

**BỘ GIÁO DỤC
VÀ ĐÀO TẠO**

**VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM**

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



Nguyễn Minh Hải

**NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC HOẠT ĐỘNG KINH
TẾ XÃ HỘI VÀ BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU ĐẾN MÔI TRƯỜNG
NƯỚC VEN BỜ CÁT BÀ - HẠ LONG**

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ
QUẢN LÝ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG**

Ngành: Quản lý tài nguyên và môi trường

Mã số: 9850101

Hải Phòng – Năm 2025

Công trình được hoàn thành tại: Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

Người hướng dẫn khoa học:

1. Hướng dẫn 1: TS. Vũ Duy Vĩnh
2. Hướng dẫn 2: PGS. TS. Trần Đình Lâm

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:

Luận án được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án tiến sĩ cấp Học viện, họp tại Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam vào hồi giờ , ngày tháng năm 20.....

Có thể tìm hiểu luận án tại:

1. Thư viện Học viện Khoa học và Công nghệ
2. Thư viện Quốc gia Việt Nam

MỞ ĐẦU

1. Sự cần thiết phải tiến hành nghiên cứu

Với dải ven biển kéo dài trên 3260km và hơn 1 triệu km² diện tích thềm lục địa, nước ta có các điều kiện rất thuận lợi cho phát triển kinh tế biển như vận tải hàng hóa, du lịch dịch vụ, khai thác nuôi trồng hải sản. Sau thời kỳ đổi mới, kinh tế xã hội (KTXH) nước ta đã có sự phát triển nhanh chóng, đặc biệt là ở vùng ven biển. Tuy nhiên, sự phát triển KTXH nhanh chóng trong những năm gần đây đã và đang gây ra những áp lực rất lớn đến môi trường biển. Trong đó, chủ yếu là sự gia tăng mạnh của các chất thải qua các cửa sông, nguồn thải của các cơ sở sản xuất, kinh doanh dịch vụ du lịch ven biển, hoạt động nuôi trồng thủy sản ven biển và trên mặt nước.

Không chỉ khi xuất hiện các sự cố môi trường, ngay cả khi có sự kiểm soát các nguồn gây ô nhiễm do phát triển KTXH trong thời gian vừa qua cũng đã làm suy giảm nghiêm trọng chất lượng môi trường nước ở nhiều vùng ven biển của nước ta.

Ngoài những sức ép từ sự gia tăng nguồn ô nhiễm do hoạt động KTXH của con người đưa ra vùng ven biển. Khu vực này cũng chịu những ảnh hưởng do biến đổi khí hậu (BĐKH) với các biểu hiện ngày càng rõ nét, đặc biệt là nước biển dâng (NBD) và sự tăng lên của nhiệt độ. Trong khi đó, sự gia tăng của nhiệt độ có thể ảnh hưởng đến sự chuyển hóa vật chất, các quá trình sinh-địa-hóa cũng như chất lượng nước (CLN) ở vùng ven biển. Qua đó, làm tăng cường nguy cơ gây ô nhiễm, suy giảm chất lượng môi trường nước vùng cửa sông ven biển Việt Nam.

Khu vực Cát Bà-Hạ Long (CB-HL) là vùng biển có khu di sản thiên nhiên và địa chất của thế giới vịnh Hạ Long và khu dự trữ sinh quyển thế giới Cát Bà. Quần đảo Cát Bà và vịnh Hạ Long vừa được công nhận là di sản thiên nhiên thế giới vào tháng 9/2023. Những năm gần đây, KTXH của tỉnh Quảng Ninh và thành phố Hải Phòng nói chung và khu vực CB-HL nói riêng đã có những bước phát triển nhanh chóng. Hai địa phương này cũng là các cực tăng trưởng quan trọng trong tam giác phát triển của vùng kinh tế trọng điểm Bắc Bộ với sự tập

trung của các ngành kinh tế mũi nhọn như công nghiệp khai thác than, cảng và giao thông thủy, du lịch dịch vụ, nuôi trồng, chế biến và khai thác thủy - hải sản... Tuy nhiên, sự phát triển đó làm gia tăng mâu thuẫn giữa phát triển kinh tế và bảo vệ tài nguyên, cảnh quan môi trường biển của khu vực. Sự suy giảm chất lượng môi trường nước, gia tăng quá trình bồi lắng, suy giảm nguồn lợi và đa dạng sinh học, phá vỡ cảnh quan đang là vấn đề được quan tâm.

Mặc dù đã có một số nghiên cứu liên quan về môi trường ở khu vực này nhưng các nghiên cứu đó đã thực hiện khá lâu, khi điều kiện KTXH ở khu vực này có mức phát triển thấp hơn hiện nay rất nhiều. Ngoài ra, các biểu hiện của BĐKH ngày càng trở lên rõ rệt hơn. Do đó, những ảnh hưởng tích hợp do hoạt động KTXH của con người và BĐKH trong thời gian sắp tới sẽ càng ngày càng sâu sắc hơn. Vì vậy, bên cạnh việc khai thác để phát triển KTXH thì việc quản lý và bảo vệ môi trường nước theo hướng phát triển bền vững càng ngày càng trở nên cấp thiết. Các câu hỏi như: Những hoạt động KTXH của con người đang tác động đến môi trường nước vùng biển CB-HL hiện nay như thế nào? Tác động của BĐKH trong thời gian tới cũng như tác động kết hợp của hoạt động KTXH và BĐKH đến môi trường nước của khu vực sẽ ra sao? Trả lời được các câu hỏi trên sẽ là cơ sở đề xuất các giải pháp quản lý, giảm thiểu tác động của các hoạt động KTXH của con người và BĐKH đến môi trường nước ở khu vực.

