

Ô nhiễm arsenic trong nước ngầm huyện Thanh Bình và Tân Hồng, tỉnh Đồng Tháp

- Tô Thị Hiền
- Đỗ Thị Thùy Quyên

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM

- Brittany Merola
- Avner Vengosh

Trường Đại học Duke, Hoa Kỳ

(Bài nhận ngày ... tháng ... năm 2014, nhận đăng ngày ... tháng ... năm 2015)

TÓM TẮT

Tổng cộng 55 mẫu nước ngầm đã được thu thập trong tháng 2 và tháng 3 năm 2012 nhằm xác định hiện trạng ô nhiễm As trong nước ngầm tại huyện Thanh Bình và Tân Hồng tỉnh Đồng Tháp, Việt Nam. Nghiên cứu đã tiến hành đo đạc 5 thông số hiện trường (pH, nhiệt độ, DO, EC, Eh) và lấy mẫu phân tích As và Fe tổng số. Kết quả cho thấy tính chất nước ngầm tầng nông tại Thanh Bình và Tân Hồng có sự khác biệt rõ rệt. Tầng chứa nước nông Thanh Bình ở điều kiện khử (trung bình -93 mV) trong khi điều kiện oxy hóa chiếm ưu thế tại Tân Hồng

(trung bình 182.2 mV). As phân bố không đều trên toàn khu vực nghiên cứu. Nồng độ As trong nước ngầm tầng nông huyện Thanh Bình vượt xa giới hạn cho phép của WHO và QCVN 01:2009/BYT là 10 µg/L với giá trị trung bình là 408.16 µg/L. Ngược lại, 100% mẫu nước tại Tân Hồng có nồng độ nhỏ hơn giới hạn cho phép. Nồng độ Fe có tương quan âm ý nghĩa với nồng độ As trong các mẫu nước. Sự khử hòa tan oxyhydroxide sắt có thể là cơ chế quan trọng giải phóng As trong nước ngầm tầng nông huyện Thanh Bình.

Từ khóa: arsenic, Đồng Tháp, nước ngầm, cơ chế giải phóng

MỞ ĐẦU

Nhiễm độc do sử dụng nước ngầm bị ô nhiễm As được xem là vụ nhiễm độc hàng loạt lớn nhất trong lịch sử loài người nếu xét về số lượng người bị ảnh hưởng. Đồng bằng Ganges – Brahmaputra (Bangladesh) và Bengal (Ấn Độ) là những vùng bị ảnh hưởng nghiêm trọng nhất với hơn 63 triệu dân phơi nhiễm với nguồn nước ngầm có hàm lượng As lớn hơn 10 µg/L (tiêu chuẩn nước uống của WHO) và hơn 5 triệu trường hợp có triệu chứng bệnh arsenicosis, ung thư da do nhiễm độc As mãn tính [1].

Những đặc điểm địa chất tương đồng của các đồng bằng châu thổ tại Việt Nam so sánh với đồng bằng Ganges tại Bangladesh đã thu hút sự

quan tâm của các nhà khoa học từ những năm 2000. Nhiều nghiên cứu đã phát hiện vấn đề ô nhiễm As nghiêm trọng và đưa Việt Nam lên trên bản đồ ô nhiễm As thế giới. Đáng lưu ý, những khu vực có biểu hiện ô nhiễm As lại là nơi tập trung đông dân cư và là vùng sản xuất nông nghiệp chính của nước ta, do đó nhu cầu sử dụng nước ngầm cho sinh hoạt và nông nghiệp là rất lớn. Việc sử dụng nguồn nước nhiễm As trong thời gian dài sẽ dẫn tới những hậu quả nghiêm trọng không chỉ cho người dân trong khu vực mà còn ảnh hưởng đến sức khỏe cộng đồng khi As đi vào chuỗi thức ăn trong quá trình sản xuất nông nghiệp. Sự nhiễm độc As được gọi là

arsenicosis là một tai họa môi trường đối với sức khỏe con người. Những biểu hiện của bệnh nhân nhiễm độc As là chứng sạm da (melanosis), dày biểu bì (kerarosis), tổn thương mạch máu, rối loạn cảm giác về sự di động. Người bị nhiễm độc As lâu ngày sẽ có biểu hiện sừng hóa da, gầy sạm và mất sắc tố da hay bệnh Bowen... từ đó dẫn đến hoại tử hay ung thư da, viêm răng, khớp, tim mạch...[2]

