

MỘT SỐ VẤN ĐỀ LÝ THUYẾT VỀ LŨ SÁT MẶT DO MƯA

Nguyễn Ngọc Sinh
(Ủy ban Khoa học và kỹ thuật Nhà nước)

Thời gian gần đây, dòng chảy sát mặt nói chung, lũ sát mặt do mưa nói riêng ngày càng được tính tới trong các sơ đồ tính toán và mô hình dự báo thủy văn. Chẳng hạn, mô hình ba lớp, trong đó có lớp lũ sát mặt - mô hình SSARR đang được thử nghiệm để dự báo lũ vùng đồng bằng châu thổ sông Mê công, dự báo lũ lưu vực sông Đà và một số sông lớn khác, khôi phục đường quá trình dòng chảy để tính lũ thiệt hại, ... Nhưng các vấn đề lý thuyết nghiên cứu căn nguyên lũ sát mặt do mưa chưa được chú ý đầy đủ. Dưới đây trình bày một số vấn đề lý luận cơ bản về lũ sát mặt do mưa theo quan điểm sử dụng.

Trên thực tế, dòng chảy sát mặt đã được nhận biết từ lâu với các tên gọi khác nhau trong các trường hợp cụ thể, nhưng trong một thời gian dài người ta cũng chưa có điều kiện tìm hiểu bản chất của dòng chảy này. Bắt đầu từ những năm 60, bằng nhiều phương pháp tiếp cận khác nhau, các nhà thủy văn Xô viết đã dần dần xây dựng được học thuyết về dòng chảy sát mặt. Quá trình này chủ yếu được định đầu bằng các công trình của A.N. và N.Ph. Bephanhi (năm 1966, 1967) [1, 2] và M.Ph. Kribnui (năm 1967) [3]. Nhiều vấn đề lý thuyết và ứng dụng về dòng chảy sát mặt cũng được phản ánh trong các công trình của chúng tôi (năm 1971 - 1972) [4, 5, 6, 7].

So với dòng chảy mặt, ta cần chú ý tới những đặc trưng chính sau đây của dòng sát mặt. Trước hết nói về tốc độ dòng chảy. Đã xác định được rằng tốc độ dòng chảy sát mặt thực tế không phụ thuộc vào độ sâu lớp dòng chảy và có giá trị nhỏ hơn giá trị tốc độ dòng chảy mặt trong các điều kiện tương tự khoảng mười lần (trong khi tốc độ dòng chảy ngầm nhỏ hơn tới hàng nghìn lần). Có thể chấp nhận công thức sau đây tính tốc độ chảy tới hạn của dòng sát mặt:

$$v = v_0 i^n \quad (1)$$

trong đó i - độ dốc sườn dốc; v_0 - tốc độ dòng chảy khi $i = 1$, thông thường $v_0 = 0,4 - 0,8$ m/phút; n - hệ số thực nghiệm, phụ thuộc chủ yếu vào độ xốp của lớp đất tạo dòng, $n \approx 0,5$.

Khả năng tích nước và thoát nước là những đặc điểm quan trọng nhất của lớp đất thấm liên quan đến dòng sát mặt. Khả năng tích nước được đặc trưng bằng hệ số tích nước δ , còn khả năng thoát nước - bằng hệ số thoát nước δ_g :

$$\delta = \frac{Y_0}{H}, \quad \delta_g = \frac{D}{H}$$

trong đó H - độ dày lớp đất thấm, bằng khoảng cách từ mặt đất đến lớp cách nước tương đối trên đó hình thành dòng sát mặt; Y_0 - lớp nước cần để bão hòa toàn bộ lớp đất thấm; D - lớp nước cần để bão hòa đường dẫn dòng sát mặt.

