

KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU BƯỚC ĐẦU HIỆN TƯỢNG SỤC QUÉT DO NHỮNG TRẬN MƯA ĐẦU MÙA MƯA TRONG HỆ THỐNG CỐNG Ở THÀNH PHỐ HÀ NỘI

Nguyễn Thị Băng Thanh

Viện Địa lý - Viện Khoa học Công nghệ Việt Nam

Bài báo đề cập đến hiện tượng sục quét đầu mùa mưa trong hệ thống cống ở Tp. Hà Nội, các nguồn gây ô nhiễm và các yếu tố ảnh hưởng đến biểu đồ ô nhiễm khi mưa liên quan đến các yếu tố môi trường. Sau đó tác giả phân tích và đánh giá sơ bộ kết quả quan trắc cụ thể của một trận mưa ở một số vị trí cống ở Hà Nội và đề xuất hướng nghiên cứu tiếp theo.

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, hệ thống cống trong các thành phố ở nước ta đều là hệ thống cống chung, thu gom các loại nước thải và nước mưa vào cùng một đường cống. Nước chưa được xử lý đã tiêu thoát trực tiếp ra sông/hồ hoặc biển là nguồn gây ô nhiễm nước mặt. Khi mưa to, dòng nước này không chỉ bị ô nhiễm bởi nguồn nước thải hàng ngày, mà còn do vật chất bị rửa trôi từ mặt khu vực trôi vào lòng cống. Nhiều số liệu quan trắc cho thấy: có sự gia tăng nhanh hàm lượng và số lượng cát, bùn lơ lửng gây ô nhiễm nước cống vào đầu mùa mưa. Dòng nước bị nhiễm bẩn chảy qua hệ thống cống vào sông, hồ nhận thải khi mức độ pha loãng còn thấp, gây nên tình trạng ô nhiễm "cấp tính" với tải lượng ô nhiễm đáng kể.

2. Sục quét đầu mùa mưa

a. Cơ chế sục quét

Trên một khu vực đô thị nhất định, một trận mưa đủ mạnh có thể gây ra:

- 1) Tác động quét trôi các vật chất tích tụ trên bề mặt lưu vực của dòng nước mưa ban đầu trước khi đến cống;
- 2) Tác động sục khuấy cát, bùn lắng đọng trong cống khi vận tốc dòng chảy tăng;
- 3) Tác động đẩy trôi các hợp chất hòa tan có sẵn trong cống.

Trong đó tác động (2) và (3) đóng vai trò chính trong sục quét đầu mùa mưa.

b. Các nguồn gây ô nhiễm và tác động môi trường

Có 3 nguồn gây ô nhiễm dòng chảy khi mưa là ô nhiễm do nước thải, ô nhiễm do dòng nước mưa (với các vật chất đến từ bề mặt khu vực) và ô nhiễm do xói mòn kho cát, bùn đáy cống. Vai trò của mỗi nguồn đó có thể thay đổi tùy thuộc vào từng trận mưa.

Theo các nghiên cứu, kho cát, bùn đáy cống được coi là nguồn gây ô nhiễm chính trong việc sục quét đầu mùa mưa. Nguồn này được tích dần vào các thời kỳ không mưa, có thể bị xói đi một phần hoặc tất cả trong các trận mưa. Vật chất kho cát, bùn trong cống được phân làm 3 loại: vật chất vô cơ dạng hạt với khối lượng lớn đọng ở đáy cống; bùn, rêu hữu cơ trên thành cống, và lớp bùn quánh hữu cơ ở mặt

dao diện giữa đáy cống lắng đọng và dòng nước. Đặc biệt, lớp bùn quánh hữu cơ ở dao diện giữa nước và bề mặt đáy cống được coi là nguồn chính ô nhiễm hữu cơ trong thời gian này [2]. Kho trữ ô nhiễm trong cống bị chi phối do diễn biến các trận mưa và thành phần các nguồn nước thải. Có thể sử dụng mô hình cân bằng khối lượng để mô tả khối lượng chất gây ô nhiễm còn lại sau mỗi trận mưa [3]:

$$R_{i-1} + A_i = E_i + R_i \quad (1)$$

Trong đó:

A_i - khối lượng tích tụ giữa các trận mưa $i-1$ và i

$$A_i = \tau_{acc} \times DWP$$

τ_{acc} - khối lượng tích tụ trong một ngày (kg/ngày),

DWP - thời kỳ không mưa trước đó (ngày),

E_i - khối lượng bị xói trong suốt trận mưa i , được coi là hàm số của dòng chảy, thời kỳ không mưa trước đó, cường độ lớn nhất và cường độ trung bình trận mưa,

R_i - khối lượng còn lại sau trận mưa i .