Theo kết quả điều tra trên cả nước của Liên đoàn Quy hoạch và Điều tra Tài Nguyên Nước miền Nam và tổ chức UNICEF Tại Việt Nam, nồng độ As cao trong nước ngầm được phát hiện tại 2 khu vực chủ yếu là Đồng bằng Sông Hồng và Đồng bằng Sông Cửu Long [3]. Tại đồng bằng sông Hồng, các nghiên cứu về As trong nước ngầm đã được triển khai từ rất sớm với mức độ chi tiết cao [4, 5, 6] trong khi đó những nghiên cứu tại khu vực Đồng bằng Sông Cửu Long còn nhiều hạn chế. Nghiên cứu này cung cấp thông tin chi tiết về tính chất nước ngầm và làm rõ cơ chế giải phóng As trong nước ngầm tại khu vực nghiên cứu thuộc tỉnh Đồng Tháp, nơi có biểu hiện As trong nước ngầm cao nhất tại Đồng bằng Sông Cửu Long [7]. Ngoài ra, kết quả của nghiên cứu sẽ là những thông tin quý giá phục vụ cho việc phát triển công nghệ xử lý nước ngầm thích hợp tại khu vực.

PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Khu vực nghiên cứu

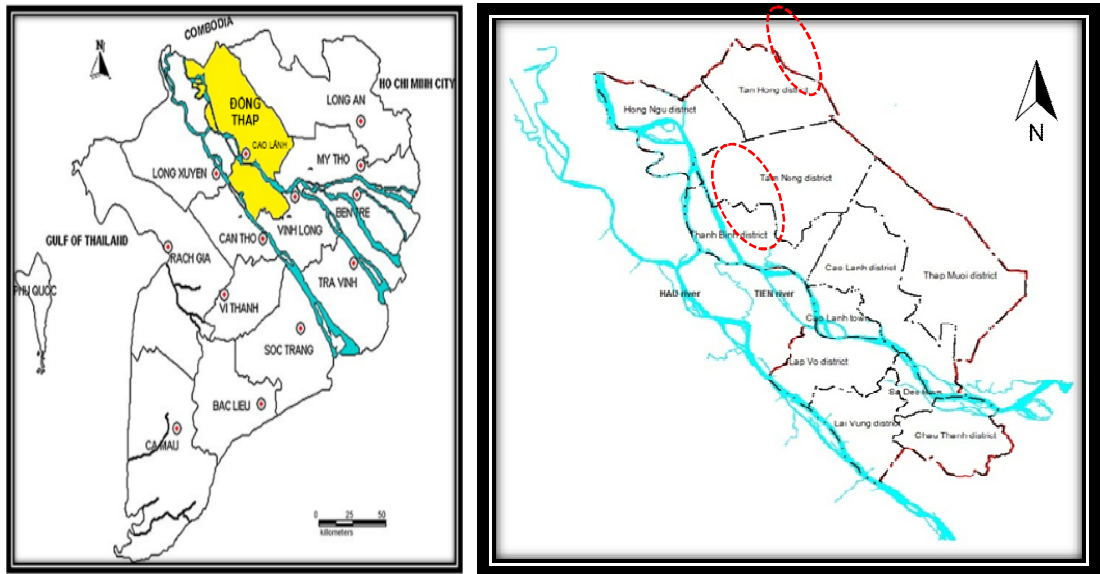
Nghiên cứu được thực hiện tại tỉnh Đồng Tháp vào tháng 2 và tháng 3 năm 2012. Hai khu vực nghiên cứu cụ thể là cù lao huyện Thanh Bình và thị trấn Sa Rài thuộc trung tâm huyện Tân Hồng. Thanh Bình là vùng trọng điểm sản xuất lương thực của tỉnh Đồng Tháp, vùng cù lao thuộc huyện Thanh Bình chủ yếu sử dụng nước ngầm cho hoạt động nông nghiệp. Tân Hồng là huyện vùng sâu, giáp biên giới Campuchia, cách xa sông Tiền và chưa có mạng lưới cung cấp

nước sạch nên nguồn nước sinh hoạt chủ yếu của người dân là nước giếng khoan tư nhân.

Các mẫu nước được lấy từ những tầng chứa nước ở độ sâu nhỏ hơn 80 m (Holocene và Pleistocene) do đây là đối tượng khai thác chủ yếu của người dân. Tổng số mẫu của nghiên cứu là 55 mẫu lấy tại các giếng ở hộ gia đình (hình 1). Trong đó có 34 giếng thuộc huyện Thanh Bình có độ sâu từ 12 - 60 m thuộc phức hệ chứa nước Holocene và Pleistocene được lấy ngẫu nhiên trong diện tích nghiên cứu 10 km x 20 km. Tất cả các giếng đều nằm rất gần sông với khoảng cách trung bình nhỏ hơn 1 km. 21 mẫu nước lấy tại các giếng thuộc huyện Tân Hồng đều cách xa sông Tiền với khoảng cách trung bình từ giếng đến sông là 15 km. Trên diện tích nghiên cứu rộng 10 km x 15 km tại huyện Tân Hồng, 23 mẫu nước thuộc tầng Pleistocene ở độ sâu từ 15 - 73 m đã được thu thập.