Trong mô hình vật lý của dòng sát mặt, cần tính được càng đầy đủ càng tốt các đặc điểm của v , δ và δ_g . Các công trình được công bố trước năm 1970 đã không có điều kiện thực hiện việc đó. Kết quả phân tích số liệu thực nghiệm đã cho phép chúng tôi kết luận rằng δ và δ_g giảm khi độ ẩm đất tăng và nhanh chóng đạt giá trị ổn định, vì vậy có thể tính theo giá trị trung bình thời đoạn, nhất là trong mùa mưa. Như vậy, chỉ cần xem xét sự biến đổi của δ và δ_g theo không gian, chủ yếu theo hai trường hợp thường gặp: 1) Tăng dần từ đường phân nước đến chân sườn dốc ứng với lưu vực phát triển quá trình xói mòn, và: 2) Giảm dần, ứng với sườn dốc phát triển quá trình sét hóa các vật chất bề rời.

Các nhận xét trên đã cho phép mô tả quá trình hình thành dòng sát mặt trong mô hình vật lý khái quát như sau. Giả sử sườn dốc dài x_{max} với lớp đất thấm có độ dốc và độ dốc bề mặt nên không thấm tương đối (mặt tiếp xúc với đá gốc). Độ dốc sườn bằng tốc độ thấm của lớp đất thấm luôn lớn hơn cường độ mưa và trường hợp bão hòa toàn bộ lớp đất này không xảy ra trong các điều kiện bình thường. Dòng sát mặt được hình thành trên nền đất không thấm tương đối với cường độ tạo dòng q (trường hợp đơn giản coi $h_y \approx h = \text{const}$). Giả định rằng các hệ số tích nước và thoát nước của lớp đất thấm có các giá trị lớn nhất tương ứng là δ và δ_g , và biến đổi theo quy luật giảm dần từ đường phân nước, còn tốc độ dòng sát mặt được tính theo công thức (1).

Theo phương pháp thông thường, được phương trình vi phân của dòng sát mặt từ mô hình vừa trình bày:

$$\delta_g v \left(1 - \frac{x}{L}\right)^n \frac{\partial y}{\partial x} + \delta \left(1 - \frac{x}{L}\right)^m \frac{\partial y}{\partial t} = \frac{n \delta_g v}{L} \left(1 - \frac{x}{L}\right)^{n-1} y + h \quad (2)$$

- ở đây y - độ sâu dòng chảy,
 L - khoảng cách từ đường phân nước đến vị trí có hệ số tích nước và thoát nước bằng "0",
 n, m - chỉ số mũ của các tương quan biến đổi của các hệ số tích nước và thoát nước theo khoảng cách.

Điều kiện tồn tại liên tục của tích phân chung của phương trình (2) không được thực hiện. Trên thực tế, trong các điều kiện ban đầu không phụ thuộc $y = 0$ nếu $t = 0$ và $y = 0$ nếu $x = 0$, ta nhận được hai lời giải ứng với hai pha dòng chảy khác nhau: pha dòng chảy hoàn toàn y_1 ở phần trên của sườn dốc và pha dòng chảy chưa hoàn toàn y_2 ở phần dưới của sườn dốc. Ở đây:

$$y_1 = \frac{h x}{\delta_g v} \frac{1}{\left(1 - \frac{x}{L}\right)^n} \quad (3)$$

$$y_2 = \frac{h}{\delta_g v} \frac{1}{\left(1 - \frac{x}{L}\right)^n} \left\{ (x - L) + L \left[\left(1 - \frac{x}{L}\right)^{m-n+1} + \frac{m-n+1}{L} \frac{\delta_g v}{\delta} t \right] \frac{1}{m-n+1} \right\} \quad (4)$$

nếu $m \neq n - 1$, và

$$y_2 = \frac{h}{\delta_g v} \frac{L^n}{(1-x)^{n-1}} \left[\exp\left(\frac{\delta_g v}{\delta L} t\right) - 1 \right] \quad (5)$$

nếu $m = n - 1$.

Chuyển động ở phần trên của sườn dốc phương trình (3) có đặc trưng ổn định với độ dốc khác nhau của đường mặt nước tùy thuộc giá trị n . Chuyển động ở phần dưới sườn dốc phương trình (4) hoặc (5) có đặc trưng không ổn định (phụ thuộc thời gian t).

