

DỰ BÁO ẢNH HƯỞNG CỦA BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU – NƯỚC BIỂN DÂNG ĐẾN NƯỚC DƯỚI ĐẤT TRONG TRẦM TÍCH ĐỆ TỬ VEN BIỂN ĐÔNG BẮNG BẮC BỘ

NGUYỄN VĂN LÂM, TRẦN VŨ LONG, ĐÀO ĐỨC BẰNG, Trường Đại học Mỏ - Địa chất

Tóm tắt: *Biến đổi khí hậu và nước biển dâng đang và sẽ ảnh hưởng đến con người và giới tự nhiên; nước dưới đất cũng chịu tác động mạnh của sự những biến đổi đó. Hiện nay có nhiều phương pháp tính toán, dự báo những ảnh hưởng của biến đổi khí hậu -nước biển dâng đến nước dưới đất, đáng tin cậy nhất là phương pháp mô hình số. Trên cơ sở nghiên cứu đặc điểm Địa chất thuỷ văn vùng ven biển đồng bằng Bắc Bộ, các kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng, tập thể tác giả đã xây dựng mô hình dự báo ảnh hưởng của biến đổi khí hậu và nước biển dâng đến nước dưới đất cho vùng ven biển đồng bằng Bắc Bộ. Mô hình dự báo được xây dựng bằng phần mềm cơ sở SEAWAT theo các kịch bản phát thải thấp, trung bình và cao. Kết quả dự báo cho thấy xu thế mặn nhạt biến đổi rất phức tạp, diện tích nước mặn tăng lên theo các năm và tăng lên theo mức độ phát thải khí nhà kính. Đối với tầng chứa nước Holocene, khu vực tỉnh Thái Bình và phía Đông bắc tỉnh Nam Định có diện tích nước mặn tăng mạnh hơn, đến năm 2100 diện tích nước mặn toàn vùng là 5.897,13km² (kịch bản A2). Đối với tầng chứa nước Pleistocene, khu vực Đông nam vùng chịu ảnh hưởng mạnh nhất, biên mặn mở rộng, đến năm 2100 diện tích nước mặn là 4.896,56km² (kịch bản A2).*

1. Giới thiệu

Vùng nghiên cứu gồm các tỉnh Hải Phòng, Thái Bình, Nam Định và Ninh Bình. Các tỉnh ven biển đồng bằng Bắc Bộ có cấu trúc Địa chất thuỷ văn (ĐCTV) khá phức tạp chủ yếu là các tầng chứa nước lỗ hổng và các lớp sét cách nước. Tầng chứa nước đầu tiên chịu ảnh hưởng trực tiếp của biến đổi khí hậu (BĐKH) và nước biển dâng (NBD) là tầng chứa nước lỗ hổng không áp trong các trầm tích Holocene (qh), tiếp đến là tầng chứa nước lỗ hổng có áp trong các trầm tích Pleistocene (qp). Kẹp giữa hai tầng chứa nước lỗ hổng này là các lớp sét cách nước thuộc hệ tầng Hải Hưng và hệ tầng Thái Bình. Ngoài ra, nằm sâu hơn các tầng chứa nước lỗ hổng là tầng chứa nước lỗ hổng – khe nứt trong các trầm tích Neogen (n) và các tầng chứa nước khe nứt khác.

Với vị trí địa lý, đặc điểm địa hình, địa chất thuỷ văn như vậy, ảnh hưởng của biến đổi khí hậu, nước biển dâng đến nước dưới đất của vùng trong thời gian tới là không thể tránh khỏi và có tính nghiêm trọng. Trên cơ sở tổng hợp các kết quả nghiên cứu đã có, kết hợp với phân tích địa tầng, tài liệu quan trắc, phân tích thành

phần hoá học nước dưới đất, phân tích các kịch bản phát thải khí nhà kính và xác định khả năng ảnh hưởng của nước biển dâng ứng với từng kịch bản cụ thể, tập thể tác giả đã xây dựng mô hình dự báo ảnh hưởng của BĐKH&NBD đến nước dưới đất các tỉnh ven biển đồng bằng Bắc Bộ. Bài báo là kết quả của những nghiên cứu nói trên.

2. Nội dung và phương pháp nghiên cứu

2.1. Lựa chọn các kịch bản BĐKH&NBD

Khu vực nghiên cứu gồm những tỉnh đồng bằng Bắc Bộ giáp biển, vì vậy khu vực này chịu ảnh hưởng lớn hơn nhiều do BĐKH, NBD so với các tỉnh không giáp biển. Theo khuyến cáo của Thế giới thì Việt Nam nên áp dụng 3 kịch bản phát thải khí nhà kính ở mức thấp (B1), trung bình (B2) và cao (A2). Kịch bản BĐKH, NBD cho Việt Nam do Bộ Tài nguyên và Môi trường xuất bản năm 2012 đã đưa ra mức tăng nhiệt độ, lượng mưa cho 63 tỉnh, thành phố theo các kịch bản trên. Trên cơ sở tổng hợp, phân tích các số liệu về các yếu tố khí tượng từ năm 1980 đến nay, qua kết quả tính toán trên cơ sở các kịch bản BĐKH của Bộ Tài nguyên và Môi trường công bố năm 2012, chúng tôi đã đưa ra mức tăng nhiệt

độ, lượng mưa, mực nước biển dâng theo các kịch bản (xem bảng 1 và bảng 2).