Phương pháp lấy mẫu, đo thông số hiện trường

Thông tin độ sâu và tọa độ địa lý được ghi nhận tại mỗi giếng. Bơm xả giếng khoảng 15 phút để ổn định nồng độ oxy hòa tan trong nước trước khi tiến hành đo các thông số hiện trường và lấy mẫu. Năm thông số nhiệt độ, pH, độ dẫn, thế oxy hóa và oxy hòa tan được xác định tại hiện trường với các thiết bị cầm tay (Bảng 1) cung cấp nhiều thông tin về tính chất nước ngầm. Nước giếng được lọc nhanh qua màng lọc 0.45 μ m và chứa trong lọ Nalgene 60 mL làm bằng nhựa HDPE (High Density Polyethylene) và nắp vận làm từ nhựa polypropylene chuyên dùng cho lấy mẫu nước, bảo quản bằng 100 μ L HNO₃ đậm đặc. Mẫu được bảo quản ở nhiệt độ phòng và chuyển đến phòng thí nghiệm Earth and Ocean Sciences, Đại học Duke, Hoa Kỳ để phân tích. Nồng độ As và Fe được phân tích bằng phương pháp Khối phổ ghép cặp cảm ứng cao tần ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry



Hình 1. Khu vực nghiên cứu huyện Thanh Bình và Tân Hồng, tỉnh Đồng Tháp (khoanh tròn)

Bảng 1. Tên thiết bị đo thông số hiện trường

Tên thiết bị	Hãng sản xuất	Thông số
Oxi 1970i	WTW (Đức)	Oxy hòa tan (DO)
LF11	Schott (Đức)	Nhiệt độ
		Độ dẫn (EC)
pH100 Ecosense	YSI (USA)	pH
		Thế oxy hóa (Eh)

Các thông số hiện trường và kết quả phân tích tại phòng thí nghiệm

Bảng 2. Các thông số hiện trường tại hai khu vực nghiên cứu.

Thông số		Thanh Bình		Tân Hồng	
		Trung bình	Khoảng giá trị	Trung bình	Khoảng giá trị
pH		7.0	6.7 – 7.7	6.1	5.8 – 6.6
Nhiệt độ	°C	29.5	28.7 – 30.6	29.8	29.3 – 30.2
EC	µS/cm	1311.9	382.6 – 6330	1540	304.2 – 3035
DO	mg/L	2.1	0.7 – 4.0	1.32	0.2 – 3.7
Eh	mV	-93	-139 – 149	182.2	60 – 261

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Phần lớn các mẫu nước có pH thuộc khoảng giá trị gần trung tính của nước ngầm thông thường (6 – 8.5). Các mẫu nước tại huyện Tân Hồng có giá trị pH tương đối thấp hơn so với huyện Thanh Bình. Giá trị nhiệt độ không có sự chênh lệch đáng kể giữa hai khu vực nghiên cứu. Giá trị độ dẫn (EC) của các mẫu nước Thanh Bình dao động từ 382.6 đến 6330 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Tuy nhiên, 70% số mẫu có EC thấp hơn 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Các mẫu nước ở huyện Tân Hồng có giá trị độ dẫn tương đối tập trung. Có đến 71% các mẫu nước ở Tân Hồng có EC lớn hơn 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Giá trị DO của các mẫu nước ở 2 khu vực nghiên cứu có khoảng dao động tương tự nhưng DO của các mẫu nước ở Tân Hồng có phần thấp hơn. 50% số mẫu tại Tân Hồng có DO nhỏ hơn 1 mg/L so với 10% tại Thanh Bình. Có sự khác biệt đáng chú ý về giá trị Eh giữa hai khu vực nghiên cứu. Hầu hết giếng tầng nông (32/34 giếng) thuộc huyện Thanh Bình có Eh âm dao động từ -139 mV đến -28 mV. Như vậy điều kiện khử chiếm ưu thế trong các tầng chứa nước nông huyện Thanh Bình. Ngược lại, điều kiện oxy hóa chiếm ưu thế trong nước ngầm tầng nông huyện Tân Hồng với giá trị Eh dao động từ 60 – 261 mV, trung bình là 182.2 mV. Sự khác nhau ở đặc điểm này có mối tương quan chặt chẽ với nồng độ As tại hai khu vực nghiên cứu sẽ được thảo luận ở những mục sau.