Vấn đề môi trường do sự quét đầu mùa mưa gây ra cho sông/hồ nhận nước thải có thể chia làm hai loại: tác động cấp tính (acute effect, ngắn hạn) và tác động tích lũy (dài hạn). Các tác động cấp tính có thể là sự thiếu hụt oxy đột ngột, sự nhiễm các vi trùng gây bệnh và sự thu nạp một lượng lớn các vật chất lơ lửng. Các tác động tích lũy được đặc trưng bởi sự tích lũy từ từ các chất gây ô nhiễm cho sông/hồ nhận nước thải trong một thời kỳ nhất định và tác động bất lợi xảy ra khi hàm lượng của nó đạt đến một giá trị ngưỡng. Mức độ và quy mô ảnh hưởng của từng tác động lên chất lượng sông/hồ nhận nước thải (theo thời gian và không gian) phụ thuộc vào các trận mưa, các đặc trưng của dòng nước thải, và dòng chảy nơi nhận nước.

c. Các yếu tố ảnh hưởng tới biểu đồ ô nhiễm

Các nghiên cứu cho thấy: hình dạng biểu đồ ô nhiễm trong sự quét đầu mùa mưa phụ thuộc vào biến trình mưa, thời gian không mưa trước đó, các đặc trưng khu vực, các chuyển biến vi sinh và sinh học trong quá trình lắng đọng bùn, cát trước mùa mưa, và các quá trình vật lý trong quá trình lắng đọng dưới lòng cống.

Cường độ mưa đầu trận đủ mạnh đóng vai trò quan trọng trong sự quét đầu mùa mưa, vì các giá trị lớn nhất của hàm lượng ô nhiễm thường chỉ xảy ra trong vòng 30 phút đầu trận mưa. Thời kỳ không mưa trước đó càng dài thì các giá trị của hàm lượng/tải lượng ô nhiễm càng lớn.

Các đặc trưng của khu vực và mạng lưới cống cũng đóng vai trò quan trọng. Độ dốc và diện tích của khu vực nhỏ (có thời gian tập trung nước nhỏ) được coi là những nơi có sự quét đầu mùa mưa phát huy được tác dụng rất rõ rệt khi có mưa [5].

Khi có trận mưa: cát, bùn ở đáy cống bị cuốn trôi hoặc bị đọng lại thành cấu trúc mới. Trong các thời kỳ không mưa liên tục: cát, bùn ở đáy cống được hình thành, hoặc không bị phá vỡ, hoặc thay đổi liên tục do sự chuyển động của các chất

rắn gần đáy. Sự tự sắp xếp do trọng lực và các hoạt động vi sinh trong cát, bùn đáy vẫn tiếp diễn. Nếu như cát, bùn đáy thường xuyên được bồi đắp, màng sinh học không thể phát triển trên mặt nước trong lòng cống. Tuy nhiên, nếu cát bùn đáy cống có bề mặt màng sinh học ổn định, các màng sinh học này có thể được hình thành (dày chừng 0,5-1,0mm sau vài ngày ổn định) dẫn đến mật độ sinh khối và hệ số khuếch tán thay đổi. Chuyển biến chất hữu cơ trong nước thải rất đáng kể biến thành nước, xảy ra trong màng sinh học. Bề dày và thể tích cát, bùn ở đáy cống có thể tăng 20 - 40% do sự hình thành các khoang rỗng chứa đầy khí mê tan, sản phẩm của quá trình phân hủy yếm khí các chất hữu cơ [13]. Khi bị sục lên do các trận mưa, lượng vật chất trong đáy cống ổn định thường không được đắp thêm. Sự sắp xếp lại các hạt và sinh ra màng sinh học trên bề mặt đáy cống có xu hướng tăng lên. Các thực nghiệm cho thấy: khả năng chống xói chất ô nhiễm tăng lên với thời kỳ không mưa kéo dài.