Về nhiệt độ và lượng mưa: Đến cuối thế kỷ 21, nhiệt độ toàn vùng nghiên cứu tăng cao nhất lên đến 3,3°C và lượng mưa tăng 8,1 % so với

trung bình giai đoạn 1980 - 1999 (theo kịch bản phát thải cao A2), nhiệt độ tăng thấp nhất 1,7°C và lượng mưa tăng 4,2% (theo kịch bản phát thải thấp B1).

Bảng 1. Mức tăng nhiệt độ và lượng mưa tại vùng ven biển đồng bằng Bắc Bộ theo các mốc thời gian so với trung bình giai đoạn 1980 - 1999

Yếu tố khí hậu	Kịch bản	Các mốc thời gian của thế kỷ 21								
		2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
Nhiệt độ (°C)	B1	0,5	0,7	1,0	1,3	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7
	B2	0,5	0,8	1,1	1,4	1,6	1,9	2,2	2,4	2,6
	A2	0,6	0,9	1,1	1,4	1,7	2,1	2,4	2,9	3,3
Lượng mưa (%)	B1	1,1	1,7	2,3	3,0	3,5	3,8	4,0	4,1	4,1
	B2	1,2	1,8	2,5	3,2	3,9	4,6	5,2	5,7	6,1
	A2	1,4	1,9	2,7	3,4	4,1	4,9	5,8	6,8	7,9

(Nguồn: [1])

Về mực nước biển: Các tỉnh ven biển đồng bằng Bắc Bộ vì vậy mực nước biển dâng được tính từ Hòn Dấu đến Đèo Ngang. Theo đó, mực nước biển đến cuối thế kỷ 21 có thể dâng cao nhất lên 86cm (kịch bản phát thải cao A1FI), thấp nhất 42cm (kịch bản phát thải thấp B1).

Bảng 2. Mực nước biển dâng tại vùng ven biển đồng bằng Bắc Bộ theo các mốc thời gian so với trung bình giai đoạn 1980 - 1999

Khu vực	Kịch bản	Các mốc thời gian của thế kỷ 21								
		2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
Hòn Dấu - Đèo Ngang	B1	8-9	11-13	15-17	19-23	24-30	29-37	34-44	38-51	42-58
	B2	7-8	11-13	15-18	20-24	25-32	31-39	37-48	43-56	49-65
	A1FI	8-9	12-14	16-19	22-27	30-36	38-47	47-59	56-72	66-86

(Nguồn: [1])

2.2. Xây dựng bản đồ nguy cơ ngập ứng với các kịch bản BĐKH&NBD

Nhiệt độ Trái đất tăng lên làm cho nhiệt độ nước biển có xu hướng tăng lên, băng ở hai cực tan chảy khiến mực nước biển dâng cao, từ đó xuất hiện càng nhiều các hiện tượng cực đoan khí hậu như hạn hán, lũ lụt, bão lốc, sóng thần,... Tác động xấu của BĐKH và NBD đến con người và giới tự nhiên là không thể phủ nhận.

Vùng ven biển đồng bằng Bắc Bộ nước ta có địa hình thấp, chính vì thế khi nước biển dâng cao, nhiều diện tích của vùng sẽ có nguy cơ ngập. Dựa theo các bản đồ nguy cơ ngập của Bộ Tài nguyên và Môi trường, kết hợp với việc phân tích bản đồ địa hình hiện tại toàn

khu vực; hiện trạng đê biển tại các tỉnh thuộc vùng nghiên cứu, chúng tôi xây dựng nên bản đồ nguy cơ ngập của vùng theo các mức độ khác nhau. Theo đó, nếu nước biển dâng cao 1m thì 20,1% diện tích vùng có nguy cơ ngập, nếu nước biển dâng cao 0,5m thì 5,3% diện tích vùng có nguy cơ ngập, trong đó các tỉnh phía Nam vùng có nguy cơ ngập cao hơn (huyện Giao Thủy, tỉnh Nam Định ngập 97,52% và huyện Tiền Hải, tỉnh Thái Bình ngập 51,4% khi mực nước biển dâng cao 1m) (xem hình 1).