Bảng 3 cho thấy nước ngầm tại Thanh Bình và Tân Hồng có thành phần hóa học tương đối khác nhau. Nồng độ HCO_3^- tại Thanh Bình cao gấp 2 lần so với Tân Hồng, điều này cũng phù hợp với kết quả pH tại hiện trường. Nước ngầm ở cả hai khu vực nghiên cứu đều có độ cứng khá cao. Tuy vẫn thấp hơn giá trị cho phép theo

QCVN 01:2009/BYT tuy nhiên đều được xếp vào loại nước cứng. Giá trị độ cứng của nước ngầm tầng nông huyện Thanh Bình có phần cao hơn so với Tân Hồng. Thêm vào đó, trong khi ion SO_4^{2-} , Cl^- và Na^+ tại Thanh Bình rất thấp và hoàn toàn nằm trong khoảng giá trị cho phép đối với nước ăn uống theo QCVN 01:2009/BYT thì các mẫu nước lấy tại Tân Hồng có giá trị khá cao và một số mẫu vượt tiêu chuẩn cho phép.

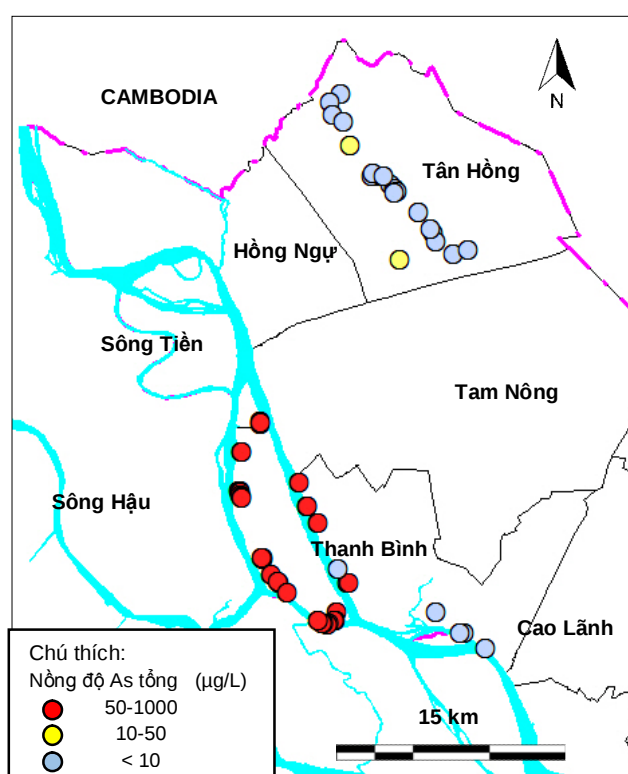
Nồng độ As trong nước ngầm

As phân bố không đều tại hai khu vực nghiên cứu (Hình 2). Ở huyện Tân Hồng, nồng độ As trong tất cả các mẫu nước tầng nông đều thấp hơn giới hạn cho phép của WHO và QCVN 01:2009/BYT là 10 $\mu\text{g}/\text{L}$, dao động từ k.p.h đến 8.91 $\mu\text{g}/\text{L}$, với giá trị trung bình là 2.63 $\mu\text{g}/\text{L}$. Trong khi đó, nước ngầm tầng nông ở huyện Thanh Bình lại có biểu hiện ô nhiễm As nghiêm trọng với 94% số mẫu nước vượt xa tiêu chuẩn cho phép. Nồng độ As biến động trong khoảng từ 3.22 đến 981.43 $\mu\text{g}/\text{L}$, giá trị trung bình là 408.16 $\mu\text{g}/\text{L}$, gấp 40 lần so với mức an toàn là 10 $\mu\text{g}/\text{L}$. Nghiên cứu quan tâm đến tầng chứa nước nông tại tỉnh Đồng Tháp vì đây là đối tượng khai thác chủ yếu của người dân. Các mẫu nước được lấy tại các giếng có độ sâu từ 12-73 m. Độ sâu tương ứng với phức hệ chứa nước Holocene và Pleistocene. Xét đến khu vực có vấn đề ô nhiễm As trong nước ngầm là huyện Thanh Bình thì As có mặt ở tất cả các mẫu nước ở độ sâu khác nhau. Đặc biệt là các giếng ở độ sâu từ 10-40 m có nồng độ As cao bất thường, gấp 100 lần so với giới hạn cho phép của As trong nước.