Xét về tính chất vật lý, các lắng đọng trong cống bao gồm các vật chất hữu cơ và vô cơ có kích thước và mật độ khác nhau. Các lắng đọng hữu cơ một phần thể hiện tính kết dính không có trong vật chất lắng đọng vô cơ dạng hạt thuần túy. Khi đã lắng đọng xuống đáy, các chất này không dễ dàng bị sục lại bởi dòng chảy với vận tốc nhỏ. Thuật ngữ "dính" được sử dụng để mô tả các lắng đọng trong cống ở mức kháng xói lớn hơn mức dự tính so với các lắng đọng cát, bùn vô cơ dạng hạt có cùng kích thước. Thực nghiệm với các lắng đọng hữu cơ cho thấy: cấu trúc vật chất lắng đọng từ trên xuống gồm một lớp bề mặt tương đối mỏng và yếu (trong đó độ kháng xói tăng lên theo độ sâu), nằm trên một lớp chắc hơn với độ kháng xói tương đối ổn định. Độ dày lớp bề mặt chịu ảnh hưởng của độ dài của thời kỳ không mưa trước đó. Các thời kỳ không mưa kéo dài hơn có thể làm cho lớp này dày lên khi có sự lắng đọng cát, bùn hữu cơ dạng hạt mịn. Thông thường, hình dạng biểu đồ ô nhiễm phụ thuộc nhiều vào độ dày lớp yếu trên mặt, độ kháng xói bề mặt đáy cống và cấu trúc mặt cắt thẳng đứng của hạt cát, bùn lắng đọng trong cống [12].

3. Kết quả nghiên cứu bước đầu tại một số vị trí cống ở Tp. Hà Nội

a. Số liệu nghiên cứu

Như đã đề cập ở trên [9], hiện tượng sục quét đầu mùa mưa được ghi nhận trong trận mưa ngày 18/VI/1999 tại 2 vị trí cống thuộc khu vực thượng lưu sông Tô Lịch (Hà Nội): cống Ngọc Hà và cống Láng Trung. Cống Ngọc Hà tiếp nhận nước thải từ tiểu khu vực cống ngầm có diện tích xấp xỉ 0,3km², dòng chảy trung bình khi không ảnh hưởng mưa là 60 l/s. Mật độ dân số trên khu vực xấp xỉ 37.000 người/km². Tiểu khu vực cống Láng Trung lớn hơn, tiếp nhận nước thải từ một tiểu lưu vực cống nửa ngầm, nửa nổi với diện tích 1,22km² và dòng chảy khi không có mưa xấp xỉ 100 l/s. Mật độ dân số trên khu vực này xấp xỉ 10.000 người/km² (theo số liệu thống kê 1999). Số liệu mưa của Trạm Khí tượng Láng, ngày 18/VI/1999 với lượng mưa trận là 83,6mm, thời gian mưa từ 7,00 giờ đến 11,00 giờ. Phần lớn lượng mưa rơi vào nửa giờ đầu của trận mưa (48,5mm). Số ngày không mưa trước đó là 4 ngày. Các thông số về lượng và chất của nước đo được trong trận mưa này bao gồm: lưu lượng, độ dẫn điện, COD, BOD và độ đục. Tác động sục quét đã được ghi nhận

với các đỉnh thấp nhất của COD, BOD và đỉnh cao rất rõ rệt thể hiện ở độ đục trong 1 giờ đầu của trận mưa. Số liệu quan trắc đã phân tích, đánh giá cụ thể về cơ chế và tác động gây ô nhiễm của hiện tượng sục quét đầu mùa mưa xảy ra ở đây.

Ngoài ra, số liệu một số trận mưa của 2 năm 1998-1999 tại Trạm Láng Tp. Hà Nội cũng được sử dụng để phân tích đặc điểm và tần suất xuất hiện các trận mưa có tiềm năng gây sục quét trong năm. Đó là các năm có phân bố mưa tương đối tiêu biểu.

b. Phân tích số liệu và đánh giá

1) Xác định biến trình lưu lượng nước mưa và tải lượng ô nhiễm

Trong trận mưa gây úng ngập ngày 18/VI/1999, lưu lượng tiêu thoát nước mưa không đo liên tục do không cố định được dụng cụ đo, chỉ đo được 2 lần vào lúc nước xuống. Tuy nhiên, căn cứ vào số liệu độ dẫn điện đo được (thời đoạn 15 phút/1 lần) có thể xây dựng được đường quá trình lưu lượng tiêu úng gần đúng như [10] đã trình bày trước đây.