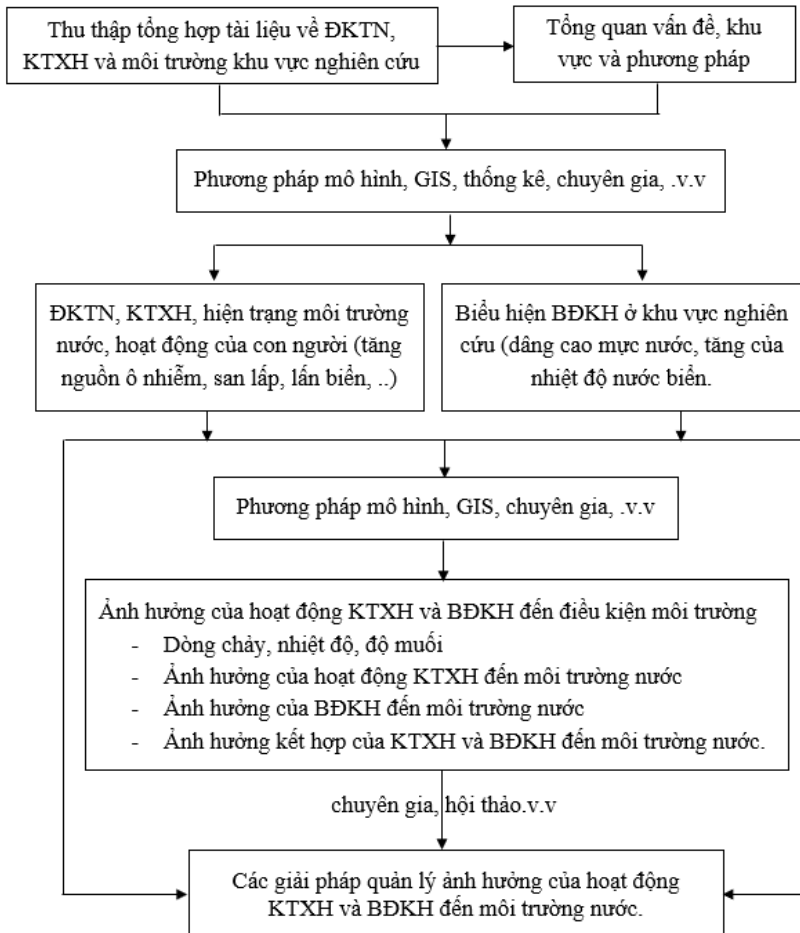
Trước thực trạng đó, đề tài luận án “**Nghiên cứu ảnh hưởng của các hoạt động kinh tế xã hội và biến đổi khí hậu đến môi trường nước ven bờ Cát Bà-Hạ Long**” đã được thực hiện với các mục tiêu và nội dung sau.

2. Mục tiêu nghiên cứu: Luận án này được thực hiện nhằm: Đánh giá/dự báo được những ảnh hưởng do các nguồn ô nhiễm hữu cơ và dinh dưỡng từ hoạt động KTXH của con người và BĐKH đến chất lượng môi trường nước khu vực ven bờ CB-HL.

3. Các nội dung nghiên cứu chính của luận án

- Cơ sở lý luận và phương pháp nghiên cứu;
- Thu thập, tổng hợp các tài liệu liên quan ở khu vực nghiên cứu;
- Phân tích, đánh giá các điều kiện tự nhiên, KTXH, môi trường và biểu hiện của BĐKH ở khu vực ven bờ CB-HL;
- Đánh giá các nguồn chất gây ô nhiễm từ hoạt động KTXH của con người và ảnh hưởng của chúng đến môi trường nước vùng biển CB-HL;

- Dự báo những tác động do tăng các nguồn chất gây ô nhiễm từ hoạt động KTXH của con người và BĐKH đến môi trường nước vùng biển CB-HL;
- Đề xuất các giải pháp quản lý, giảm thiểu tác động từ hoạt động KTXH của con người và BĐKH đến môi trường nước khu vực CB-HL.



Sơ đồ tóm tắt nội dung và phương pháp nghiên cứu của luận án

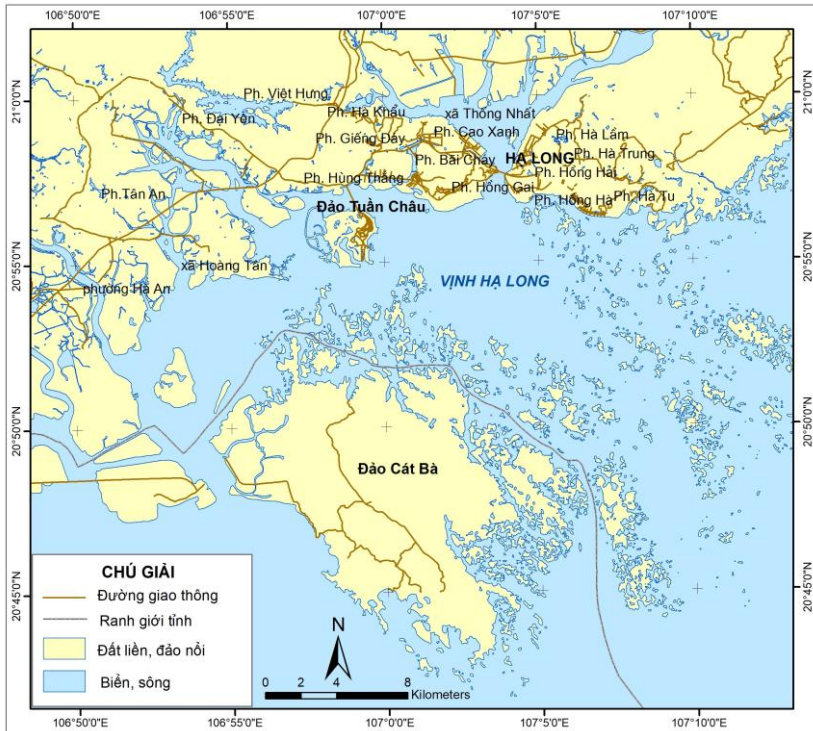
4. Phạm vi và đối tượng nghiên cứu

Phạm vi không gian: Khu vực nghiên cứu của luận án tập trung vào vùng nước ven bờ CB-HL và lân cận (hình 1.1), bao gồm nơi phát sinh các nguồn chất gây ô nhiễm do hoạt động KTXH của con người.