Bảng 3. Kết quả phân tích mẫu nước

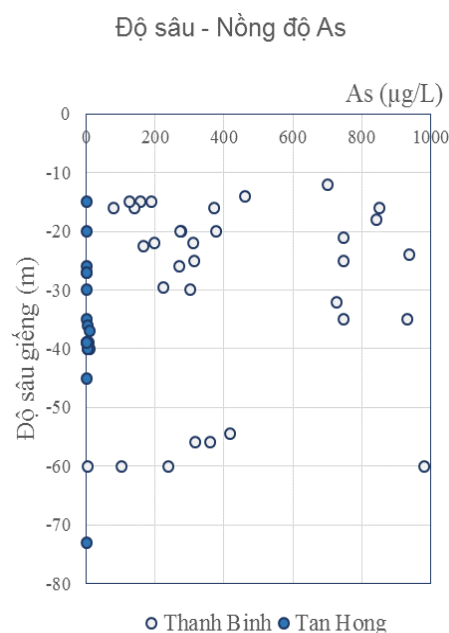
Thông số	Đơn vị	Thanh Bình			Tân Hồng			QCVN 01:200 9/BYT
		(n=34)			(n=21)			
		Trung bình	Trung vị	Khoảng	Trung bình	Trung vị	Khoảng	
Độ sâu	m	29.6	23.3	12-60	36.3	39	15-73	

Độ cứng	mg CaCO ₃ /L	295			213			300
HCO₃⁻	mg/L	431	429	111-780	193	158	88-334	
SO₄²⁻	mg/L	1.6	0	kph-19.6	109	67	4-296	250
Cl⁻	mg/L	33.8	19.5	2.9-160	267	235	21-742	250
Na	mg/L	51	49	10-112	238	207	30-554	200
Ca	mg/L	77	76	24-158	34	24	5-71	
Mg	mg/L	25	26	7-52	31	25	7.6-78	
Fe	mg/L	4.45	4.43	0.36-12.58	0.4	0.15	<0.1-2.6	1.5
Mn	mg/L	0.8	0.6	<0.1-2.86	1.5	0.9	<0.1-4.55	0.3
As tổng	µg/L	0.408	0.313	<0.01-0.981	2.6	1.8	kph-8.9	0.01



Hình 2. Sự phân bố As trong nước ngầm tại Thanh Bình và Tân Hồng

Những nghiên cứu về tính chất hóa học của As cho thấy nguyên tố này rất nhạy cảm với giá trị thế oxy hóa khử. Mặt khác, As thường tồn tại đồng thời với Fe trong các khoáng vật tự nhiên. Chính vì vậy, mối tương quan giữa As và các yếu tố như giá trị thế oxy hóa khử và nồng độ Fe sẽ giải thích cho nồng độ As cao tại huyện Thanh Bình.



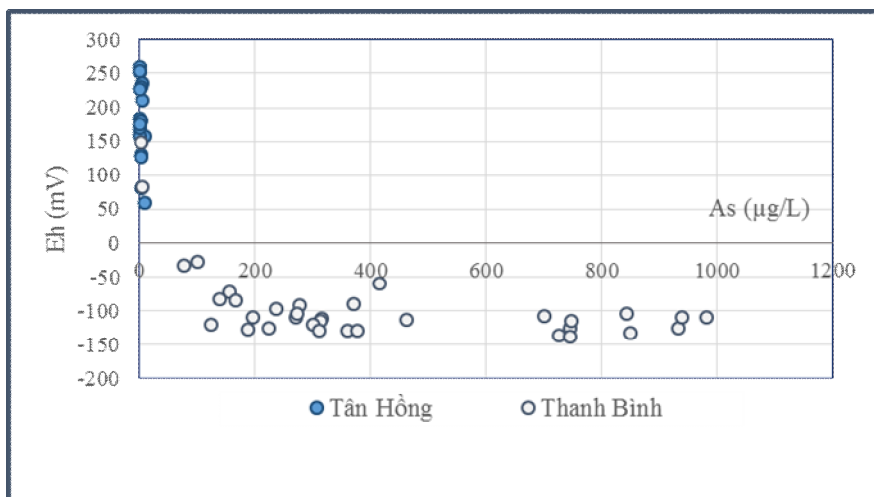
Hình 3. Sự phân bố As theo độ sâu tại Thanh Bình và Tân Hồng

