VỀ DÒNG CHẢY SÁT MẶT TRÊN SƯỜN DỐC

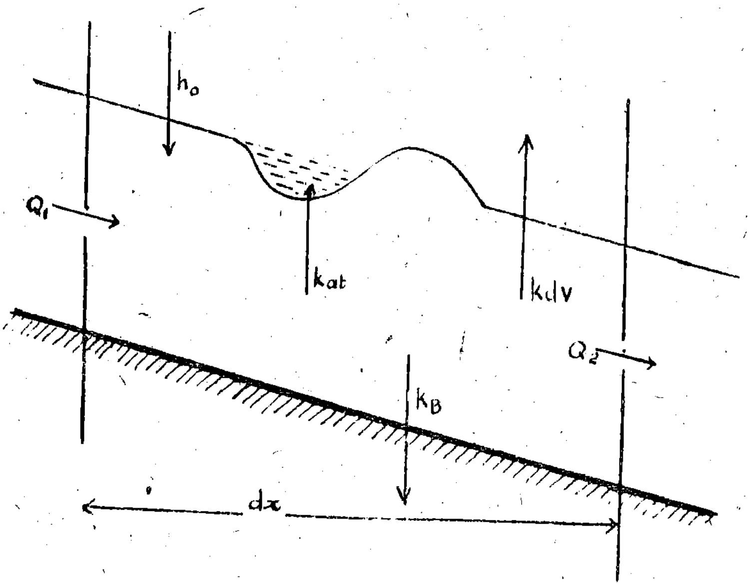
Vũ Tuấn - Viện KTTV

DÒNG chảy sát mặt hay còn gọi là dòng chảy trong đất, dòng chảy tiếp xúc ... là dòng chảy tạo thành do nước vận động qua những kẽ hở trong đất theo cùng hướng với mặt dốc. Đó là một thành phần dòng chảy quan trọng nên nhiều mô hình dòng chảy đề cập tới nó (thành phần Q_n trong mô hình Stanford của Linsley và Crawford, thành phần q_I trong mô hình Kôren - Kutrmer, thành phần RSS trong mô hình SSARR ...).

Trên cơ sở tài liệu của các lưu vực thực nghiệm ở vùng rừng Kôvita (bang Bắc Karôlina - Mỹ), Hertzler đã nhận xét : 85% lượng dòng chảy năm là loại dòng chảy này (trị số đó ở một số nơi thuộc miền Trung Tây có thể còn lớn hơn). Trong quá trình nghiên cứu thực nghiệm và lý thuyết ở các sông ngòi vùng Viễn đông, A.N. Bêphani đã xây dựng nên lý thuyết dòng chảy sát mặt [1] . Trong điều kiện nước ta, khi tiến hành những thực nghiệm về quá trình sinh chảy trên sườn dốc, chúng tôi đã trực tiếp quan sát thấy loại dòng chảy này và nhận thấy nó đónggóp một lượng tương đối lớn vào dòng chảy lũ (chủ yếu ở phần lũ xuống).Để tiến tới xác định một môhình dòng chảy hoàn chỉnh trong đó có tính đến thành phần dòng chảy này, bước đầu chúng tôi đã phân tích cơ sở lý thuyết của nó và có được một số kết quả sơ bộ xin trình bày dưới đây :

I - Phương trình vi phân cơ bản của dòng chảy sát mặt :

1. Những thành phần tham gia trong cân bằng nước dòng chảy sátmặt trên sườn dốc :



... trên một đơn vị chiều rộng của sườn dốc có chiều dài dx, trong thời gian dt, gồm các thành phần :

a/- Lưu lượng vào ở tuyến x : $Q_1 = V . \delta_g . y$

Trong đó : V - tốc độ của dòng chảy sát mặt.

y - độ sâu dòng sát mặt ở tuyến x $[y = f(t ; x)]$

δ_g - hệ số thoát nước [2] : $\delta_g = D/H$.

với : D - lớp nước cần để bão hòa đường dẫn dòng sát mặt

H - độ dày lớp đất thấm.