Căn cứ vào kết quả lưu lượng tiêu thoát úng, biến trình tải lượng ô nhiễm được tính theo công thức sau:

$$L_{\text{ô nhiễm } i} = Q_{\text{HHi}} * C_{\text{ô nhiễm } i} \quad (2)$$

Trong đó:

$L_{\text{ô nhiễm } i}$ - tải lượng chất gây ô nhiễm vào thời điểm i , mg/s,

Q_{HHi} - lưu lượng hỗn hợp của dòng nước tiêu thoát úng ngập trong cống, bao gồm cả nước mưa và nước thải, l/s,

$C_{\text{ô nhiễm } i}$ - hàm lượng chất gây ô nhiễm ở cùng thời điểm, mg/l.

Trong nghiên cứu này, tải lượng ô nhiễm đã được tính cho COD và cát bùn lơ lửng (SS). Các biến trình lưu lượng dòng chảy do mưa sinh ra và tải lượng ô nhiễm trong trận mưa này được nghiên cứu tại cống Láng Trung và cống Ngọc Hà được thể hiện ở hình 1.

2) Sơ bộ đánh giá tác động môi trường

Dấu hiệu sục quét đầu mùa mưa với tải lượng ô nhiễm tăng đã xảy ra ngay từ đầu. Khi mưa bắt đầu, lưu lượng nước trong cống tăng nhẹ và bắt đầu bị pha loãng (hàm lượng COD bắt đầu giảm [9]), nhưng tải lượng COD vẫn tăng do khả năng chuyển tải của dòng nước tăng (tăng khoảng 30% ở cống Láng Trung và 40% ở cống Ngọc Hà). Chỉ khi nào lưu lượng nước đạt đến độ lớn nhất định thì việc sục quét tổng thể mới có thể xảy ra. Theo số liệu quan trắc ở cống Láng Trung, lưu lượng gây sục quét tổng thể này là 1.750 l/s (ở thời đoạn thứ 2). Khi đạt đến giá trị này, hàm lượng và tải lượng của COD và SS đạt đến giá trị đỉnh. Sau đó, lưu lượng nước đến cống vẫn tiếp tục tăng, nhưng các giá trị của tải lượng ô nhiễm đều giảm. Điều đó cho thấy: kho cát bùn trong cống ở đây đã bị sục hết. Riêng ở cống Ngọc Hà, lưu lượng bắt đầu gây sục quét tổng thể là 1.420 l/s (ở thời đoạn thứ 2) và quá trình sục quét vẫn tiếp diễn trong khi dòng nước mưa đến vẫn tăng ở các thời đoạn tiếp theo. Ở đây, chưa có dấu hiệu cạn kiệt kho cát, bùn trong cống.

Từ đó, có thể rút ra kết luận: đối với tiềm năng lắng đọng cát, bùn nhất định, diễn biến hàm lượng và tải lượng ô nhiễm trong một trận mưa phụ thuộc chủ yếu vào cường độ lượng mưa đầu trận (trong khoảng 10 - 20 phút đầu). Nếu cường độ mưa đầu trận thấp, sự rửa trôi và tập trung các vật chất từ bề mặt khu vực cống sẽ xảy ra từ từ. Dòng nước mưa đến cống cũng sẽ tăng chậm, quá trình lôi cuốn vật chất lắng đọng vào dòng chảy xảy ra từ từ và lưu lượng gây sục quét tổng thể có thể đến chậm (hoặc có thể không đạt đến) trong khi trữ lượng của kho cát, bùn đáy giảm dần, dòng nước hỗn hợp có thể chỉ bị pha loãng và sục quét đầu mùa mưa có thể không xảy ra rõ rệt. Nếu cường độ mưa đủ mạnh ngay từ đầu trận, lưu lượng sục quét tổng thể sớm đạt đến (trong khi tiềm năng cát, bùn đáy còn lớn) hiện tượng xói sục quét làm tăng đột ngột hàm lượng chất gây ô nhiễm vào đầu trận mưa càng trở nên rõ rệt hơn.