Mối tương quan giữa As và thế oxy hóa khử Eh

Đặc điểm địa hình và địa chất có thể là một trong những yếu tố gây ra sự khác biệt về điều kiện thế oxy hóa khử giữa Tân Hồng và Thanh Bình. Thanh Bình thuộc vùng địa hình trũng và bị bao quanh bởi hai nhánh sông Tiền. Lũ sông Tiền hàng năm bổ sung hàm lượng chất hữu cơ

cho cù lao Thanh Bình, đây cũng là vùng sản xuất nông nghiệp trọng điểm của tỉnh Đồng Tháp. Hàm lượng oxy hòa tan trong nước ngầm thấp và hàm lượng chất hữu cơ trong đất và trầm tích cao là điều kiện thuận lợi để các vi sinh vật khử phát triển [8, 9]. Giá trị Eh có tương quan

Pearson dương ý nghĩa với nồng độ As của các mẫu nước ($r = 0.713$). Vì As là nguyên tố rất nhạy cảm với Eh nên rất có thể điều kiện khử của nước ngầm là một trong những yếu tố kiểm soát sự giải phóng As ở các tầng chứa nước nông tại Thanh Bình.



Hình 4. Mối tương quan giữa nồng độ As và giá trị Eh

Nồng độ Fe trong nước ngầm

Ở huyện Thanh Bình, nồng độ Fe dao động trong khoảng 0.36 – 12.68 mg/L với giá trị trung bình là 4.45 mg/L. Tại huyện Tân Hồng, khoảng dao động nồng độ Fe từ k.p.h đến 2.66 mg/L và giá trị trung bình 0.40 mg/L, nhỏ hơn so với Thanh Bình 10 lần. Dễ nhận thấy có mối liên hệ giữa nồng độ As và Fe tại hai khu vực nghiên

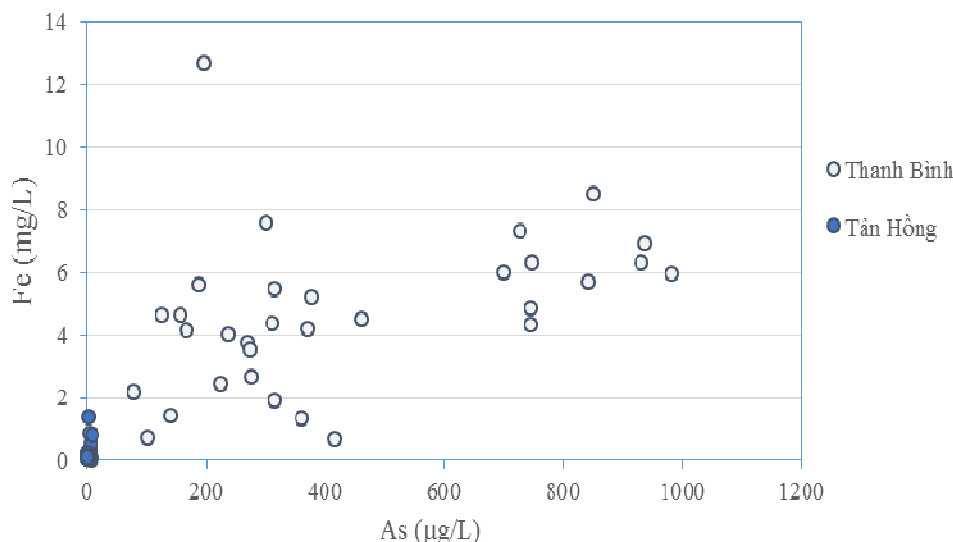
cứu. Tại huyện Tân Hồng, nồng độ Fe trong nước ngầm rất thấp tương ứng với nồng độ As rất thấp tại khu vực này. Trong khi đó, huyện Thanh Bình, nơi phát hiện nồng độ As cao dị thường cũng đồng thời có hàm lượng Fe cao hơn hẳn so với Tân Hồng. Tất cả các mẫu nước tại Thanh Bình đều có nồng độ sắt vượt tiêu chuẩn nước ăn uống QCVN 01:2009/BYT.

Bảng 4. Tỷ lệ mẫu nước có nồng độ kim loại vượt tiêu chuẩn cho phép

QCVN 01:2009/BYT	As (10 µg/L)	Fe (0.3 mg/L)
Thanh Bình (n = 34)	94%	100%
Tân Hồng (n = 21)	0%	19%

Bên cạnh điều kiện khử của nước ngầm, mối tương quan giữa As và Fe là những dẫn chứng cho cơ chế giải phóng As trong nước ngầm Thanh Bình. Phép thống kê Pearson cho thấy tương quan dương ý nghĩa ($r = 0.708$) giữa nồng

độ Fe tổng và As. Đây là một dẫn chứng quan trọng cho giả thuyết về quá trình khử hòa tan As trên bề mặt các oxyhydroxide sắt trong các thành phần địa chất.