b/- Lưu lượng ra ở tuyến (x + dx) :

$$Q_2 = V . \delta_g \left(y + \frac{\partial y}{\partial x} dx \right)$$

Với ký hiệu như trên

c/- Lượng nước mưa thấm xuống qua bề mặt đất : Biểu thị qua cường độ bình quân h_o.

d/- Lượng nước thấm xuống dưới tầng cách nước tương đối : Biểu thị qua cường độ thấm bình quân k_B.

e/- Lượng nước trữ trên sườn dốc : Theo N. Ph. Bêphani [3] biểu thị qua hàm số :

$$V_t = V_m \left(1 - e^{-\frac{h_o t}{V_m}} \right)$$

hoặc cường độ trữ :

$$k_{at} = h_o e^{-\frac{h_o t}{V_m}} \quad \left(k_{at} = \frac{d V_t}{d_t} \right)$$

với : V_t - lượng trữ ở thời điểm t.

V_m - lớp nước lớn nhất cần để bão hòa toàn bộ lớp đất thấm H.

g/- Lượng nước bốc hơi từ đất trong khoảng dx, trong những điều kiện khí tượng không đổi, nó tỷ lệ thuận với lượng nước chứa trong đất, được biểu thị qua tích số kdV, trong đó : dV là lượng nước trữ trong đất (xem phần dưới) ; k là hệ số tỷ lệ thuận. Để đơn giản trong tính toán với điều kiện cho phép đề nghị lấy k là hằng số trong 2 trường hợp :

a) k = 0 : khi mưa.

b) k = Const, xác định bằng thực nghiệm : Sau khi mưa.

h/- Lượng tiêu hao lớp trữ ban đầu : Biểu thị qua cường độ tiêu hao :

$$p_{at} = p_o e^{-\frac{p_o t}{V_T}}$$

Lượng này xuất hiện sau khi mưa, đóng vai trò cấp nước chủ yếu trong đoạn ..., tương tự như vai trò của h_o trong khi có mưa.

$$p_o = h_o \left(1 - e^{-\frac{X}{V_m}} \right)$$

với : X – lượng mưa toàn trận.
V_T – lượng trữ sau thời gian mưa (T).

1/- Biến đổi lượng trữ trên độ dài dx :

$$dV = \delta \frac{\partial y}{\partial t} \; dx \, dt$$

với : δ – hệ số tích nước

$$\delta = Y_o/H$$

với : Y_o – lớp nước cần để bão hòa toàn bộ lớp đất thấm.

2. <u>Phương trình vi phân dòng sát mặt trong pha tạo nước</u> : Viết phương trình cân bằng nước trên đoạn dx của sườn dốc trong thời gian dt trong pha tạo nước :

$$V \delta_g \, y \, dt + \left(h_o - k_B - h_o e^{-\frac{h_o t}{V_m}}\right) dx \, dt - k \delta \frac{\partial y}{\partial t} dx dt - V \delta_g \left(y + \frac{\partial y}{\partial x} dx\right) dt = \delta \frac{\partial y}{\partial t} \; dx \, dt \qquad (1)$$

Sau khi biến đổi, ta có :

$$\boxed{V \delta_g \cdot \frac{\partial y}{\partial x} + (1 + k)\, \delta \cdot \frac{\partial y}{\partial t} = h_o - k_B - h_o e^{-\frac{h_o t}{V_m}}} \qquad (2)$$

3. <u>Phương trình vi phân dòng sát mặt trong pha nước rút</u> :

Tương tự, viết phương trình cân bằng khi nước rút :

$$V \delta_g \, y \, dt - k_B \, dx dt - k \, \delta \frac{\partial g}{\partial t} dx dt + p_o \, e^{-\frac{p_o t}{V_T}} dx dt - V \delta_g \left(y + \frac{\partial y}{\partial x} dx\right) dt = \delta \cdot \frac{\partial y}{\partial t} \; dx \, dt \qquad (3)$$