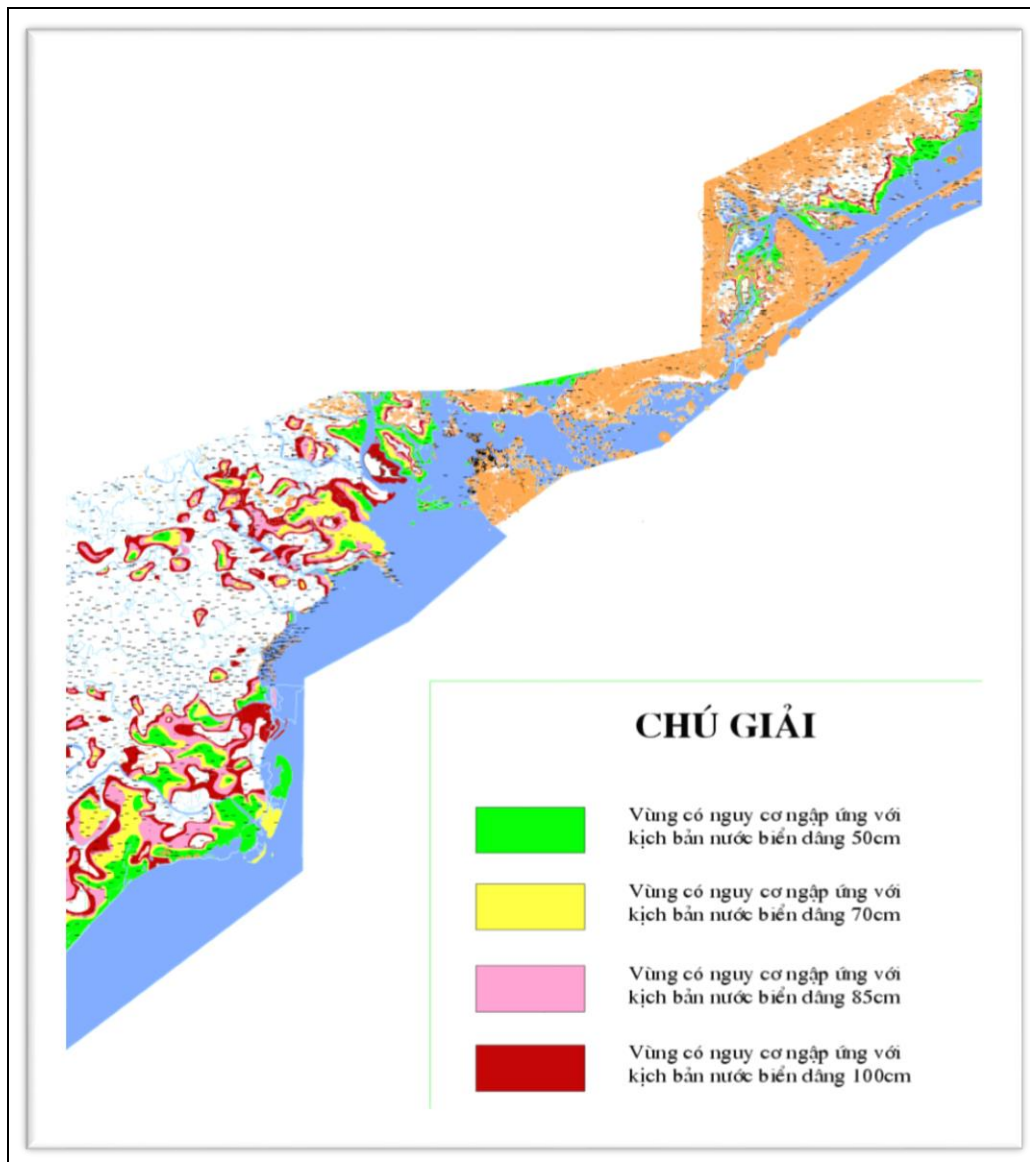
2.3. Lựa chọn mô hình dự báo sự dịch chuyển của biên mặn

Tới thời điểm hiện tại có thể nói hai hệ phần mềm cơ sở được sử dụng phổ biến nhất là

FEFLOW và SEAWAT trong việc mô phỏng dịch chuyển biên mặn trong môi trường lỗ rỗng. Tại Việt Nam, việc tiếp cận với mô hình số trong môi trường lỗ rỗng được bắt đầu khá sớm vào những năm 90 của thế kỷ trước với hệ phần mềm cơ sở đầu tiên là MODFLOW. Đến nay, MODFLOW cũng như module MT3D được sử dụng phổ biến trong các công tác nghiên cứu ĐCTV. Trước đây, việc mô phỏng dịch chuyển biên mặn được thực hiện bằng cách kết hợp mô hình dòng ngầm MODFLOW với mô hình dịch chuyển vật chất hòa tan MT3D. Tuy nhiên cách này lại không tính toán đến chênh lệch khối lượng riêng gây ra bởi chênh lệch nồng độ giữa

nước nhạt và nước mặn. Với lý do nêu trên, phần mềm cơ sở SEAWAT ra đời nhằm bổ sung các thiếu sót do việc kết hợp MODFLOW và MT3D. SEAWAT được xây dựng dựa trên MODFLOW - MT3D có bổ sung thêm gói tính toán sự thay đổi khối lượng riêng của nước trong môi trường lỗ rỗng do thay đổi của nồng độ muối hòa tan và sau đó chính xác lại các kết quả tính toán của MODFLOW – MT3D.

Chính vì những lý do nêu trên, chúng tôi lựa chọn phần mềm cơ sở SEAWAT trong việc xây dựng mô hình dịch chuyển biên mặn nước dưới đất các tỉnh ven biển Bắc Bộ theo các kịch bản phát thải thấp, trung bình, cao.

