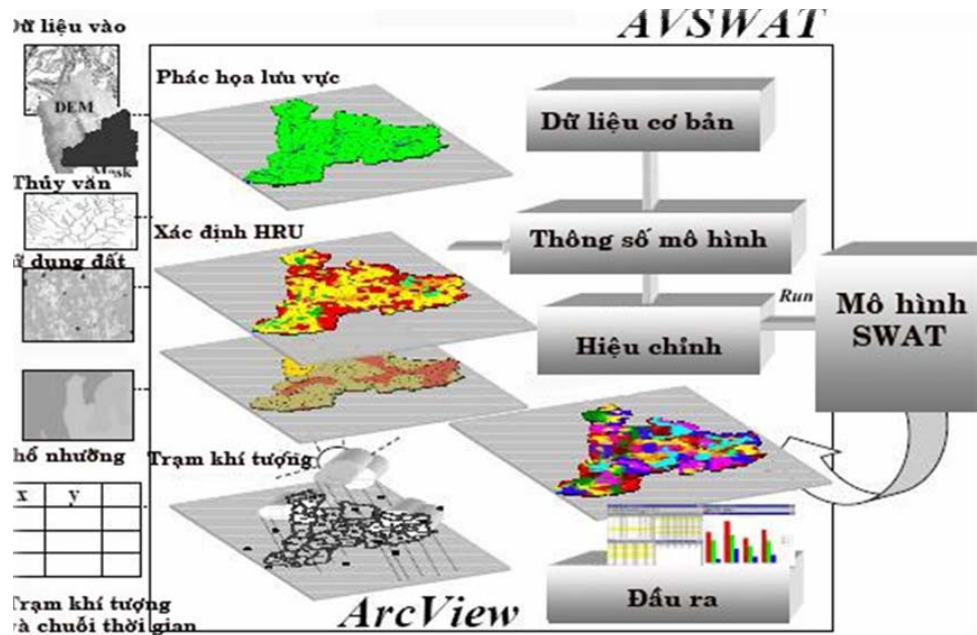
Trồng trọt là ngành chiếm tỷ trọng lớn trong ngành nông nghiệp trong đó cây lúa giữ vai trò chủ đạo chiếm 76,9 % diện tích đất trồng (năm 2003). Tuy nhiên năng suất lúa phụ thuộc nhiều vào điều kiện tự nhiên. Trong thực tế hệ thống thủy lợi lại chưa đáp ứng được nhu cầu trên diện rộng, cho nên ở nhiều nơi thủy lợi kém đã khiến cho người dân chưa thể yên tâm vào sản xuất, nhất là vùng đồi núi (Lộc Bình, Đình Lập). Ngoài cây lúa, các huyện chủ yếu trồng thêm một số loài cây lương thực, thực phẩm khác như ngô, khoai lang, sắn và các cây công nghiệp ngắn ngày như lạc, đậu tương. Các huyện trong lưu vực có cơ cấu chăn nuôi đa dạng, đa số là theo hình thái kinh tế hộ gia đình. Có một vài hộ chăn nuôi khá nhiều nhưng chưa đủ đạt tiêu chuẩn qui mô trang trại, diện tích chăn nuôi lại nằm trong diện tích đất ở nên gặp một số khó khăn khi muốn mở rộng qui mô. Lợn là vật nuôi phổ biến trong xã, thức ăn của lợn chủ yếu là cám gạo, ngô khoai của gia đình, rau ở ao và những thức ăn khác. Lợn lại ít bị dịch bệnh cho

nên ở khu vực nghiên cứu trung bình mỗi gia đình đều nuôi 1 đến 2 lợn lợn trong năm. Lợn nái mỗi năm một con cho 2 lứa, mỗi lứa khoảng 10-12 con, đem lại nguồn thu đáng kể cho kinh tế của gia đình. Các cơ sở sản xuất công nghiệp của các huyện còn thấp chủ yếu góp phần tạo công ăn việc làm cho lao động tại địa phương. Các cơ sở này chủ yếu hoạt động trong lĩnh vực vật liệu xây dựng (làm gạch), sản xuất trang phục, các sản phẩm gỗ và lâm sản. Do quy mô sản xuất nhỏ nên giá trị sản xuất công nghiệp còn thấp.