Biến trình tải lượng ô nhiễm tính được cũng cho thấy: phần lớn của tổng tải lượng ô nhiễm tập trung trong giờ đầu của trận mưa. Thống kê trong 1 giờ đầu trận mưa cho thấy: ở cống Láng Trung, tải lượng của COD chiếm 8,63% và tải lượng của cát, bùn lơ lửng chiếm 35,4 % giá trị tổng tải lượng tương ứng của toàn trận. Ở cống Ngọc Hà, các giá trị tương ứng này là 20,8% với COD và 43,7% với cát, bùn lơ lửng. Như vậy, ở cả hai vị trí cống sục quét đầu trận mưa xảy ra rõ rệt hơn so với ô nhiễm do cát, bùn lơ lửng. Ô nhiễm hữu cơ (thông qua COD) chỉ xảy ra rõ rệt ở cống Ngọc Hà, nơi có mật độ dân cư lớn hơn 3,7 lần so với mật độ dân cư ở khu vực cống Láng Trung. Nguồn chính của các chất ô nhiễm hữu cơ lúc này là vật chất tích tụ trong các cống rãnh bị dòng nước mưa sục quét cuốn trôi.

Tuy nhiên, các kết quả quan trắc trận mưa ngày 18/VI/1999 mới chỉ đủ để ghi nhận sự xuất hiện của sục quét đầu thời kỳ mùa mưa, việc đánh giá và kết luận mới chỉ là sơ bộ cần tiến hành nghiên cứu tiếp theo. Các mẫu được lấy (mức) bằng tay khi mưa to, nên độ chính xác số liệu bị hạn chế. Số liệu mẫu chỉ lấy 15 phút một lần (trong khi đó ở các nước tiên tiến việc lấy mẫu và đo là hoàn toàn tự động với 2-5 phút/lần) nên chưa mô tả chính xác các biến đổi nhanh xảy ra vào đầu trận mưa.

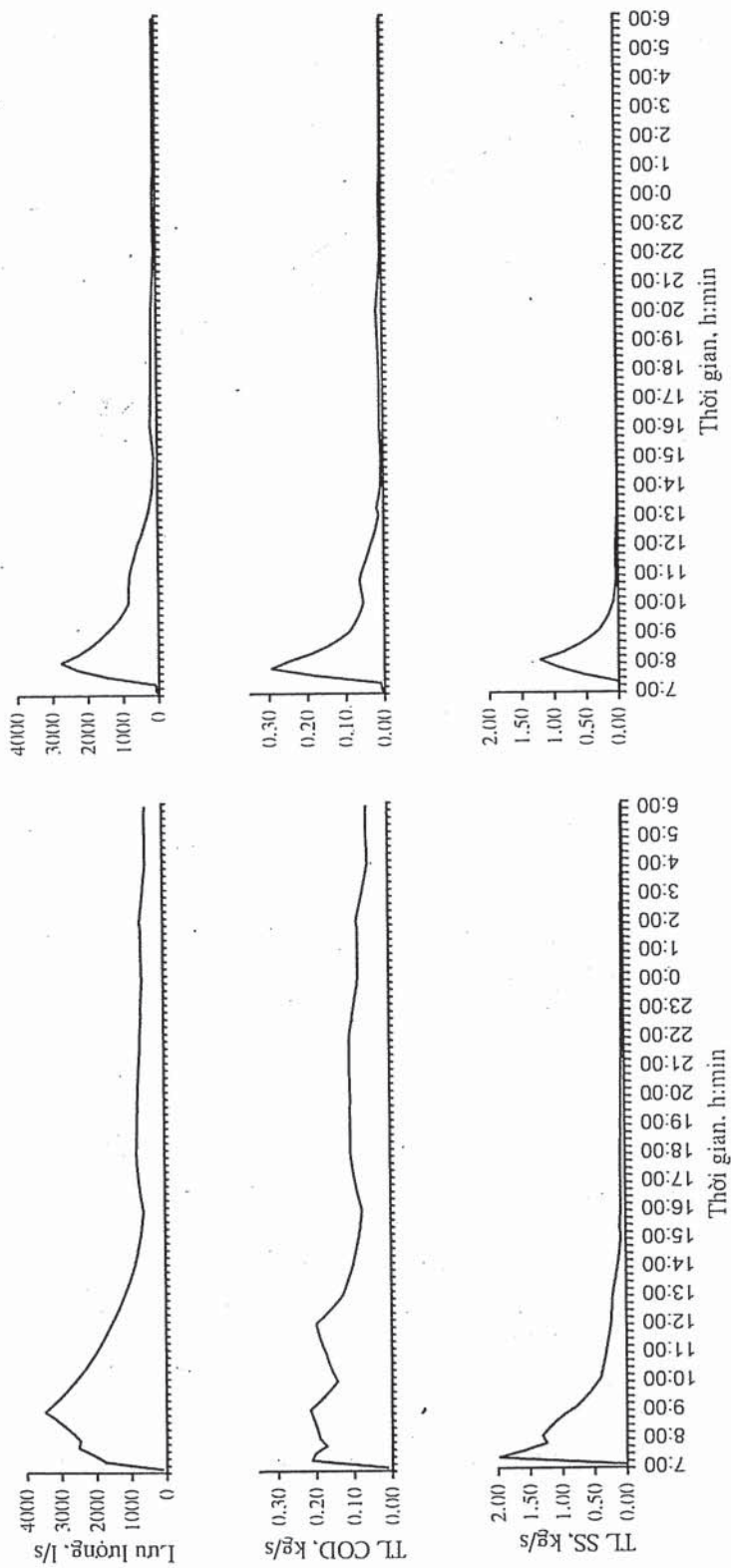
3) Phân tích các trận mưa có tiềm năng gây sục quét