Sau khi biến đổi, ta có :

$$\boxed{V \delta_g \cdot \frac{\partial y}{\partial x} + (1 + k)\, \delta \cdot \frac{\partial y}{\partial t} = p_o \, e^{-\frac{p_o t}{V_T}} - k_B} \qquad (4)$$

II - Xác định độ sâu dòng chảy trong pha tạo nước :

Hệ phương trình vi phân thường ứng với phương trình đạo hàm riêng (2) là :

$$\frac{dt}{(1+k)\delta} = \frac{dx}{V\delta_g} = \frac{dy}{h_o - k_B - h_o e^{-\frac{h_o t}{V_m}}} \qquad (5)$$

Với mỗi đẳng thức trong (5) ta có các hằng số tích phân :

a/- Hằng số tích phân thứ nhất :

$$c_1 = x - \int_o^t \frac{V\delta_g}{(1+k)\delta}\, dt = x - \frac{V\delta_g\, t}{(1+k)\delta} \qquad (6)$$

b/- Hằng số tích phân thứ hai :

$$c_2 = y - \int_o^t \frac{h_o - k_B - h_o e^{-\frac{h_o t}{V_m}}}{(1+k)\delta}\, dt \qquad (7)$$

Xét các điều kiện đầu và điều kiện biên của bài toán :

1. Khi $t = 0$ (bắt đầu mưa) thì $y = 0$ (chưa sinh dòng chảy), do đó $c_2 = 0$, ta có :

$$y_1 = \int_o^t \frac{h_o - k_B - h_o e^{-\frac{h_o t}{V_m}}}{(1+k)\delta}\, dt \qquad (8)$$

2. Khi $x = 0$ (ở đường phân lưu) thì $y = 0$ với t bất kỳ. Thay vào (6) và (7) tìm được mối liên hệ giữa c_1 và c_2 :

$$c_2 = -\int_o^{-\frac{(1+k)\; c_1}{V\delta_g}} \frac{h_o - k_B - h_o e^{-\frac{h_o t}{V_m}}}{(1+k)\delta}\, dt \qquad (9)$$

Biến đổi cận tích phân trên :

$$-\frac{(1+k)\delta c_1}{V\delta_g} = -\frac{(1+k)\delta}{V\delta_g}\left[x - \frac{V\delta_g t}{(1+k)\delta}\right] = t - \frac{(1+k)\delta x}{V\delta_g} \qquad (10)$$

Áp dụng phép đổi cận tích phân vào (7) :

$$y_2 = c_2 + \int_o^t \frac{h_o - k_B - h_o e^{-\frac{h_o t}{V_m}}}{(1+k)\delta}\, dt \qquad (11)$$

$$= \int_o^t \frac{h_o - k_B - h_o e^{-\frac{h_o t}{V_m}}}{(1+k)\delta}\, dt - \int_o^{t-\frac{(1+k)\delta x}{V\delta_g}} \frac{h_o - k_B - h_o e^{-\frac{h_o t}{V_m}}}{(1+k)\delta}\, dt$$

Do đó :

$$y_2 = \int_{t - \frac{(1+k)\delta x}{V\delta_g}}^{t} \frac{h_o - k_B - h_o e^{-\frac{h_o t}{V_m}}}{(1+k)\delta} dt \qquad (12)$$

Như vậy, (8) và (12) là phương trình biểu diễn độ sâu dòngchảy sátmặt trong pha tạo nước, trong đó y_1 là độ sâu dòng chảy không hoàn toàn, còn y_2 là độ sâu dòng chảy hoàn toàn.