Vấn đề nghiên cứu: Phân tích và đánh giá tác động của các hoạt động KTXH và BĐKH đến CLN ở vùng biển CB-HL.

Đối tượng nghiên cứu:

- Các chất gây ô nhiễm (dinh dưỡng: NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} ; các chỉ số ô nhiễm hữu cơ: BOD, COD) và oxy hòa tan (DO);
- Một số hoạt động KTXH của con người, các nguồn chất gây ô nhiễm;
- Sự tăng nhiệt độ và NBD do BĐKH ở khu vực CB-HL;
- Các quá trình lan truyền, phát tán chất gây ô nhiễm từ nguồn thải và ảnh hưởng của chúng đến môi trường nước ở khu vực CB-HL.



Hình 1. 1. Khu vực ven bờ Cát Bà-Hạ Long

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

Ý nghĩa khoa học: Việc áp dụng phương pháp mô hình không chỉ khắc phục những hạn chế khó khăn của các phương pháp khảo sát truyền thống. Nghiên cứu này là công trình đầu tiên áp dụng mô hình 3D để nghiên cứu đánh giá/dự báo tích hợp ảnh hưởng của hoạt động KTXH và BĐKH đến môi trường nước vùng biển CB-HL.

Ý nghĩa thực tiễn: Với việc ứng dụng mô hình toán, luận án cho thấy bức tranh biến động theo không gian và thời gian diễn biến chất lượng môi trường nước ở vùng biển CB-HL. Đây sẽ là cơ sở để hoạch định các chính sách phát triển KTXH gắn với yêu cầu bảo vệ môi trường nước và thích ứng với BĐKH.

6. Điểm mới của luận án

- Các biểu hiện của BĐKH (dâng cao mực nước biển và tăng nhiệt độ nước biển) ở vùng biển CB-HL dựa trên các kết quả phân tích từ số liệu quan trắc mới nhất đến 2020 (thời điểm thực hiện luận án).

- Các ảnh hưởng riêng biệt/kết hợp của hoạt động KTXH (tăng nguồn ô nhiễm và lấn biển) và BĐKH (dâng cao mực nước biển và tăng nhiệt độ) đến chất lượng môi trường nước vùng biển CB-HL dựa trên kết quả tính toán/dự báo của mô hình số trị.

7. Cấu trúc của luận án

Bên cạnh phần mở đầu, kết luận và tài liệu tham khảo, luận án được cấu trúc thành 03 chương chính như sau:

Chương 1. Tổng quan vấn đề và khu vực nghiên cứu: cung cấp thông tin tổng quan về tác động của hoạt động KTXH và BĐKH đến môi trường nước cũng như các thông tin về điều kiện tự nhiên, KTXH và hiện trạng chất lượng nước ở khu vực nghiên cứu.

Chương 2 trình bày tài liệu, cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu để giải quyết các mục tiêu đã đặt ra của luận án.

Chương 3 trình bày toàn bộ các kết quả nghiên cứu, gồm các kết quả về biểu hiện BĐKH ở khu vực CB-HL, trong đó tập trung vào xu thế dâng cao mực nước và tăng nhiệt độ dựa trên số liệu quan trắc; ảnh hưởng của hoạt động KTXH và BĐKH đến điều kiện môi trường và môi trường nước vùng biển CB-HL theo các nhóm kịch bản khác nhau như lấn biển, do gia tăng nguồn chất gây ô nhiễm và những ảnh hưởng do BĐKH. Dựa trên các kết quả phân tích, đánh giá, dự báo những ảnh hưởng (cả riêng biệt và tích hợp), các giải pháp quản lý môi trường ở khu vực CB-HL.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VẤN ĐỀ VÀ KHU VỰC NGHIÊN CỨU

1.1. Tổng quan về ảnh hưởng của hoạt động kinh tế xã hội và biến đổi khí hậu đến môi trường nước

1.1.1. Tổng quan về ảnh hưởng của hoạt động KTXH đến môi trường nước

1.1.1.1. Nghiên cứu về ảnh hưởng do các hoạt động KTXH đến môi trường nước vùng ven biển trên thế giới

Các hoạt động KTXH của con người đã và đang tác động tiêu cực đến môi trường ở vùng ven biển, thậm chí dẫn đến tổn thương các hệ sinh thái ở khu vực này hơn nhiều so với các tác động của tự nhiên. Nhiệt độ, mực nước biển tăng và pH giảm là những thay đổi môi trường ven biển.

1.1.1.2. Nghiên cứu về ảnh hưởng do các hoạt động KTXH đến môi trường nước vùng ven biển ở Việt Nam

Nghiên cứu về ảnh hưởng do hoạt động KTXH của con người và BĐKH đã nhận được sự quan tâm nghiên cứu từ những năm 90 của thế kỷ trước, trên cơ sở các kết quả khảo sát, phân tích và tính toán. Gần đây, khi công cụ máy tính phát triển mạnh và khả năng chia sẻ dữ liệu qua mạng internet dễ dàng hơn, việc ứng dụng các mô hình toán trong nghiên cứu chất lượng môi trường nước đã phát triển mạnh mẽ hơn.

1.1.2. Tổng quan tác động tích hợp của hoạt động KTXH và BĐKH

1.1.2.1. Biểu hiện của BĐKH trên thế giới

BĐKH là một trong những thách thức lớn nhất của nhân loại trong thế kỷ 21 với biểu hiện rõ rệt nhất là nhiệt độ tăng và sự dâng cao của mực nước biển. Theo IPCC, vào cuối thế kỷ 21 nhiệt độ tăng $1,1 \div 2,6^{\circ}\text{C}$ (RCP4.5) và $2,6 \div 4,8^{\circ}\text{C}$ (RCP8.5) so với trung bình thời kỳ 1986-2005.