Từ các phương trình (3) và (4) hoặc (5) còn có thể xác định được nhiều đặc trưng quan trọng khác của dòng sát mặt, ví dụ mặt phân chia giữa y_1 và y_2 trên sườn dốc, hệ số tập trung dòng chảy và thời gian chảy tới hạn t_s . Chẳng hạn, nếu đặt (3) = (4) và $x = x_{\max}$, ta có:

$$t_s = \frac{\delta L}{\delta_g v} \frac{1}{m-n+1} \left[1 - \left(1 - \frac{x_{\max}}{L}\right)^{m-n+1} \right] \quad (6)$$

Tương tự, nếu $m = n - 1$, ta có:

$$t_s = \frac{\delta L}{\delta_g v} \exp\left(1 - \frac{x_{\max}}{L}\right) \quad (7)$$

Rõ ràng t_s không phụ thuộc vào các thông số biến đổi theo thời gian. Nói cách khác, t_s ổn định cho các điều kiện cụ thể của sườn dốc đã biết. Đây là đặc điểm quan trọng của dòng sát mặt đã được các kết quả thực nghiệm chứng minh, và điều này cần được tính tới trong thực tế tính toán và dự báo.

Về mặt lý thuyết, cần khảo sát trường hợp $h_t = \text{const}$. Nghiên cứu của nhiều tác giả cho thấy rằng quá trình tạo dòng phù hợp về cơ bản với quá trình mưa. Vì vậy, có thể sử dụng công thức tính cường độ mưa trong phương trình (2):

$$h_t = b h_{\max} T^{\frac{1-b}{T}} t^{b-1} \quad (8)$$

để khảo sát ảnh hưởng của cường độ tạo dòng lên quá trình dòng chảy sát mặt, b - hệ số triết giảm mưa (đồng thời là của lượng nước tạo dòng), T - độ dài thời gian trận mưa.

Việc giải (2) có tính tới (8) cho thấy rằng, trong các điều kiện thường gặp của quá trình tạo dòng một đỉnh (có nhánh lên và nhánh xuống), đường quá trình nước lên của lũ sát mặt có hình cong lồi nhẹ về cơ bản không khác nhiều so với khi công nhận $h_t = h = \text{const}$. Điều này phù hợp với kết quả thực tế vì $b \approx 1$.

Sau khi kết thúc mưa, lượng nước dẫn bề mặt lưu vực thực tế bằng "0", vì vậy, trong phương trình (2), h_t được thay bằng cường độ thấm k_0 . Giải phương trình mới này có thể nhận được các giá trị độ sâu lớp nước ở phần lũ xuống cho các mặt cắt khác nhau trên sườn dốc. Từ đó thời gian lũ xuống C được tính bằng công thức:

$$C = \frac{\delta L}{\delta_g v} \frac{1}{m-n+1} \left[\left(1 - \frac{k_0}{k_0 + h} \frac{x_{\max}}{L}\right)^{m-n+1} - \left(1 - \frac{x_{\max}}{L}\right)^{m-n+1} \right] \quad (9)$$

Khi có đầy đủ các yếu tố của dòng sát mặt trên sườn dốc, ta có thể dựng được đường quá trình lưu lượng lũ sát mặt sườn dốc, từ đó tính được một đặc trưng quan trọng là lớp dòng chảy sát mặt. Mặt khác, có thể phân tích căn nguyên từ lượng mưa để tìm ra công thức tổng quát tính lớp dòng chảy đó.

Lượng nước mưa thấm vào lớp đất thấm, không thể ngay lập tức trở thành lượng nước tạo dòng. Trước hết, một lượng nước mưa nhất định sẽ mất để bão hòa lớp đất thấm đến một mức nào đó. Do cấu tạo không đều của lớp đất thấm, quá trình bão hòa không nhất thiết phải xảy ra trong toàn bộ khối đất, vì vậy, quá trình này sẽ xảy ra cả sau khi xuất hiện những dòng nước đầu tiên. Lượng nước mất này gọi là "mất do đất giữ", ký hiệu H_d . Đại lượng H_d là hàm của độ ẩm đất. Lượng nước mất khác là nước thấm qua lớp cách nước tương đối. Nước thấm này xảy ra trong khi mưa, gọi là "mất trong khi mưa" ($P_m = k_0 T$) và mất khi lũ xuống (P_x). Về phương diện căn nguyên, lớp nước tạo dòng S_T được tính theo công thức:

$$S_T = X_T - (H_d + k_0 T) \quad (10)$$

trong đó X_T - lượng mưa trên.