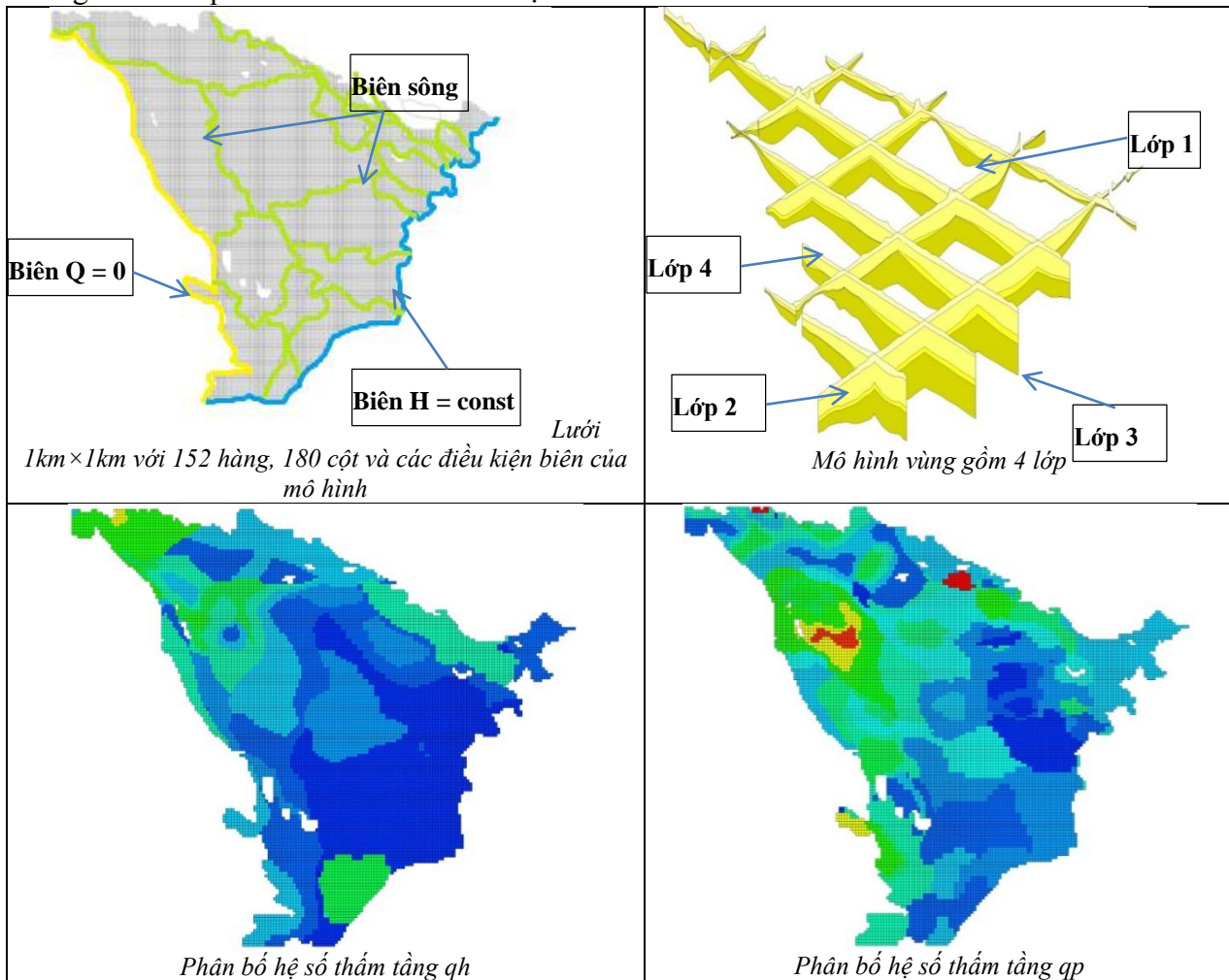


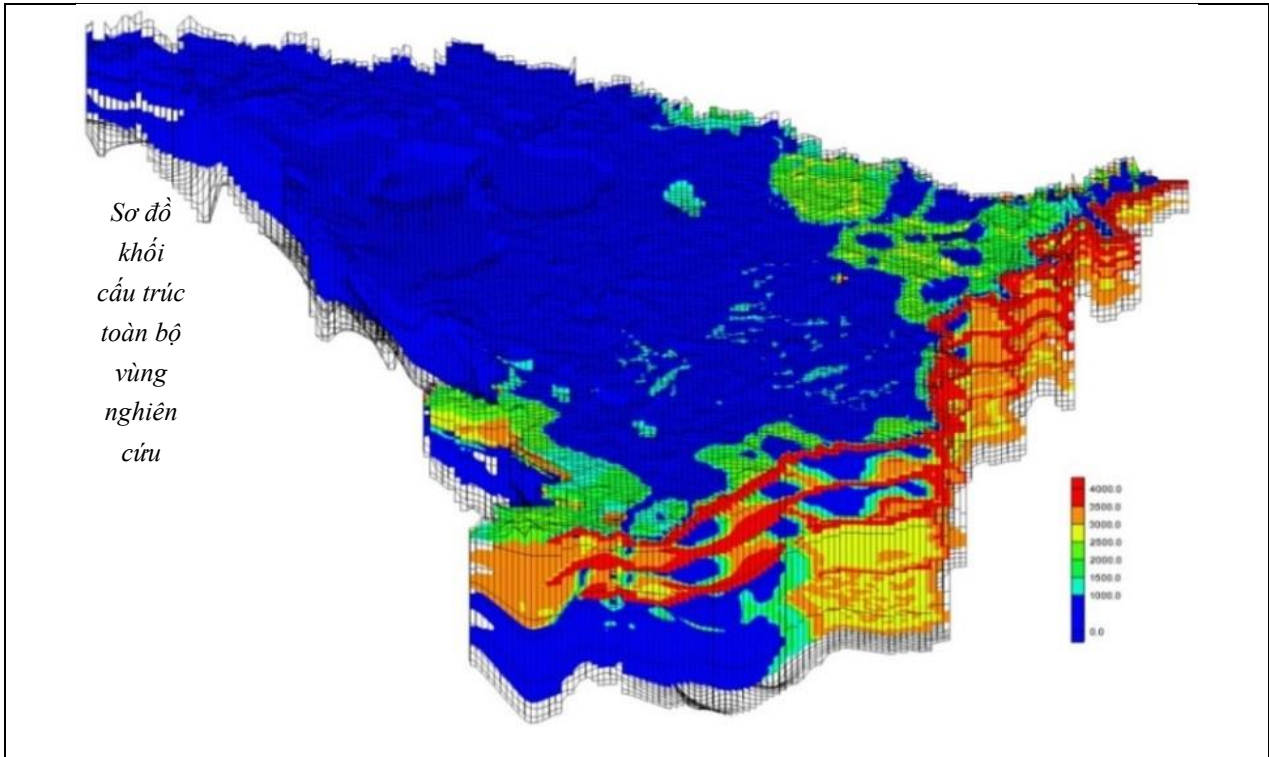
Hình 1. Bản đồ nguy cơ ngập vùng nghiên cứu khi mực nước biển dâng 50cm, 70cm, 85cm và 100cm