Đặc điểm tình hình tài liệu đo lưu lượng của các trạm trên lưu vực sông Lục Nam chỉ có hai trạm đo là trạm Chũ có thời gian quan trắc là 44 năm (1961 - 2005), trạm Cẩm Đàn là 13 năm (1962 - 1974), còn 2 trạm thủy văn là Xuân Dương và Lục Nam không có số liệu đo đạc dòng chảy. Trong khi đó, số liệu đo mưa tại các trạm trong lưu vực tương đối đầy đủ. Bởi vậy, để nghiên cứu được quy luật diễn biến theo không gian và thời gian của dòng chảy sông, cần khôi phục số liệu quá trình dòng chảy từ số liệu đo đạc quá trình mưa phục vụ cho việc đánh giá tài nguyên nước trong bài toán quy hoạch.

2. Cơ sở lý thuyết của mô hình SWAT

Mô hình SWAT (Soil and Water Assessment Tools) là một mô hình vật lý được xây dựng từ những năm 90 bởi tiến sỹ Dr. Jeff Arnold thuộc trung tâm nghiên cứu đất hoa Kỳ (USDA). Nội dung là mô hình mô phỏng ảnh hưởng của việc quản lý sử dụng đất đến nguồn nước, bùn cát và hàm lượng chất hữu cơ trong đất lên hệ thống lưu vực sông trong một khoảng thời gian nào đó [2].



Hình 1. Sơ đồ tổng quan hoạt động của mô hình SWAT [3].

Phương trình cơ bản của mô hình thủy văn:

$$SW_t = SW_o + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw})$$

Trong đó: SW_t là tổng lượng nước tại cuối thời đoạn tính toán (mm);

SW_o là tổng lượng nước ban đầu tại ngày thứ i (mm);

t là thời gian (ngày);

R_{day} là số tổng lượng mưa tại ngày thứ i (mm);

Q_{surf} là tổng lượng nước mặt của ngày thứ i (mm)

E_a là lượng bốc thoát hơi tại ngày thứ i (mm);

w_{seep} là lượng nước đi vào tầng ngầm tại ngày thứ i (mm);

Q_{gw} là số lượng nước hồi quy tại ngày thứ i (mm).

Mô hình SWAT sử dụng phương pháp số hiệu đường cong SCS (SCS, 1972) và phương

trình thấm Green_ Ampt (1911) để tính toán dòng chảy mặt. Phương trình lưu lượng SCS là phương trình thực nghiệm được sử dụng phổ biến trong những năm 1950. Phương pháp này đánh giá tổng lượng dòng chảy ứng với các kiểu sử dụng đất và tính chất đất khác nhau (Rallison và Miller, 1981).

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - I_a)^2}{(R_{day} - I_a + S)}$$

Trong đó: Q_{surf} là lượng dòng chảy mặt hay mưa hiệu quả (mm);

R_{day} là lượng mưa ngày (mm);

I_a là khả năng trữ nước ban đầu (mm);

S là thông số lượng trữ (mm).

Thông số lượng trữ thay đổi theo tính chất đất, việc sử dụng và quản lý đất, độ dốc và thời gian.

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

Với CN là số hiệu đường cong. Với $I_a = 0,2S$ phương trình được viết như sau:

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0.2S)^2}{(R_{day} + 0.8S)}$$

- Hệ số trễ dòng chảy mặt:

Với những lưu vực lớn có thời gian tập trung nước lớn hơn 1 ngày, chỉ một phần lưu lượng bề mặt sẽ đóng góp cho kênh chính. Mô hình SWAT dùng hệ số lượng trữ để mô tả phần dòng chảy không đóng góp cho kênh chính trong ngày.

Lưu lượng dòng chảy mặt được tính toán theo phương pháp chỉ số CN và hàm thấm Green và Ampt, lượng dòng chảy không đóng góp cho kênh chính được tính toán theo phương trình:

$$Q_{surf} = (Q'_{surf} + Q_{stor,i-1}) \cdot \left(1 - \exp\left[\frac{-surlag}{t_{conc}} \right] \right)$$

trong đó: Q_{surf} là lớp dòng chảy tới kênh chính trong một ngày (mm)

Q'_{surf} là lớp dòng chảy sinh ra trên lưu vực trong một ngày (mm)

$Q_{stor,i-1}$ là lượng trữ của ngày hôm trước (mm),
surlag là hệ số trễ

t_{conc} là thời gian tập trung (giờ)

- Tổn thất dọc đường

Những lưu vực khô và bán khô hạn có nhiều nhánh sông cạn kiệt gây tổn thất một lượng lớn dòng chảy trong kênh. Những tổn thất này làm giảm tổng lượng lũ truyền xuống hạ lưu. Phương pháp mô phỏng tổn thất dọc đường trong mô hình SWAT được xây dựng để đánh giá những tổn thất bằng việc so sánh sự khác biệt giữa dòng vào và dòng ra với giả thiết rằng không có lưu lượng bộ phận dọc kênh.