Mực nước biển trung bình toàn cầu (GMSL) đang tăng và tốc độ ngày càng nhanh trong những thập kỷ gần đây: 3,16 mm/năm giai đoạn 1993-2015; 3,6 mm/năm trong giai đoạn 2006-2015.

1.1.2.2. Các biểu hiện của BĐKH ở Việt Nam

Kết quả phân tích từ số liệu quan của Bộ Tài nguyên và Môi trường, nhiệt độ cao nhất và thấp nhất năm đều có xu thế tăng. Nhiệt độ năm tăng khoảng $1,5 - 2,4^{\circ}\text{C}$ và $3,0 - 4,2^{\circ}\text{C}$ lần lượt theo kịch bản RCP4.5 và RCP8.5. Mực nước biển có xu thế tăng rõ ràng ở 11/15 trạm, với tốc độ tăng trung bình khoảng 2,7 mm/năm.

1.1.2.3. Ảnh hưởng tích hợp do hoạt động của KTXH và BĐKH đến môi trường nước trên thế giới

Nhiều nghiên cứu trên thế giới cũng đã chỉ ra rằng việc đánh giá dự báo ảnh hưởng tích hợp do phát triển KTXH của con người và BĐKH luôn là một quá trình phức tạp, đặc biệt là ở các vùng ven biển. Vì vậy, cần có cách tiếp cận mang tính tổng hợp, trong đó phải tính đến các ảnh hưởng qua lại/tương tác giữa các điều kiện tự nhiên, môi trường và KTXH.

1.1.2.4. Ảnh hưởng tích hợp do hoạt động KTXH và BĐKH đến môi trường nước ở Việt Nam

Ở nước ta cho đến nay chưa có nghiên cứu dựa trên công cụ mô hình về ảnh hưởng tích hợp do hoạt động KTXH của con người và tác động của BĐKH đến môi trường nước ở các vùng cửa sông ven biển.

1.2. Điều kiện tự nhiên, KTXH và môi trường khu vực nghiên cứu

1.2.1. Điều kiện tự nhiên

1.2.1.1. Vị trí, địa hình khu vực nghiên cứu

Khu vực ven bờ CB-HL nằm ở vùng ven bờ phía Đông Bắc Việt Nam. Địa hình khu vực CB-HL được đặc trưng bởi sự chia cắt của khoảng 2367 hòn đảo lớn nhỏ. Đáy biển khu vực có độ sâu biến đổi chủ yếu trong khoảng từ 3-10m, cá biệt xuất hiện độ sâu từ 10-20m ở các lạch hẹp.

1.2.1.2. Đặc điểm khí hậu

Khu vực nghiên cứu mang tính chất khí hậu nhiệt đới nóng ẩm, bị phân hoá thành hai mùa rõ rệt: mùa hạ (tháng 5 đến tháng 10) nóng ẩm, mưa nhiều kéo dài, thường xuất hiện bão, áp thấp nhiệt đới, dông...; mùa đông (tháng 11 đến tháng 3) rét lạnh, ít mưa. Mùa hạ nóng, nền nhiệt độ trung bình tháng nhiều năm đều lớn hơn 27,7°C kéo dài từ tháng 6 đến tháng 9. Mùa đông lạnh, khu vực thường xuyên chịu ảnh hưởng của các đợt gió mùa Đông Bắc, nền nhiệt độ hạ xuống dưới 18,5°C.

1.2.1.3. Đặc điểm hải văn

Vùng biển CB-HL chịu ảnh hưởng của chế độ nhật triều điển hình với biên độ triều lớn nhất lên đến 4,6 m. Trong một tháng có hai kỳ triều cường với giá trị mực nước trung bình đạt 3,9 m và hai kỳ triều kém.

Chế độ dòng chảy của vùng biển CB-HL là dòng chảy tổng hợp liên quan chặt chẽ đến dao động của thủy triều, trường gió, ảnh hưởng của các khối nước sông đưa vào khu vực.

Sóng biển khu vực nghiên cứu nói chung không lớn, ngoại trừ sóng bão và tần suất lặng sóng đạt 28,2%. Trong thời kỳ gió mùa Đông Bắc, hướng sóng

thịnh hành Đông/Đông Bắc, độ cao sóng trung bình 0,5-0,6 m. Vào mùa hè, độ cao sóng trung bình 0,6-0,8 m, sóng thịnh hành hướng Đông Nam với tần suất 27% và hướng Nam với tần suất 22%.

1.2.2. Đặc điểm KTXH liên quan đến chất lượng nước khu vực nghiên cứu

1.2.2.1. Hoạt động nuôi trồng, đánh bắt thủy hải sản

Nuôi trồng, đánh bắt thủy hải sản là hoạt động kinh tế quan trọng. Tổng sản lượng khai thác và nuôi trồng ở Hải Phòng và Quảng Ninh đều có xu hướng gia tăng qua các năm.

1.2.2.2. Hoạt động du lịch

Du lịch, dịch vụ cũng là một ngành kinh tế quan trọng và mũi nhọn ở khu vực này. Tuy nhiên, du lịch cũng gây ra những thách thức không nhỏ đối với công tác bảo tồn các giá trị của di sản, kỳ quan thế giới.

1.2.2.3. Hoạt động sản xuất công nghiệp

Thành phố Hải Phòng và Quảng Ninh là 2 địa phương có giá trị sản xuất công nghiệp rất lớn. Các khu, cụm công nghiệp ven biển đang phát triển rất mạnh cũng đã và đang ảnh hưởng môi trường biển khu vực.