Từ đó dễ dàng nhận được công thức tính lớp dòng chảy sát mặt Y_g

$$Y_g = S_T - P_x = X_T - H_d - k_0 T - P_x \quad (11)$$

Tích phân đường quá trình trên lũ theo thời gian và so sánh với (11), ta có thể tìm được công thức tính lượng mưa mất khi lũ xuống P_x :

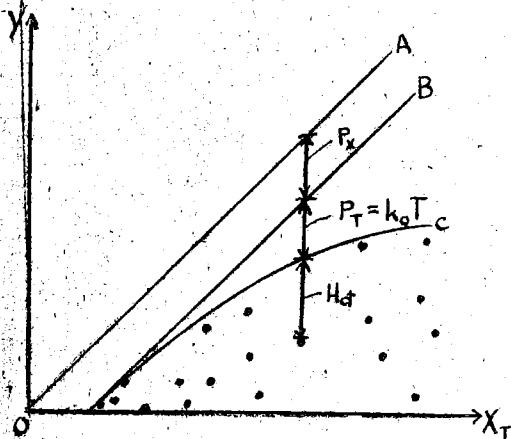
$$P_x = \frac{L}{x} \frac{k_0 \delta}{\delta_g v} \frac{L}{m-n+2} \left\{ \left[\left(1 - \frac{x}{L}\right)^{m-n+1} + \frac{m-n+1}{L} \frac{\delta_g v}{\delta} C \right]^{\frac{m-n+2}{m-n+1}} - \left(1 - \frac{x}{L}\right)^{m-n+2} \right\} + k_0 C \left(1 - \frac{L}{x}\right) \quad (12)$$

Đối với một sườn dốc (hoặc khái quát hơn một lưu vực), các hệ số và giá trị trong (12) nhìn chung là ổn định, không đổi. Từ đó có thể kết luận rằng lượng nước mất khi lũ xuống của dòng sát mặt trên sườn dốc là một đại lượng không đổi. Trong trường hợp đơn giản, nếu $m = n = 0$ và có thể bỏ qua tỉ số k_0 so với h (thay C từ công thức (9)), ta có:

$$P_x = \frac{k_0 \delta}{2 \delta_g v} x, \quad (13)$$

cho thấy rõ ràng hơn kết luận vừa rút ra.

Công thức (11) khá thuận lợi để sử dụng trong thực tế. Nh. Berphanhi đã đưa ra sơ đồ chung để xác định các thành phần của công thức đó. Sơ đồ này đến nay đã được phát triển và hoàn chỉnh hơn. Trong điều kiện của ta, có thể áp dụng cách sau đây đã được kiểm nghiệm cho một số điều kiện khác nhau để phân tích, tính toán các yếu tố của dòng chảy sát mặt.



Hình 1

từ giả thiết cho rằng $P_x \approx \text{const}$ đối với sườn dốc (hoặc lưu vực) nhất định, chú ý tại giá trị nhỏ của tích $k_0 T = P_m$ đối với các trận mưa không lớn tập trung gần điểm O, ta có thể kẻ đường DB song song với OA - khoảng cách từ OA đến DB cho ta giá trị P_x của sườn dốc, từ đó dễ dàng tính được P_m . Các giá trị P_x và P_m này sau đó cần kiểm nghiệm bằng các giá trị thực nghiệm xác định k_0 và đường quan hệ $X = f(T)$. Trong trường hợp thiếu giá trị thực nghiệm, có thể xác định k_0 như tangen của đường quan hệ giữa lượng mất nước chung của trận lũ ($X - Y$) và thời gian mưa tạo lũ.