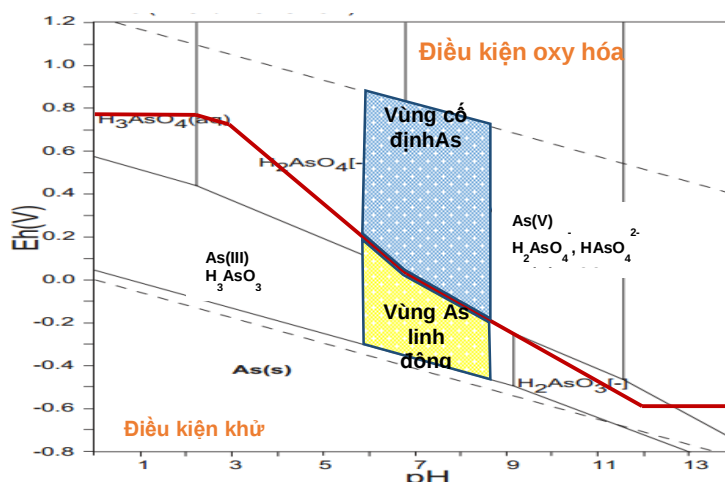
Hình 5. Mối tương quan giữa nồng độ As và Fe

Cơ chế giải phóng As trong nước ngầm huyện Thanh Bình

Giá trị pH nước ngầm tại cả huyện Thanh Bình dao động từ 6.7 – 7.7 là dẫn chứng cho thấy cơ chế giải hấp phụ trong môi trường kiềm không xảy ra tại khu vực nghiên cứu. Cơ chế giải phóng từ quá trình địa nhiệt cũng có thể loại bỏ do nhiệt độ của nước ngầm nằm trong khoảng thông thường. Điều kiện khử chiếm ưu thế và nồng độ cao của Fe trong nước ngầm Thanh Bình cho thấy cơ chế giải phóng As trong nước ngầm là sự khử hòa tan các khoáng sắt trong thành phần địa chất nền. Các khoáng oxide sắt là nguồn chứa As quan trọng trong tự nhiên và sự khử hòa tan oxyhydroxide sắt cũng là một trong những cơ chế chính giải phóng As trong nước ngầm tại các khu vực đồng bằng châu thổ giàu chất hữu cơ [5, 6, 8]. Biểu đồ Eh-pH kết hợp giữa 2 hệ As-O-H và

Fe-O-H (hình 4) sẽ lý giải chi tiết cơ chế giải phóng As trong nước ngầm.

Với giá trị pH của nước ngầm dao động trong khoảng từ 6-8.5, As sẽ bị cố định trong điều kiện môi trường nước có tính oxy hóa như trường hợp nước ngầm ở Tân Hồng. Lý do là As trong nước tồn tại ở dạng $\text{As(V)} \text{H}_2\text{AsO}_4^-$ tích điện âm và Fe tồn tại ở dạng rắn FeOOH (hóa trị III) tích điện dương. Lúc này sẽ xảy ra phản ứng hấp phụ As(V) trên bề mặt FeOOH và As bị cố định trên pha rắn. Mặt khác, trong môi trường khử của nước ngầm huyện Thanh Bình, hai quá trình sau cùng lúc diễn ra: (1) As(V) bị khử thành As(III) dạng không tích điện H_3AsO_3 và không còn liên kết ion với các thành phần địa chất nền và (2) Fe(III) bị khử thành ferrous Fe(II) – dạng hòa tan ở điều kiện pH bình thường. Lúc này, As sẽ được giải phóng ở dạng linh động arsenite vào nước ngầm [10, 11, 12].



Hình 6. Biểu đồ Eh-pH giải thích vùng cố định và linh động As

KẾT LUẬN

Nồng độ As trong các tầng chứa nước nông ở huyện Thanh Bình cao dị thường với nồng độ trung bình gấp khoảng 40 lần tiêu chuẩn cho phép As trong nước sinh hoạt của WHO và QCVN (10 $\mu\text{g/L}$). trong khi đó tất cả các mẫu nước tại Tân Hồng có nồng độ As thấp hơn 10

$\mu\text{g/L}$. Điều kiện khử chiếm ưu thế và nồng độ Fe cao là dẫn chứng quan trọng cho cơ chế giải phóng As trong nước ngầm Thanh Bình là sự khử hòa tan các khoáng sắt trong thành phần địa chất.

Lời cảm ơn: Chân thành cảm ơn GS. Avner Vengosh đã tài trợ kinh phí thực hiện nghiên cứu. Xin cảm ơn nhóm Cộng tác viên thuộc Bộ môn Công nghệ Môi trường đã hỗ trợ trong thời gian lấy mẫu tại tỉnh Đồng Tháp.