1.2.2.4. Hoạt động đô thị hóa ven bờ

Nước thải đô thị là một trong các nguồn lớn gây ô nhiễm môi trường nước khu vực ven bờ CB - HL. Hiện nay, khối lượng nước thải đổ vào vịnh Hạ Long ước tính khoảng 15,3 nghìn m³ mỗi ngày đêm nhưng lượng nước được xử lý trước khi đổ ra biển vẫn còn khá hạn chế.

Bên cạnh nguồn thải từ quá trình đô thị hóa ở vùng ven bờ, các quá trình lấn biển cũng làm thay đổi không gian ở vùng ven bờ CB-HL. Chỉ trong vòng trên 10 năm, khu vực vịnh Cửa Lục đã bị lấn biển với tổng cộng lên tới 419,2 ha. Trong khi đó, ở vùng ven bờ Bãi Cháy-Tuần Châu, diện tích mặt nước giai đoạn trước năm 2010 là 4770,3 ha, nhưng do các hoạt động lấn biển diễn ra mạnh mẽ trong những năm gần đây, đến năm 2019, diện tích mặt nước khu vực ven bờ này đã thu hẹp xuống còn 3546,1 ha, giảm tới 1224,2 ha.

1.2.3. Hiện trạng chất lượng môi trường nước

1.2.3.1. Oxy hòa tan

1.2.3.2. Dinh dưỡng hòa tan

1.2.3.3. Các chất hữu cơ

1.2.3.4. Trầm tích lơ lửng

Kết quả phân tích hiện trạng môi trường nước ở khu vực cho thấy hầu hết đầu nằm trong giới hạn cho phép trong QCVN10:2023/BTNMT. Tuy nhiên, có biểu hiện ô nhiễm cục bộ tại các vị trí gần nguồn thải vào một số thời điểm.

CHƯƠNG 2. TÀI LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Tài liệu

Các nhóm tài liệu sau đây đã được sử dụng, bao gồm:

- Số liệu KTXH từ niên giám thống kê tỉnh Quảng Ninh và thành phố Hải Phòng qua các năm trong giai đoạn 2018-2023.
- Số liệu mực nước tại trạm Hòn Dấu từ năm 1961-2020, trạm Bãi Cháy từ 1981-2020 và nhiệt độ tại trạm Hòn Dấu và Bãi Cháy giai đoạn 1995-2000.
- Số liệu độ sâu và đường bờ của khu vực nghiên cứu được số hóa từ các bản đồ địa hình UTM hệ tọa độ VN 2000 tỷ lệ 1: 50000 và 1: 25000 và cơ sở dữ liệu GEBCO -1/8 của Trung tâm tư liệu Hải dương học vương quốc Anh.
- Các hằng số điều hòa thủy triều của 13 sóng triều bao gồm: M_2 , S_2 , N_2 , K_2 , K_1 , O_1 , P_1 , Q_1 , MF , MM , M_4 , MS_4 , MN_4 từ cơ sở dữ liệu của mô hình thủy triều toàn cầu TPXO8, có độ phân giải không gian $0,25^\circ \times 0,25^\circ$.
- Số liệu khí tượng: số liệu trường khí tượng cho toàn khu vực nghiên cứu từ dữ liệu khí tượng ECMWF Re-analysis-5 (ERA5).
- Tài liệu thủy văn sông tại một số trạm thủy văn trong khu vực như Cửa Cấm, Trung Trang, Quyết Chiến.
- Số liệu khảo sát các chất gây ô nhiễm của đề tài NĐT.97.BE/20 và VAST05.05/21-22 được sử dụng để hiệu chỉnh và kiểm chứng mô hình.
- Tổng tải lượng chất ô nhiễm năm 2019 và dự báo vào năm 2030 ở khu vực CB-HL từ nhiệm vụ NĐT.97.BE/20.

Trên cơ sở các mục tiêu đã đặt ra, các nội dung nghiên cứu của luận án với 5 nhóm vấn đề chính theo logic giải quyết vấn đề, gồm: 1) Tổng quan về ảnh hưởng của hoạt động KTXH và BĐKH đến môi trường nước; 2) Thu thập, tổng hợp tài liệu; 3) Đánh giá biểu hiện BĐKH khu vực nghiên cứu; 4) Đánh giá ảnh hưởng của các hoạt động KTXH và BĐKH đến môi trường nước; 5) Đề xuất các giải pháp quản lý ảnh hưởng của hoạt động KTXH và BĐKH đến môi trường nước khu vực nghiên cứu.

2.2. Cách tiếp cận

2.2.1. Tiếp cận hệ thống

2.2.2. Tiếp cận từ mô hình

Với cách tiếp cận này, sẽ tính toán và dự báo được ảnh hưởng của hoạt động KTXH và BĐKH đến CLN ở khu vực theo không gian và thời gian một cách toàn diện, nhanh chóng, đảm bảo độ tin cậy. Mô hình được sử dụng là Delf3D.

2.2.3. Tiếp cận liên ngành

2.2.4. Kế thừa các tài liệu đã có

Luận án đã kế thừa nguồn tài liệu, dữ liệu phong phú, có hệ thống và các kết quả đo đạc, khảo sát, nghiên cứu có giá trị liên quan.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Phương pháp phân tích thống kê

Phương pháp phân tích thống kê, kiểm nghiệm tham số Mann- Kendall và Sen's Slope được sử dụng để phân tích các đặc trưng thống kê của một số yếu tố như mực nước, nhiệt độ nước biển, nhằm đánh giá những biểu hiện của BĐKH.