Tác động môi trường do sục quét đầu mùa mưa của các trận mưa có thể được đánh giá thông qua cường độ mưa trong 30 phút đầu trận (C_{30} , phản ánh tiềm năng gây sục quét của dòng nước mưa sinh ra) và khoảng thời gian của thời kỳ không mưa trước đó (phản ánh tiềm năng tích tụ các chất gây ô nhiễm trên lưu vực và trong lòng cống). Theo số liệu lượng mưa và quá trình mưa có thể chia làm 2 loại: mưa rào và mưa dầm. Trong đó, đáng chú ý là mưa rào, cường độ mưa lớn nhất thường tập trung vào đầu trận.

Kết quả thống kê cho thấy: các trận mưa có cường độ mưa đầu trận lớn ($C_{30} > 1\text{mm/phút}$) thường chỉ tập trung vào các tháng có mưa nhiều (tháng VI và tháng VII), vì vậy thời kỳ không mưa trước đó không lớn (nằm trong khoảng 1- 4 ngày). Dòng chảy được sinh ra từ các trận mưa này có tiềm năng sục quét mạnh; nhưng chất gây ô nhiễm chưa lớn. Các trận mưa này ít xảy ra, tần suất xuất hiện trong năm chỉ khoảng 3-6%.

Cống Láng Trung

Cống Ngọc Hà



Hình 1. Thủy đồ lũ, tải lượng COD và tải lượng cát bùn lơ lửng trận lũ ngày 18/VI/1999

Các trận có cường độ mưa trong thời gian đầu khoảng 0,3-1,0mm/phút là các trận có tiềm năng gây sục quét tương đối lớn và thường xảy ra vào các tháng V đến tháng IX (tần suất 14-21% một năm). Các trận có thời kỳ không mưa trước đó lớn (>4 ngày) là những trận xảy ra vào đầu và gần cuối mùa mưa (các tháng V, tháng VIII đến tháng X).

Các trận có cường độ mưa thời gian đầu nhỏ (<0,3mm/phút) thường xảy ra nhiều hơn, chiếm tới 70 - 80% tổng số các trận mưa trong năm. Phần lớn các trận mưa này rơi vào các tháng mưa nhiều. Còn lại khoảng 30% các trận mưa này có tiềm năng các chất gây ô nhiễm đáng kể lại rơi vào các tháng ít mưa.

4. Kết luận

Hiện tượng sục quét đầu mùa mưa trong các hệ thống cống ở Tp. Hà Nội có thể gây ô nhiễm cho môi trường các sông/hồ nhận nước thải khi mưa. Ngoài nước thải sinh hoạt, nguồn gây ô nhiễm lúc này còn phụ thuộc vào bề mặt khu vực và từ kho cát, bùn trong cống. Điều này cần được chú ý khi quản lý ô nhiễm do dòng chảy khi có mưa.