2.4. Xây dựng mô hình dự báo

Mô hình hiện trạng được xây dựng với lưới sai phân hữu hạn gồm 152 hàng, 180 cột, kích thước ô lưới 1x1km. Mô hình được xây dựng cho toàn bộ đồng bằng từ Việt Trì trải rộng tới bờ biển với diện tích hơn 12.000km². Mô hình được xây dựng với toàn bộ diện tích đồng bằng nhằm mô phỏng chính xác nhất hệ thống thủy động lực thống nhất tại đây. Trên mô hình, chúng tôi phân chia thành 4 lớp đại diện cho 4 thành tạo địa chất thủy văn. Lớp 1 là thành tạo thấm nước yếu bề mặt. Lớp 2 là tầng chứa nước trong trầm tích Holocen. Lớp 3 là thành tạo thấm nước yếu trong trầm tích Pleistocen và Holocen. Lớp 4 là tầng chứa nước trong trầm tích Pleistocen. Bề mặt địa hình được xây dựng dựa trên thông tin từ bản đồ địa hình được số hoá và gán các thông tin trên cơ sở nền bản đồ địa hình tỉ lệ 1/100.000 đồng thời được bổ sung thêm thông tin từ dữ liệu DEM. Ranh giới các lớp trên bình đồ và trên mặt cắt

được xây dựng từ dữ liệu các lỗ khoan khảo sát ĐC - ĐCTV trong khu vực nghiên cứu. Các thông số ĐCTV cần nhập cho từng lớp gồm: hệ số thấm (thẳng đứng K_z và nằm ngang K_{x-y}), hệ số nhả nước đàn hồi μ^* và hệ số nhả nước trọng lực μ được gán theo vùng. Các thấu kính thấm nước yếu trong các tầng chứa nước được mô phỏng bằng cách gán các giá trị K , μ^* , μ . Giá trị các thông số được chọn từ kết quả bơm thí nghiệm hoặc lấy theo kinh nghiệm từ độ hạt tại các lỗ khoan trong vùng nghiên cứu. Bản đồ và dữ liệu giá trị bổ cập và bốc hơi được xác định trên cơ sở tài liệu khí tượng của các trạm quan trắc trên khu vực nghiên cứu. Biên và điều kiện biên trên mô hình được gán với biên sông, biên biển và biên không dòng chảy. Giá trị mực nước trên biên được xác định dựa theo tài liệu quan trắc thủy - hải văn tại các trạm trong khu vực nghiên cứu. Việc sơ đồ hóa mô hình các điều kiện đầu vào mô hình được thể hiện trên hình 2.





Hình 2. Các điều kiện đầu vào mô hình

Mục đích công tác chỉnh lý mô hình nhằm chính xác hóa các thông số ĐCTV của các tầng chứa nước, điều kiện biên và các thông số trên biên của mô hình phục vụ chạy mô hình dự báo đánh giá trữ lượng khai thác nước dưới đất. Công tác chỉnh lý mô hình được thực hiện qua 2 bước là giải bài toán ngược ổn định và giải bài toán ngược không ổn định. Các bước chỉnh lý này đều sử dụng tài liệu từ các lỗ khoan thuộc hệ thống quan trắc tài nguyên nước quốc gia làm cơ sở. Mục nước tính toán trong mô hình sẽ được so sánh với mực nước quan trắc tại các lỗ khoan quan trắc tương ứng. Sau khi kết thúc bài toán chỉnh lý mô hình, các thông số ĐCTV của tầng chứa nước, thấm nước yếu và điều kiện biên của mô hình đã được chỉnh lý tương đối chính xác để phục vụ việc chạy mô hình dự báo.