2.3.2. Phương pháp mô hình

2.3.2.1. Cơ sở lý thuyết của mô hình

a. Mô hình thủy động lực

Trong nghiên cứu này, mô hình Delft3D để mô phỏng quá trình thủy động lực (TĐL) và CLN ở khu vực CB-HL. Đây là mô hình tổng hợp 3 chiều (3D) do Viện Thủy lực Delft (Hà Lan) nghiên cứu phát triển gồm có các module cơ bản như TĐL (Delft3D-Flow), sóng (Delft3D-Wave), vận chuyển bùn cát (Delft3D-Sed), CLN (Delft3D-Waq) và sinh thái học (Delft3D- Eco). Mô hình này có thể mô phỏng tốt điều kiện TĐL-sóng, vận chuyển bùn cát, CLN ở vùng cửa sông ven bờ và đã được ứng dụng nhiều trong các nghiên cứu liên quan ở Việt Nam .

b. Mô hình chất lượng nước

Module thủy Delft3D-Waq (CLN) là module Waq của hệ thống mô hình Delft3D, được sử dụng để tính toán và mô phỏng sự lan truyền, biến đổi và các quá trình liên quan tới CLN

2.3.2.2. Thiết lập mô hình

a. Mô hình thủy động lực

Mô hình thủy động lực ven bờ CB-HL sử dụng hệ lưới cong trục giao. Phạm vi vùng tính của mô hình bao gồm các vùng nước khu vực cửa sông ven biển trải dài từ vùng biển phía Bắc vịnh Hạ Long đến phía Nam cửa Trà Lý. Miền tính có kích thước khoảng 144 km theo chiều Đông - Tây và 120 km theo chiều Bắc Nam, Đông Nam, được chia được chia thành 696 x 306 điểm tính với các ô lưới có kích thước biến đổi từ 17,7 đến 670,3 m. Theo chiều thẳng đứng, các ô lưới sử dụng hệ tọa độ σ , với 5 lớp nước.

b. Mô hình chất lượng nước

Mô hình CLN được thiết lập 3 chiều (3D) với 3 lớp độ sâu: tầng mặt, giữa và tầng đáy. Phạm vi miền tính bao phủ toàn bộ vùng biển khu vực vịnh Bắc Bộ. Mô hình CLN cũng sử dụng các kết quả tính toán của mô hình TĐL.

Các đối tượng tính toán mô phỏng, trong báo cáo này, các đối tượng tính toán chính chủ yếu là: Oxy hòa tan (DO), các chất hữu cơ (BOD, COD), dinh dưỡng của Nitơ (NH_4^+ , NO_3^-), Phot pho (PO_4^{3-}).

2.3.2.3. Các kịch bản tính toán mô phỏng

Với mục tiêu đánh giá những tác động của hoạt động KTXH và BĐKH, các

nhóm kịch bản mô phỏng đã được thiết lập, bao gồm:

Nhóm kịch bản hiệu chỉnh và kiểm chứng mô hình: được thiết lập cho các tháng trong năm 2021 với các điều kiện như địa hình, khí tượng, thủy văn, điều kiện môi trường,.. của năm 2021. Nhóm kịch bản này được dùng để hiệu chỉnh và kiểm chứng mô hình thông qua so sánh với quan trắc.

Nhóm kịch bản mô phỏng hiện trạng: được thiết lập và mô phỏng chế độ TĐL và CLN cho năm 2019.

Nhóm kịch bản dự báo ảnh hưởng do hoạt động KTXH của con người: bao gồm nhóm kịch bản được thiết lập và mô phỏng trước khi lấn biển (2010) và nhóm kịch bản tăng nguồn chất gây ô nhiễm vào năm 2030.

Nhóm kịch bản dự báo ảnh hưởng của BĐKH: gồm tăng nhiệt độ và NBD vào năm 2030 và 2050 dựa trên kịch bản BĐKH của Bộ tài nguyên và môi trường năm 2020.

Nhóm kịch bản dự báo ảnh hưởng kết hợp do hoạt động KTXH của con người và BĐKH đến CLN vào năm 2030 và 2050.

Mỗi kịch bản được thiết lập và mô phỏng trong 4 mùa: mùa gió Đông Bắc (tháng 1), mùa gió chuyển tiếp từ Đông Bắc sang Tây Nam (tháng 5), mùa gió Tây Nam (tháng 7) và mùa gió chuyển tiếp từ Tây Nam sang Đông Bắc (tháng 10).

2.3.2.4. Hiệu chỉnh kiểm chứng các kết quả của mô hình

Mức độ tin cậy trong các tính toán sẽ được đánh giá dựa trên các chỉ số như sai số bình phương trung bình (Root Mean Squared Error-RMSE), độ lệch BIAS và chỉ số Nash và Sutcliffe (NSE). Chỉ số NSE xác định mức độ chính xác của dự báo. Giá trị NSE nằm trong khoảng 0,75-1 thì các kết quả dự báo rất tốt; NSE nằm trong khoảng 0,65-0,75 thì kết quả dự báo tốt; NSE trong khoảng 0,5-0,65 thì kết quả dự báo thỏa mãn; $NSE < 0,5$ thì kết quả dự báo không thỏa mãn. Khi NSE mang dấu âm (-), các đặc trưng trung bình tính từ chuỗi quan trắc cho kết quả dự báo tốt hơn từ mô hình. BIAS chỉ sai số trung bình của dự báo và cho kết quả tốt khi BIAS tiến tới 0. RMSE đo lường sai số trung bình của mô hình so với dữ liệu thực tế. Giá trị RMSE càng nhỏ thì mô hình càng tốt

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \quad (7)$$

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i) \quad (8)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N}} \quad (9)$$

Trong đó: O_i - giá trị quan trắc, đo đạc; $\bar{O}$ - giá trị quan trắc trung bình; P_i - giá trị tính toán, dự báo; $\bar{P}$ - giá trị trung bình dự báo.

CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Các biểu hiện của biến đổi khí hậu ở khu vực Cát Bà-Hạ Long

3.1.1. Xu thế dâng cao của mực nước biển

3.1.1.1. Biến đổi mực nước theo thời gian

Tại trạm Hòn Dấu, mực nước thay đổi trong các giai đoạn khác nhau: từ 183,66 cm trong thời kỳ 1961-1980 đến 191,68 cm giai đoạn 1981-2000 và đạt 197,27 cm đối với giai đoạn 2001-2020.