III – Xác định thời gian chảy tập trung của dòng chảy sát mặt τ_K :

τ_K là thời gian để điểm phân giới giữa y_1 và y_2 tính theo (8)và (12) chuyển từ đường phân lưu ($x = 0$) tới chân dốc ($x = L$). Do đó, ta xác định τ_K như sau :

Tích phân (8) :

$$y_1 = \int_{o}^{t} \frac{h_o - k_B - h_o e^{-\frac{h_o t}{V_m}}}{(1+k)\delta} dt$$

$$= \frac{1}{(1+k)\delta}\left[(h_o - k_B)t + V_m e^{-\frac{h_o t}{V_m}} \Big|_o^t\right]$$

$$= \frac{1}{(1+k)\delta}\left[(h_o - k_B)t + V_m e^{-\frac{h_o t}{V_m}} - V_m\right] \qquad (13)$$

Tích phân (12) :

$$y_2 = \int_{t - \frac{(1+k)\delta x}{V\delta_g}}^{t} \frac{h_o - k_B - h_o e^{-\frac{h_o t}{V_m}}}{(1+k)\delta} dt$$

$$= \frac{(h_o - k_B)}{(1+k)\delta} \cdot \frac{(1+k)\delta x}{V\delta_g} - \frac{1}{(1+k)\delta} V_m e^{-\frac{h_o t}{V_m}} \Bigg|_{t - \frac{(1+k)\delta x}{V\delta_g}}^{t}$$

$$= \frac{1}{(1+k)\delta}\left[\frac{(h_o - k_B)(1+k)\delta x}{V\delta_g} + V_m \left\{ e^{-\frac{h_o t}{V_m}} - e^{\frac{h_o (1+k)\delta x}{V_m \cdot V\delta_g} - \frac{h_o t}{V_m}} \right.\right. \qquad (14)$$

Hợp giải (13) và (14)

$$(h_o - k_B)\, t + V_m\, e^{-\frac{h_o t}{V_m}} - V_m = \frac{(h_o - k_B)(1 + k)\delta x}{V\delta_g} + V_m \left[e^{-\frac{h_o t}{V_m}} - e^{-\frac{h_o (1+k)\delta x}{V_m V\delta_g} - \frac{h_o t}{V_m}} \right]$$

$$t - \frac{V_m}{h_o - k_B} = \frac{(1 + k)\delta x}{V\delta_g} - \frac{V_m}{h_o - k_B}\, e^{\frac{h_o (1 + k)\delta x}{V_m V\delta_g} - \frac{h_o t}{V_m}} \qquad (15)$$

Đặt : $\frac{h_o}{V_m} \left(\frac{(1 + k)\, x}{V\delta_g} - t \right) = \beta$

$$\frac{(1 + k)\, x}{V\delta_g} = t_x$$

Thay vào (15) và biến đổi, ta có :

$$\frac{V_m}{h_o - k_B}\, e^{\beta} = \frac{V_m}{h_o - k_B} + t_x - t \qquad (16)$$

Đặt : $t_x - t = \chi$. Đồng thời, sử dụng khai triển Taylo tại $x = 0$ cho hàm e^{β} và lấy 3 số hạng đầu của khai triển

$$\frac{V_m}{h_o - k_B} \left(1 + \frac{h_o}{V_m}\chi + \frac{h_o^2}{2 V_m^2}\chi^2 \right) \approx \frac{V_m}{h_o - k_B} + \chi \qquad (17)$$

Giải phương trình bậc hai với ẩn χ , có hai nghiệm tương ứng :

a) $\chi_1 = 0$ tức $t = t_x$ hay $\tau_k = \frac{(1 + k)\delta L}{V\delta_g}$ (18)

b) $\chi_2 = -\frac{2 V_m k_B}{h_o^2}$

Với $t = t_x - \chi$, ta có : $\tau_k = \frac{(1 + k)\delta L}{V\delta_g} + \frac{2 V_m k_B}{h_o^2}$ (19)

Nghiệm (18) ứng với trường hợp lý thuyết ($V_m = 0$)(1) còn (19) ứng với trường hợp thực tế ($V_m \neq 0$).

IV - Nhận xét :

1. Phương trình vi phân (2) (4), các độ sâu dòng chảy không hoàn toàn (8) và dòng chảy hoàn toàn (12), thời gian chảy tập trung (18) (19) có khác hơn so với những kết quả tương ứng mà giáo sư A.N. Bêphani đưa ra trước đây do đã xét đến

(1) Nghiệm (18) đã được A.N. và N.Ph. Bêphani công bố trong các côngtrình [1] [3]

(Xem tiếp trang 31)