Mô hình dự báo sử dụng các giá trị đầu vào đã được tính toán trước dưới ảnh hưởng của BĐKH&NBD. Các giá trị này chính là mực nước trên các biên dòng chảy, lượng bổ cập tính từ lượng mưa... Đồng thời tài liệu dự báo khai thác nước dưới đất cũng được đưa vào mô hình để tính toán. Phân bố biên mặn tại thời điểm hiện tại trong các tầng chứa nước được sử dụng làm giá trị ban đầu để mô hình tính toán quá

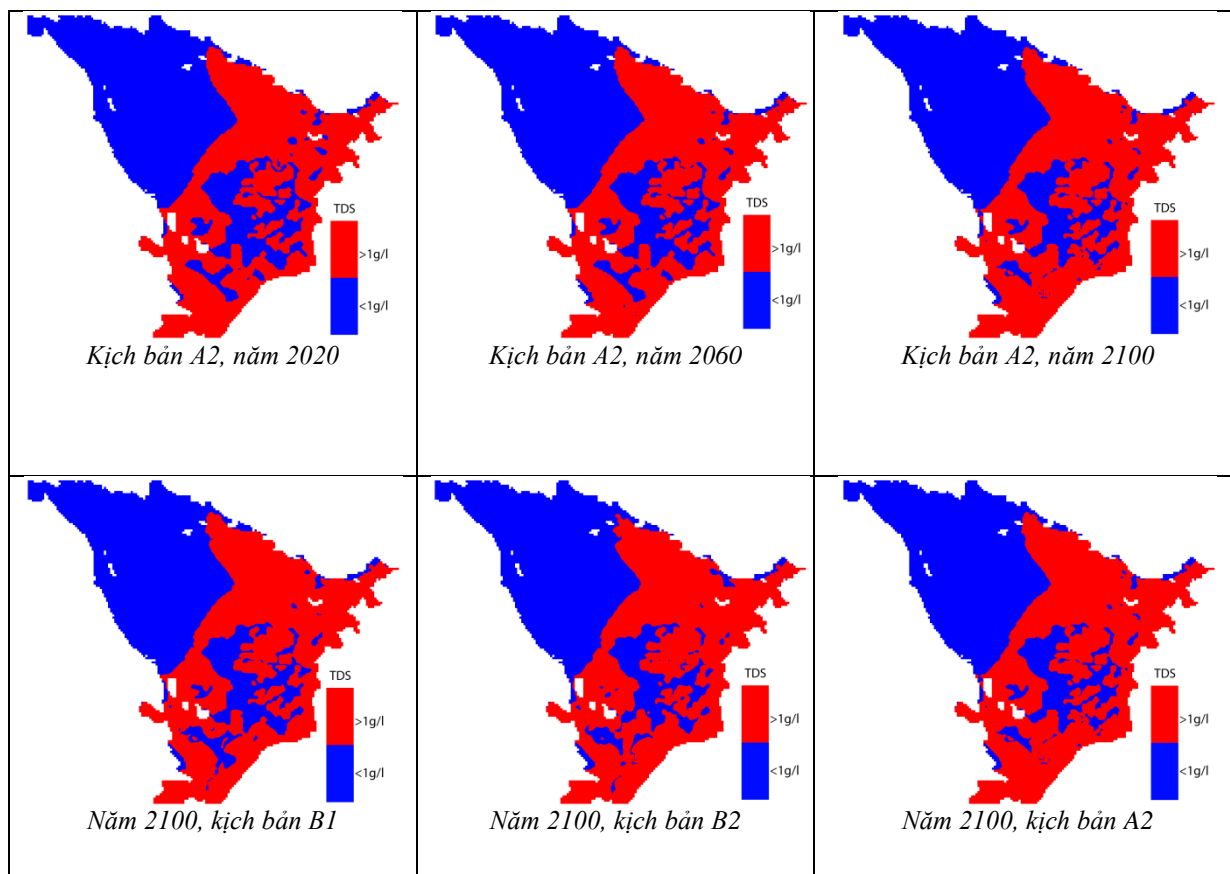
trình dịch chuyển. Mô hình dự báo sẽ được chạy đến mốc năm 2100 với 3 kịch bản BĐKH&NBD. Vị trí biên biển dưới tác động của nước biển dâng sẽ được điều chỉnh sau mỗi khoảng thời gian là 20 năm. Kết quả của mô hình dự báo sẽ là quá trình dịch chuyển của biên mặn theo thời gian.

3. Kết quả đạt được và thảo luận

Kết quả của mô hình dự báo dịch chuyển biên mặn dưới ảnh hưởng của BĐKH&NBD cho thấy xu thế mặn nhạt biên đổi vô cùng phức tạp, cụ thể như sau:

3.1. Đối với tầng chứa nước Holocene

- Sự biến đổi biên mặn nước dưới đất tầng Holocene rất rõ rệt: Diện tích nước mặn tăng dần theo các giai đoạn, trong đó khu vực tỉnh Thái Bình và phía Đông Bắc tỉnh Nam Định có diện tích nước mặn tăng mạnh hơn, biên mặn lấn sâu vào lục địa (xem hình 3). Những thập kỷ cuối của thế kỷ 21, ranh giới mặn nhạt bị tác động lớn hơn, biến đổi nhanh hơn do tầng chịu ảnh hưởng mạnh của mực nước biển dâng cao; theo kịch bản phát thải cao (A2), đến năm 2100 diện tích nước mặn toàn vùng nghiên cứu tăng lên 5.897,13km².