3.1.1.2. Xu thế dâng cao mực nước

NBD tại trạm Hòn Dấu và Bãi Cháy, NBD là 3,38mm/năm (1961-2020) và 4,18mm/năm (1981-2020) ở trạm Bãi Cháy.

3.1.2. Xu thế tăng của nhiệt độ nước biển

3.1.2.1. Biến đổi nhiệt độ nước

Tại trạm Hòn Dấu giai đoạn 1995-2020 cho thấy nhiệt độ nước tăng dần từ tháng 1 đến tháng 3 và tăng nhanh từ tháng 3 đến tháng 5 sau đó đạt cực đại vào tháng 6-7 (với khoảng 30,2°C), sau đó giảm dần đến tháng 1. Nhiệt độ trung bình nước biển đều trên 28°C từ tháng 5 (28,5°C) cho đến tháng 9 (29,7°C). Ngược lại, nhiệt độ hầu như dưới 22°C từ tháng 12 (21,1°C) cho đến tháng 3 (21°C), với nhiệt độ thấp nhất rơi vào tháng 1.

3.1.2.2. Xu thế tăng nhiệt độ

Theo thời gian nhiệt độ trung bình năm tại trạm Hòn Dấu có xu hướng tăng, khoảng 0,02°C/năm. Tại trạm Bãi Cháy, tốc độ tăng của nhiệt độ nước bề mặt trong giai đoạn 1995-2020 là 0,052°C/năm.

3.2. Hiệu chỉnh và kiểm chứng mô hình

3.2.1. Mô hình thủy động lực

Mô hình thủy động lực đã được hiệu chỉnh và kiểm chứng với số liệu đo. Sau lần hiệu chỉnh cuối cùng, hệ số NSE biến đổi từ 0,54-0,62 và 0,55-0,68 tương ứng với độ lớn và hướng dòng chảy. Hệ số NSE đối với kiểm chứng mô hình là 0,55-0,65 đối với vận tốc và 0,58-0,71 đối với hướng dòng chảy. Sự khác biệt trung bình giữa mô phỏng và đo đạc (BIAS) khoảng -0,03 đến 0,06 m/s (tốc độ) và -10,2 đến 20,3° (hướng). Sai số RMSE là từ 23,2 đến 35,5° cho hướng và từ 0,03-0,05 m/s cho vận tốc.

3.2.2. Mô hình chất lượng nước

Kết quả mô phỏng đã được so sánh với các chất hữu cơ (BOD_5 , COD) và dinh dưỡng (NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-}) quan trắc tại các trạm LT1-LT5. Sau các lần hiệu chỉnh, kết quả kiểm chứng cho thấy sự khá tương đồng giữa kết quả mô phỏng và quan trắc, với hệ số NSE tương ứng dao động từ 0,54 đến 0,67 và 0,56-0,68. Giá trị RMSE dao động từ 0,15 đến 0,29 mg/l và từ 3,3 đến 5,2 $\mu\text{g/l}$ tương ứng với các chất hữu cơ và dinh dưỡng. Hệ số BIAS biến động trong khoảng từ -0,001 đến 0,004 mg/l đối với các chất hữu cơ và từ -1,79 đến 0,91 $\mu\text{g/l}$ đối với các chất dinh dưỡng, chỉ ra sự phù hợp có giữa các mô phỏng và quan trắc.

3.3. Ảnh hưởng của hoạt động KTXH và BĐKH đến điều kiện môi trường

3.3.1. Dòng chảy

Sự dâng lên của mực nước biển và tăng lên của nhiệt độ do BĐKH đến điều kiện dòng chảy của khu vực nghiên cứu trong giai đoạn 2019, 2030 và 2050 cũng được tính toán. Các kết quả phân tích, tính toán cho thấy, những ảnh hưởng của BĐKH đến điều kiện TĐL của khu vực nghiên cứu khá nhỏ, không thể hiện rõ thành các xu hướng. Những ảnh hưởng do hoạt động nhân sinh đến điều kiện TĐL ở khu vực CB-HL thể hiện rõ nhất là từ hoạt động lấn biển, san lấp, thay đổi địa hình ở vùng biển ven bờ.

3.3.2. Nhiệt độ nước

Nhiệt độ khu vực CB-HL có sự biến động rõ rệt theo mùa. Dưới ảnh hưởng của BĐKH (tăng nhiệt độ không khí và NBD), xu hướng biến đổi nhiệt độ nước vào năm 2030 và 2050 khá tương đồng với trong các kịch bản hiện trạng. Tuy nhiên nền nhiệt độ nước khu vực nghiên cứu trong kịch bản dự báo tăng lên rõ rệt so với kịch bản hiện trạng (2019), với giá trị khoảng 0,5-1,0°C (2030) và 1,0-2,0°C (2050).

3.3.3. Độ muối

Độ muối ở vùng biển CB-HL biến động theo không gian và thời gian phụ thuộc vào dao động mực nước thủy triều, lưu lượng nước từ sông. Dưới ảnh hưởng của BĐKH, xu hướng biến đổi độ muối vào năm 2030 và 2050 khá tương đồng với kịch bản hiện trạng (2019). Độ muối thấp vẫn chủ yếu tập trung vịnh Cửa Lục, khu vực trong sông ra đến cửa và ổn định hơn khi ra phía ngoài. Mặc dù nhiệt độ tăng và NBD do BĐKH nhưng ảnh hưởng của chúng đến phân bố độ muối ở khu vực không đáng kể.