Phương trình tính toán lưu lượng sau khi khấu trừ tổn thất dọc đường:

$$vol_{Q_{surf},f} = \begin{cases} 0 & vol_{Q_{surf},i} \leq vol_{thr} \\ a_x + b_x \cdot vol_{Q_{surf},i} & vol_{Q_{surf},i} > vol_{thr} \end{cases}$$

trong đó:

- $vol_{Q_{surf},f}$ là tổng lượng dòng chảy, khấu trừ tổn thất dọc đường (m^3),

- a_x là hệ số triết giảm do bị chặn,

- b_x là hệ số triết giảm theo độ dốc,

- $vol_{Q_{surf},i}$ là tổng lượng dòng chảy trước khi khấu trừ tổn thất (m^3),

- vol_{thr} là tổng lượng dòng chảy ngưỡng của kênh dẫn (m^3) được xác định theo phương trình:

$$vol_{thr} = -\frac{a_x}{b_x}$$

3. Ứng dụng mô hình, kết quả và kiểm định

a. Chuẩn bị số liệu, tài liệu

Để phục vụ mục đích tính toán dòng chảy lưu vực sông Lục Nam, các lớp số liệu đầu vào đã thu thập và xử lý trong mô hình SWAT, bao gồm:

- Mô hình số độ cao (DEM) 20, được thu thập trên ngân hàng DEM của USGS tại địa chỉ web:

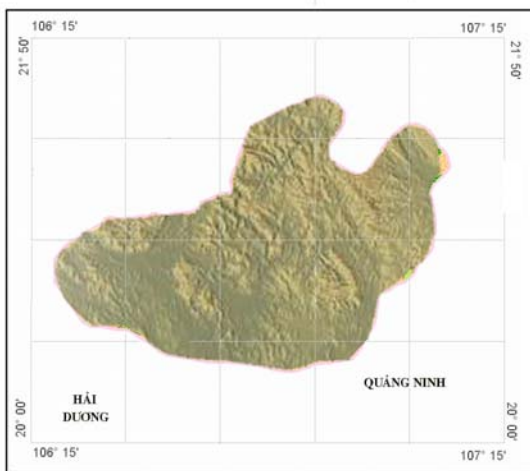
<http://edc.usgs.gov/products/elevation/dem.html>

- Các lớp thông tin địa hình địa lý cơ bản gồm: (1) Bản đồ mạng lưới sông suối được mô phỏng trực tiếp từ nền bản đồ DEM; (2) Bản đồ sử dụng đất được xây dựng trên nền bản đồ rừng 2000 và (3) Bản đồ đất được xây dựng trên nền bản đồ tỷ lệ 1:1.000.000

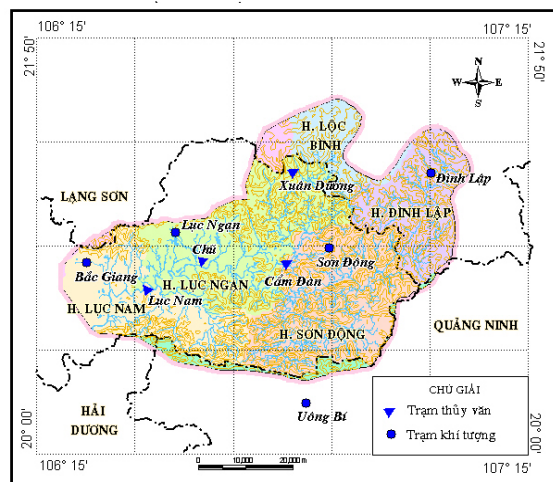
- Các số liệu khí tượng - thủy văn: Số liệu khí tượng tại trạm Chũ; Số liệu mưa tại các trạm Lục Nam, Sơn Động, Đình Lập, Bắc Giang; và số liệu lưu lượng bình quân ngày tại trạm được dùng trong tính toán. Chuỗi số liệu quan trắc được thu thập đầy đủ từ năm 1960 đến năm 2000.