Arsenic contamination in groundwater of Tan Hong and Thanh Binh District, Dong Thap Province

- To Thi Hien
 - Do Thi Thuy Quyen
- University of Science, VNU-HCM
- Brittany Merola
 - Avner Vengosh
- Duke University, USA

ABSTRACT

A total of 55 groundwater samples were collected in February and March, 2012 to investigate the As contamination in groundwater at Thanh Binh and Tan Hong district, Dong Thap province, Vietnam. Field parameters (pH, temperature, DO, EC, Eh) were measured on sites using portable devices. Water samples were analyzed in

laboratory for total As and Fe concentration. The analysis result showed the entirely difference between groundwater chemistry of Thanh Binh and Tan Hong. Groundwater in Thanh Binh was predominantly reducing (-93 mV, average), contrary to the oxidizing condition of Tan Hong aquifer (182.2 mV, average). Arsenic concentrations also

showed spatially heterogeneous distribution over the whole study area. Groundwater from the shallow aquifers in Thanh Binh was far exceeding the permissible WHO Standard limits as well as the Vietnam Standard limit of 10 $\mu\text{g/L}$ for As (average 408.16 $\mu\text{g/L}$). In contrast, 100% water samples in Tan Hong contained less

than 10 $\mu\text{g/L}$ As. Strong positive correlation was found between Fe and As concentration. The reducing condition and high concentration of Fe indicated reductive dissolution of the Fe oxyhydroxide as the significant mechanism that released As to Thanh Binh groundwater.

Keywords: arsenic, Dong Thap, groundwater, release mechanism.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Tarit Roy Chowdhury, Gautam Kumar Basu, Badal Kumar Mandal, Bhajan Kumar Biswas, Gautam Samanta, Uttam Kumar Chowdhury, Chitta Ranjan Chanda, Dilip Lodh, Sagar Lal Roy, Khitish Chandra Saha, Sibtos Roy, Saiful Kabir, Qazi Quamruzzaman & Dipankar Chakraborti (1999), "Arsenic poisoning in the Ganges delta", *Nature*, 401, 545-546.
- [2] Susan Murcott (2012), *Arsenic Contamination in the World: An International Sourcebook*, IWA Publishing, USA.
- [3] UNICEF (2008), *Arsenic Primer Guidance for UNICEF Country Offices on the Investigation and Mitigation of Arsenic Contamination*, New York.
- [4] Phạm Quý Nhân (2008), *Báo cáo Kết quả đề tài Khoa học Công nghệ: Nguồn gốc và sự phân bố Amoni và Arsenic trong các tầng chứa nước Đồng bằng Sông Hồng*, ĐH KHTN Hà Nội.
- [5] Michael Berg, Caroline Stengel, Pham Thi Kim Trang, Pham Hung Viet, Mickey Sampson, Moniphea Leng, Sopheap Samreth, David Fredericks (2006), "Magnitude of arsenic pollution in the Mekong and Red River Deltas—Cambodia and Vietnam", *Science of the Total Environment*, 372, 413–425.
- [6] Postma Dieke, Larsen Flamming, Nguyen Thi Minh Hue, Mai Thanh Duc, Pham Hung Viet, Pham Quy Nhan, Jessen Soren (2007), "Mobilization of arsenic in Red River floodplain, Vietnam: Controlling geochemical processes and reactive transport modeling", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71, 5054-5071.
- [7] Nguyễn Việt Kỳ (2009), "Tình hình ô nhiễm arsenic ở đồng bằng Sông Cửu Long", *Tạp chí Phát triển KH&CN*, 12 (05), 101-121.
- [8] McArthur John, Ravenscroft Peter, Safiulla S, Thirlwall Matthew (2001), "Arsenic in groundwater: testing pollution mechanisms for sedimentary aquifers in Bangladesh", *Water Resource Research*, 37, 109-117.
- [9] Hugh Brammer, Peter Ravenscroft (2009), "Arsenic in groundwater: A threat to sustainable agriculture in South and South-East Asia", *Environment International*, 35, 647-654.
- [10] Smedley Pauline, Kinniburgh David (2002), "A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters", *Applied Geochemistry*, 17, 517-568.
- [11] Mucci Alfonso., Boudreau Bernard, Guignard Constance (2003), "Diagenetic mobility of trace elements in sediments covered by a flash flood deposit: Mn, Fe and As", *Applied Geochemistry*, 18, 1011–1026.
- [12] Nickson Ross, McArthur John, Burgess William, Ahmed Kazi Martin, Ravenscroft Peter, Rahman, Mizanur, (1998), "Arsenic poisoning of Bangladesh groundwater", *Nature*, 395, 331-338.