Lượng nước mất do đất giữ H_d được xác định cho từng trận lũ, rồi dựng quan hệ:

$$H_d = f(X, I_m) \quad (14)$$

Ở đây I_m là chỉ số độ ẩm, xác định theo những quan hệ phức tạp với lượng mưa, nhiệt độ không khí và thời gian xảy ra so với thời điểm tính. Quan hệ này có tính thực nghiệm rõ ràng. Để giảm bớt khó khăn trong tính toán theo (14), có thể sử dụng lưu lượng nước trước lũ (hay chân lũ) thay I_m .

Nhận thấy rằng trong các công thức tính H_p và P_m , quan hệ $X = f(T)$ đóng vai trò quan trọng. Trong hoàn cảnh mưa do gió mùa nói chung, thường có thể quy nạp được các quan hệ $X = f(T)$ đặc trưng cho những vùng rộng lớn. Mặt khác, nếu phân tích kỹ đại lượng P_x trong công thức (12) bằng các yếu tố địa mạo Φ , thông số sườn dốc a_k và hệ số mất nước khi lũ xuống b_k ($P_x = a_k \Phi b_k$), có thể tính được các điều kiện địa phương trong khi xác định P_x để khái quát cho những vùng rộng lớn hơn. Những điều vừa nói cho phép giải quyết bài toán tính và dự báo các yếu tố của lũ mưa sát mặt trên cơ sở các quan hệ chung theo lãnh thổ trong các vùng rộng lớn. Thành công của phương hướng nghiên cứu này được thể hiện rõ nhất trong công trình của N.Ph. Bephanhi (năm 1977 [2]).

Một trong những cơ sở quan trọng cho phép phân tích áp dụng sơ đồ tính vừa trình bày là việc phát triển công tác thực nghiệm thủy văn hiện chưa được chú ý đúng mức ở ta. Tuy nhiên, như chúng tôi đã dự đoán trước đây và đang được thực tế chứng minh, do bản chất căn nguyên phù hợp, sơ đồ tính lũ sát mặt được trình bày sẽ có nhiều ứng dụng thực tế. Nhiệm vụ quan trọng hiện nay là tìm được các quan hệ ổn định cho từng vùng hoặc loại lưu vực đồng nhất về phương diện căn nguyên của dòng sát mặt. Đồng thời, cũng cần đẩy mạnh nghiên cứu lý thuyết, nhất là việc hoàn chỉnh mô hình vật lý ban đầu cho phù hợp hơn với thực tế.

Tài liệu tham khảo (tiếng Nga)

1. Bephanhi AN. Luận chứng lý thuyết các phương pháp nghiên cứu và tính lũ mưa ở Viễn Đông. Công trình của Viện khí tượng thủy văn Viễn đông Liên xô, loạt 22, Leningrat, 1966.
2. Bephanhu N.Ph. Dự báo lũ mưa trên cơ sở các quan hệ chung theo lãnh thổ. NXB Khí tượng - Thủy văn, Leningrat, 1977.
3. Kribnui M.Ph. Phân tích các quá trình dòng chảy lũ ở lưu vực mất nước mặt. Trong quyển "Nghiên cứu dòng chảy mặt và dòng chảy ngầm", NXB "Khoa học", Mat-xco-va, 1967.
4. Nguyễn Ngọc Sinh. Tách căn nguyên đường quá trình J theo khả năng thoát nước của lớp đất thấm. Tạp chí "Khí tượng - Thủy văn", Matxcova, № 9, 1971.
5. Nguyễn Ngọc Sinh. Sơ đồ tính gần đúng các yếu tố của lũ mưa trong điều kiện khí hậu, gió mùa. Tuyển tập "Khí tượng, khí hậu và thủy văn", Kiep loạt 8, 1971.
6. Nguyễn Ngọc Sinh. Công thức tính thấm ở các bãi thực nghiệm thuộc trạm dòng chảy Viễn đông. Sách vừa dẫn.
7. Nguyễn Ngọc Sinh. Phân tích các công thức tính dòng chảy lũ lớn nhất. Tuyển tập "Khí tượng, khí hậu và thủy văn", Kiep loạt 9, 1972.