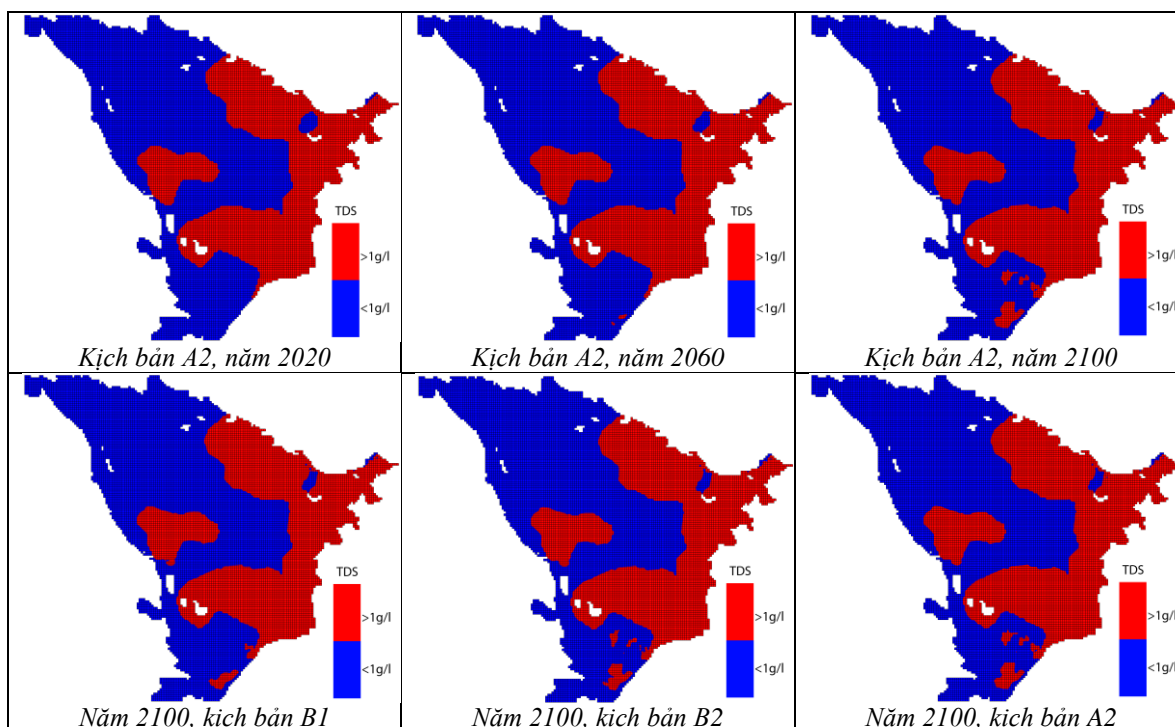
Hình 3. Sự biến đổi nước dưới đất tầng Holocen do BĐKH&NBD

- So sánh sự biến đổi nước dưới đất do BĐKH&NBD theo các kịch bản phát thải nhận thấy diện tích nước mặn tăng dần theo các kịch bản (thấp, trung bình, cao) (xem hình 3 và bảng 3)

Bảng 3. Diện tích nước mặn tầng chứa nước Holocene từng năm và từng giai đoạn theo các kịch bản phát thải

Thời gian		Diện tích nước mặn theo các kịch bản (km ²)		
		B1	B2	A2
Năm	Hiện tại	5.655,37	5.655,37	5.655,37
	2020	5.658,89	5.661,28	5.663,04
	2040	5.677,13	5.687,92	5.695,9
	2060	5.705,77	5.717,68	5.730,37
	2080	5.739,21	5.753,81	5.771,66
	2100	5.825,34	5.872,77	5.897,13
Giai đoạn	Hiện tại - 2020	3,52	5,91	7,67
	2020 - 2040	18,24	26,64	32,86
	2040 - 2060	28,64	29,76	34,47
	2060 - 2080	33,44	36,13	41,29
	2080 - 2100	86,13	118,96	125,47

3.2. Đối với tầng chứa nước Pleistocene



Hình 4. Sự biến đổi nước dưới đất tầng Pleistocene do ĐKKH&NBD

- Tầng chứa nước Pleistocene chịu ảnh hưởng của ĐKKH&NBD thông qua quá trình truyền áp. Kết quả mô hình cho thấy rõ diện tích nước mặn trong tầng tăng dần theo các năm và theo các kịch bản phát thải (B1, B2, A2); trong đó xu thế mặn nhạt tại khu vực Đông nam vùng nghiên cứu biến đổi rõ rệt, diện tích mặn tăng lên

(nguyên nhân chính là do địa hình khu vực này thấp, diện tích ngập mặn nhiều hơn so với các khu vực khác); các khu vực còn lại biến đổi ít hơn (xem hình 4). Diện tích phần nước mặn tầng chứa nước Pleistocene các giai đoạn theo các kịch bản được thể hiện trong bảng 4.