Theo kết quả số liệu quan trắc, sục quét đầu mùa mưa bước đầu đã được ghi nhận trong trận mưa ngày 18/VI/1999 ở 2 vị trí cống của khu vực thượng sông Tô Lịch (Hà Nội). Tính toán tương quan giữa tổng tải lượng ô nhiễm trong một giờ đầu mùa mưa và trong toàn trận cho thấy: trong sục quét đầu mùa mưa ô nhiễm do cát, bùn lơ lửng là tiêu biểu. Các trận mưa rào có thời kỳ không mưa trước đó lớn được coi là có tiềm năng gây ô nhiễm môi trường nước trong sục quét đầu mùa mưa. Các trận mưa này thường rơi vào tháng đầu hoặc cuối mùa mưa, cần được tổ chức quan trắc thường xuyên khi nghiên cứu sục quét đầu mùa mưa tiếp theo. Từ đó, đề ra các biện pháp giảm thiểu sự ô nhiễm phù hợp sát với thực tế và có hiệu quả hơn.

Tài liệu tham khảo

1. (M1) Michelbach, S. (1995): 'Origin, resuspension and settling characteristics of solids transported in combined sewage'. Wat. Sci. Tech. Vol. 31, No. 7, pp. 69-76, 1995.
2. Ahyerre M., Chebbo G., Saad M., 2001: 'Sources and erosion of organic solids in a combined sewer'. Urban Water 2 (2000), pp. 305-315.
3. Chebbo G., Gromaire M.C., Ahyerre M., Garnaud S., 2001: 'Production and transport of urban wet weather pollution in combined sewer system: the "Marais" experimental urban catchment in Paris'. Urban water 3 (2001), pp. 3-15.
4. Herbert C. Preul, 1995: 'Analysis of source control for domestic wastewaters'. Wat. Sci. Tech. Vol. 32, No.1, pp. 153-159, 1995.
5. Krebs P., Holzer P., Huisman J. L., & Rauch W., 1999: 'First flush of dissolved compounds'. Wat. Sci. Tech. Vol. 39, pp. 55-62, 1999.
6. Krejci V., 1996: 'Integrated approach to the point-non point-pollution abatement in urban drainage'. Wat. Sci. Tech. Vol. 33, No. 4-5, pp. 9-15, 1996.
7. Nguyen Thi Bang Thanh, 1994: 'Assessment of combined sewer overflow on receiving water quality'. Luận văn Thạc sỹ.

8. Nguyễn Thị Băng Thanh. *Đánh giá hiện trạng Môi trường nước phục vụ cho quy hoạch thoát và xử lý nước thải đô thị*. Nghiên cứu thử nghiệm trong thành phố Hà Nội'. Báo cáo đề mục thuộc Đề án EU VNM/B7 - 6200/IB/96/05. Hà Nội, 2000.
9. Nguyễn Thị Băng Thanh và Nguyễn Văn Tuệ. 'Bước đầu nghiên cứu ảnh hưởng của các trận mưa đến môi trường nước trong lưu vực thượng sông Tô Lịch'. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* 2/2001.
10. Nguyễn Thị Băng Thanh. 'Xác định biến trình lưu lượng lũ từ lưu vực đô thị theo biến trình độ dẫn điện của dòng chảy khi mưa'. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* 11/2003. Hà Nội, 2003.
11. Saget A., Chebbo G., and Bertrand J.-L., 1996: 'The first flush in sewer systems'. *Wat. Sci. Tech.* Vol. 33, No. 9, pp. 101-108, 1996.
12. Skipworth P.J., Tait S.J., Saul A.J., 2001: 'The first foul flush in combined sewers: an investigation of the causes'. *Urban Water* 2(2000), pp. 317-325.
13. Vollertsen J., & Hvitved-Jacobsen T., 2000: 'Resuspension and oxygen uptake of sediments in combined sewers'. *Urban water* 2 (2000), pp. 21-27.
14. Welker A., Leinweber U., Klepischenski and Schmitt T. G., 1999: 'Effects of integrated stormwater management strategies on the combined sewer system and the wastewater treatment plant-river system'. *Wat. Sci. Tech.* Vol. 39, No. 2, pp. 151-157, 1999.