Bảng 1. Các trạm đo mưa và trạm khí tượng trên lưu vực sông Lục Nam

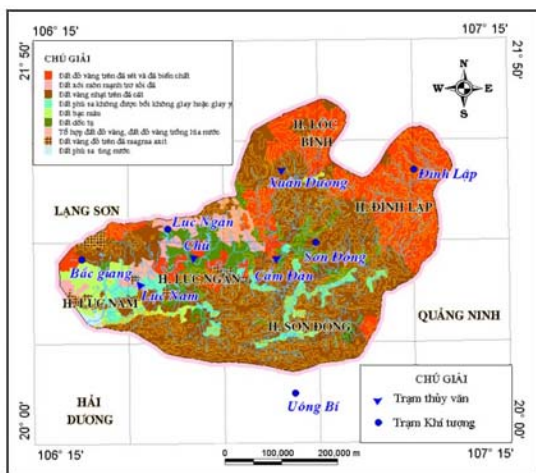
TT	Tên trạm	Vị trí		Chuỗi số liệu thu thập
		Kinh độ	Vĩ độ	
Trạm đo mưa				
1	Lục Nam	106°24'	21°16'	1960-2000
2	Sơn Động	106°51'	21°19'	1960-2000
3	Đình Lập	107°10'	21°31'	1960-2000
4	Bắc Giang	106°35'	21°50'	1960-2000
Trạm khí tượng				
1	Chũ	106°12'	21°18'	1960-2006



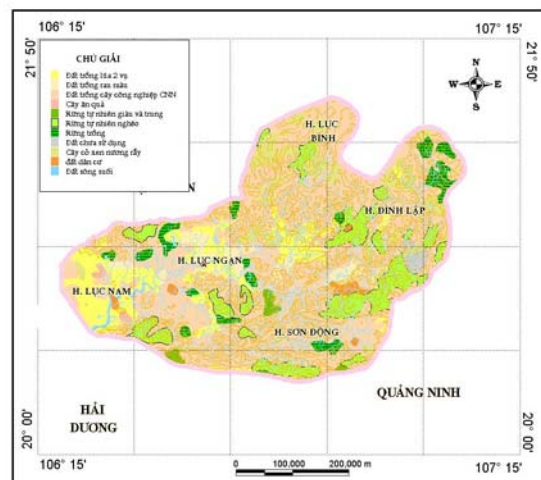
Hình 2. Bản đồ DEM.



Hình 3. Bản đồ mạng lưới sông suối.



Hình 4. Bản đồ đất.



Hình 5. Bản đồ sử dụng đất năm 2000.

Các bước ứng dụng:

- Mở giao diện SWAT trên nền ARCVIEW 3.2
- Nhập bản đồ mạng lưới sông suối và bản đồ DEM, mô hình SWAT chia lưu vực thành các lưu vực con.
- Nhập các file số liệu dạng excel: lượng mưa ngày, nhiệt độ tối thấp, nhiệt độ tối cao, lưu lượng bình quân, vị trí địa lý các trạm.
- Chồng ghép các lớp bản đồ: bản đồ đất, bản đồ thổ nhưỡng
- Tiến hành chạy mô hình

b. Hiệu chỉnh

Các thông số mô hình được xác định theo phương pháp thử sai. Hiệu chỉnh các thông số của mô hình đối với các lưu vực con sao cho kết quả tính toán lưu lượng phù hợp với lưu lượng thực đo. Đánh giá mức độ phù hợp của mô hình bằng hệ số Nash với số liệu hiệu chỉnh và kiểm định đều khá với hệ số CN tăng 0,8% so với giá trị mặc định. Hệ số Hiệu chỉnh $R^2=0,73$

c. Kiểm định

Chỉ tiêu đánh giá được dùng là chỉ tiêu Nash-Sutcliffe được sử dụng để kiểm định kết quả chạy của mô hình bằng cách so sánh hai quá trình dòng chảy thực đo và tính toán:

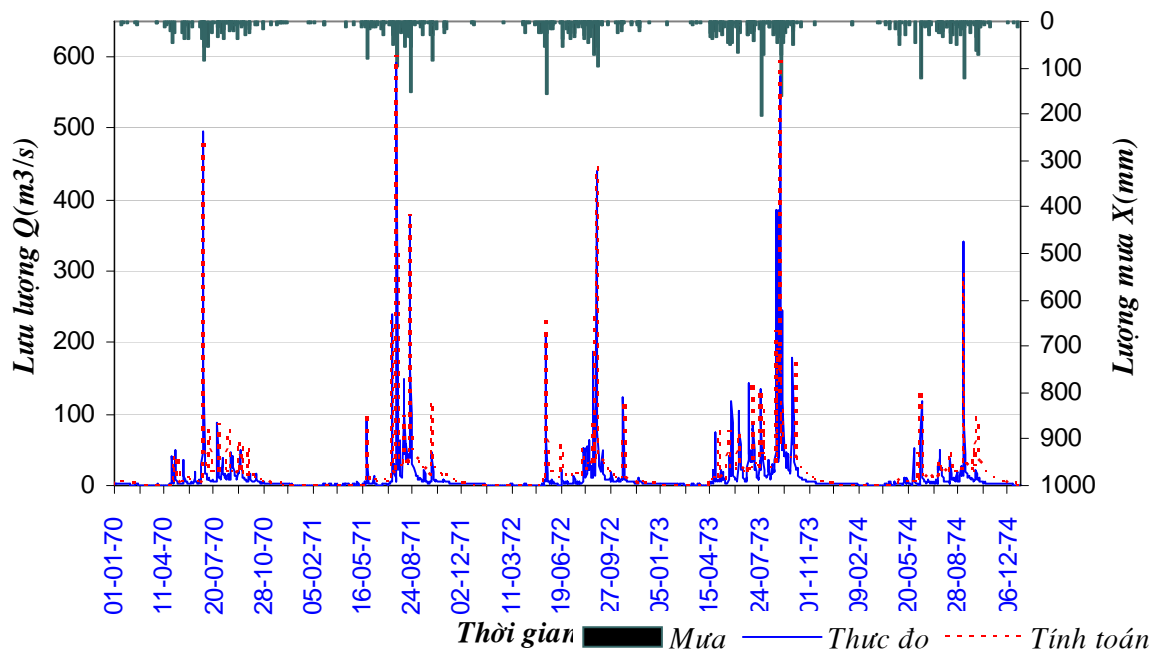
$$R^2 = \frac{F_o^2 - F^2}{F_o^2} \times 100\%$$

$$\text{trong đó: } F_o^2 = \sum_{j=1}^n (Q_{dj} - Q_{bqd})^2$$

$$F^2 = \sum_{j=1}^n (Q_{tj} - Q_{dj})^2$$

ở đây Q_{tj} và Q_{dj} = lưu lượng tính toán và thực đo tại thời điểm j ; Q_{bqd} = lưu lượng bình quân của chuỗi dòng chảy thực đo; n = độ dài chuỗi dòng chảy dùng để đánh giá mô hình trong hiệu chỉnh tham số.[27]

Chuỗi số liệu từ năm 1974 đến 1970 được sử dụng để tính toán kiểm nghiệm mô hình. Mức hiệu quả của mô hình đạt giá trị 0,73. Kết quả so sánh được trình bày trong Hình 6.



Hình 6. Đường quá trình dòng chảy giữa lưu lượng tính toán từ mưa và thực đo tại trạm Cẩm Đàn năm 1970-1974.

4. Kết luận

Mô hình SWAT được ứng dụng cho lưu vực sông Lục Nam, kết quả tính toán rất phù hợp với số liệu thực đo. Giai đoạn kiểm nghiệm mô hình, chỉ tiêu hiệu quả của mô hình chưa cao, nguyên nhân có thể là do số liệu từ các trạm đầu vào còn ít.

Mô hình SWAT là một hình có khả năng ứng dụng trong rất nhiều lĩnh vực như tính toán dự báo thủy văn, đánh giá xói mòn, chuyển động của chất dinh dưỡng trong đất, đánh giá chất lượng nước. Trong bài báo này, mô hình chỉ mới được thử nghiệm để kéo dài tài liệu dòng chảy. Trong thời gian tới, mô hình sẽ được nghiên cứu kỹ hơn để áp dụng cho các bài toán khác, phục vụ công tác quy hoạch quản lý tài nguyên nước.

Lời cảm ơn

Nội dung bài báo này là một phần kết quả của đề tài TN-09-34 do Đại học Khoa học tự nhiên Hà Nội tài trợ. Tác giả xin chân thành cảm ơn những sự giúp đỡ quý báu này.

Tài liệu tham khảo

- [1] Trịnh Minh Ngọc, *Nghiên cứu xác lập cơ sở khoa học cho việc quy hoạch khai thác bền vững tài nguyên nước sông Lục Nam*, Luận văn thạc sỹ khoa học, 2008.
- [2] ArcView for SWAT2000, User Guide.
- [3] S.L. Neitsch, J.G. Armorld, Kiniry, R. Scinivasan, J.R. Williams, *Soil and Water Assessment Tool*, SWAT, User's manual, 2002.

Application of SWAT model to calculate surface flow data of Luc Nam river basin

Trinh Minh Ngoc

*Faculty of Hydro-Meteorology & Oceanography, College of Science, VNU
334 Nguyen Trai, Hanoi, Vietnam*

SWAT (Soil and Water Assessment Tools) is the model that its parameters distribute with subwatersheds, its parameters are determined based on physic basis of basin condition and hydrology process. This paper presents application of SWAT to caculate surface flow date from meteorology data and maps of Luc Nam basin, Bac Giang province.