Bảng 4. Diện tích nước mặn tầng chứa nước Pleistocen từng năm và từng giai đoạn theo các kịch bản phát thải

Thời gian		Diện tích nước mặn theo các kịch bản (km ²)		
		B1	B2	A2
Năm	Hiện tại	4.606,25	4.606,25	4.606,25
	2020	4.609,86	4.611,41	4.613,42
	2040	4.629,28	4.634,24	4.641,07
	2060	4.667,83	4.671,31	4.681,91
	2080	4.721,92	4.728,82	4.743,34
	2100	4.839,45	4.867,39	4.896,56
Giai đoạn	Hiện tại - 2020	3,61	5,16	7,17
	2020 - 2040	19,42	22,83	27,65
	2040 - 2060	38,55	37,07	40,84
	2060 - 2080	54,09	57,51	61,43
	2080 - 2100	117,53	138,57	153,22

4. Kết luận

- Tác động của BĐKH&NBD làm cho khu vực ven biển Bắc Bộ chịu ảnh hưởng sâu sắc, theo dự báo đến cuối thế kỷ 21, nhiệt độ tăng lên 3,3⁰C và lượng mưa tăng 8,1% so với trung bình giai đoạn 1980 – 1999 (kịch bản A2);

- Biến đổi khí hậu làm nước biển dâng gây ngập phần lớn diện tích vùng: sẽ có 5,3%, 9,9%, 15,2%, 20,1% diện tích vùng nghiên cứu bị ngập khi mực nước biển dâng 50cm, 70cm, 85cm và 100cm;

- Áp dụng mô hình dự báo SEAWAT, tập thể tác giả đã xác định ảnh hưởng của BĐKH&NBD đến nước dưới đất là rõ ràng và nghiêm trọng. Đối với tầng Holocene, diện tích mặn nhạt biến đổi phức tạp, trong đó khu vực tỉnh Thái Bình và Đông bắc tỉnh Nam Định diện tích nước mặn tăng mạnh hơn; đối với tầng Pleistocene diện tích mặn hoá tăng mạnh ở phía Đông nam, các khu vực khác diện tích mặn hoá tăng không đáng kể.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2012. Kịch bản biến đổi khí hậu, nước biển dâng cho Việt Nam.
- [2]. Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2010. Báo cáo tổng hợp “Ảnh hưởng của BĐKH đến tài nguyên nước của Việt Nam, Hà Nội.
- [3]. Nguyễn Văn Đản, Nguyễn Văn Đức, Nguyễn Thị Hạ, 2002. NĐĐ các đồng bằng ven biển Bắc Bộ, Bắc Trung Bộ và triển vọng cung cấp nước. Tạp chí Cấp thoát nước số 1 và 2 năm 2002.
- [4]. Nguyễn Văn Đản, Nguyễn Thị Hạ, 2001. Một số kết quả nghiên cứu động thái nước dưới

đất tầng QIV và tầng QII-III vùng đồng bằng Bắc bộ. HNKH Đại hội toàn quốc Hội ĐCTV Việt Nam;

[5]. Nguyễn Văn Lâm, 2004. Hiện trạng các tầng nước ngầm, chất lượng nước ngầm vùng ven biển và ảnh hưởng của nó trong quá trình khai thác. Báo cáo Quốc gia về ô nhiễm biển từ đất liền Việt Nam;

[6]. Nguyễn Văn Lâm, 2010. Kế hoạch hành động ứng phó với BĐKH thành phố Hà Nội. Sở Tài nguyên và Môi trường Hà Nội;

[7]. Nguyễn Kim Ngọc, Nguyễn Văn Lâm và nnk, 1994. Tài nguyên nước ngầm vùng Bắc bộ. Đề tài KC12-01, lưu trữ Viện Khí tượng thủy văn.

[8]. Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường, 2010. Tác động của biến đổi khí hậu lên tài nguyên nước và các biện pháp thích ứng. Báo cáo tổng kết dự án hợp tác với Đan Mạch.

[9]. Abd-Elhamid H.F., Javadi A.A., 2011. A density-dependant finite element model for analysis of saltwater intrusion in coastal aquifers, Journal of Hydrology 401, 259-271;

[10]. Bridger D. W., Allen D. M., 2006. An investigation into the effects of diffusion on salinity distribution beneath the Fraser River Delta, Canada, Hydrogeology Journal 14: 1423-1442.

[11]. Desirée S. A. Craig, 2008. The saline interface of a shallow unconfined aquifer, Rangitikei delta, PhD. Thesis, Victoria University of Wellington.

[12]. De Vries, J.J., 1981. Fresh and salt water in the Dutch coastal area in relation to geomorphological evolution, Quaternary Geology: a farewell to A.J. Wiggers, Geologie en Mijnbouw 60, 363-368.

SUMMARY

Prediction of climate change – sea level rise effects on groundwater in Quaternary in coastal area of Bacbo plain

Nguyen Van Lam, Tran Vu Long, Dao Duc Bang, Hanoi University of Mining and Geology

Climate change and sea level rise affect on people and nature; Groundwater is also strongly affected by the these changes. There are many methods of calculating and forecasting the effects of climate change and sea level rise on groundwater and most reliable method of numerical models. On the basis of the hydrogeological characteristics studies in coastal areas of Bacbo plain and the scenarios of climate change and sea level rise, the authors have developed prediction impact model of climate change and sea level rise on groundwater in the region. Prediction model is built with

SEAWAT software under the lower, medium and high emission scenarios. The predicting results show that the changing trend of salt-fresh water is so complex, salt water area increased over the years and increases with the greenhouse gas emission levels. Saltwater area in Holocene aquifer in Thai Binh province and northeast of Nam Dinh province is increasing quite fast, saltwater area will be reach to 5897.13 km² in 2100 (A2 scenario). Pleistocene aquifer in Southeast region is the most strongly influenced, saltwater boundary is expanding and area of saltwater in 2100 is 4896.56 km² (A2 scenario).