3.4. Ảnh hưởng của hoạt động phát triển KTXH và BDKH đến chất lượng môi trường nước khu vực Cát Bà-Hạ Long

3.4.1. Ảnh hưởng do hoạt động KTXH

3.4.1.1. Ảnh hưởng riêng do tăng nguồn chất gây ô nhiễm

Kết quả cho thấy khi tăng các nguồn chất ô nhiễm vào khu vực nghiên cứu thì hàm lượng DO có sự thay đổi nhất định và biến động theo thời gian và không gian. Sự phân bố của DO cũng khá tương đồng với kịch bản hiện trạng. Tuy nhiên, sự gia tăng của nguồn chất gây ô nhiễm đã làm giảm đáng kể hàm lượng DO trong nước ở khu vực nghiên cứu, đặc biệt là ở vùng ven bờ như vịnh Cửa Lục, vịnh Hạ Long, khu vực Tây Nam đảo Cát Bà, đặc biệt là khu vực phía Bắc đảo Tuần Châu.

Phân tích hàm lượng DO trung bình tại một số điểm ở khu vực nghiên cứu như Cửa Lục, Hạ Long, Tuần Châu, Cẩm Phả, Bãi Cháy cho thấy xu hướng chung khi tải lượng chất gây ô nhiễm tăng vào năm 2030 thì hàm lượng DO giảm so với kịch bản hiện trạng và có sự biến động rất rõ rệt theo mùa. Vào mùa gió Đông Bắc hàm lượng DO giảm 0,15-0,21mg/l. Trong đó, ở khu vực Bãi Cháy có hàm lượng DO giảm nhiều nhất so với các khu vực khác với giá trị 0,21mg/l, tiếp đến khu vực phía Nam đảo Tuần Châu (0,18mg/l), khu vực Cửa Lục, Cẩm Phả (0,17mg/l) và nhỏ nhất khu vực giữa vịnh Hạ Long (0,15mg/l). Vào mùa gió chuyển tiếp từ Đông Bắc sang Tây Nam, hàm lượng DO nhỏ hơn so với các mùa khác, tuy nhiên xu hướng giảm rõ rệt hơn, đặc biệt là khu vực phía Nam đảo Tuần Châu và vịnh Hạ Long có thể đạt trên 0,4mg/l.

Trong khi đó vào mùa gió Tây Nam, với sự gia tăng của nguồn dinh dưỡng và hữu cơ, DO cũng có xu hướng giảm khoảng 0,14-0,16mg/l và không có sự khác nhau nhiều giữa các khu vực. Vào mùa gió chuyển tiếp từ Tây Nam sang Đông Bắc, khi gia tăng nguồn chất gây ô nhiễm đưa vào khu vực nghiên cứu, hàm lượng DO trong nước ở vùng biển CB-HL giảm nhẹ so với kịch bản hiện trạng. Giá trị DO trung bình giảm 0,07-0,15mg/l, nhỏ nhất trong các mùa.

3.4.1.2. Ảnh hưởng riêng do lấn biển, xây dựng các công trình ven biển

Những ảnh hưởng do hoạt động lấn biển ở khu vực ven bờ CB-HL đã làm thay đổi các điều kiện TĐL ở vùng biển ven bờ. Đây là một nhân tố chính gây ra sự phát tán và vận chuyển các chất gây ô nhiễm ở khu vực CB-HL. Trong mùa gió chuyển tiếp từ Tây Nam sang Đông Bắc, ảnh hưởng của lấn biển có thể làm giảm hàm lượng DO ở vịnh Hạ Long, khu vực đảo Tuần Châu, đặc biệt phía Bắc đảo Tuần Châu.

Vào mùa gió Đông Bắc, khu vực vịnh Cửa Lục, hàm lượng DO trung bình

giảm nhẹ 0,04mg/l, ngược lại ở các khu vực khác đều có xu hướng tăng lượng DO sau khi lần biển. Lượng DO tăng nhiều hơn ở khu vực phía Nam đảo Tuần Châu (0,32mg/l), sau đó đến ven bờ Bãi Cháy (0,2 mg/l), ven bờ Cẩm Phả (0,18mg/l) và nhỏ nhất ở vịnh Hạ Long (0,02mg/l). Vào mùa gió chuyển tiếp từ Đông Bắc sang Tây Nam, ảnh hưởng của lần biển lại làm giảm DO ở khu vực ven bờ Bãi Cháy và phía Nam Tuần Châu với giá trị lần lượt là 0,17 và 0,25mg/l, ngược lại, ở các khu vực còn lại, lần biển làm tăng nhẹ DO lên 0,03-0,12mg/l.

Sau lần biển, BOD trung bình xu hướng tăng vào các mùa trong năm chiếm ưu thế ở hầu hết các khu vực, với giá trị 0,002-0,172 g/m³. Giá trị BOD tăng lớn nhất xảy ra vào mùa gió Đông Bắc với giá trị 0,172 g/m³ ở khu vực Cửa Lục. Tuy nhiên ở khu vực Cửa Lục, Hạ Long, Cẩm Phả trong mùa gió chuyển tiếp từ Đông Bắc sang Tây Nam và khu vực Cửa Lục, phía Nam đảo Tuần Châu trong mùa gió Tây Nam có BOD giảm so với trước khi có hoạt động lần biển, với giá trị lần lượt trong khoảng 0,047-0,068 g/m³ và 0,009-0,063 g/m³.

Giá trị COD trung bình sau khi có hoạt động lần biển có xu thế tăng chủ yếu vào mùa gió Đông Bắc và mùa gió chuyển tiếp từ Tây Nam sang Đông Bắc với giá trị 0,002-0,076g/m³, ngoại trừ khu vực Cẩm Phả có xu hướng giảm (0,21 g/m³). Ngược lại vào mùa gió chuyển tiếp từ Đông Bắc sang Tây Nam và mùa gió Tây Nam, COD có xu hướng giảm chiếm đa số với giá trị 0,02-0,1 g/m³, ngoại trừ khu vực Hạ Long tăng nhẹ (0,001 g/m³).

Hàm lượng NO₃⁻ trung bình cũng có xu hướng tăng/giảm tại các vị khác nhau trong các mùa. Vào mùa gió Đông Bắc, xu hướng tăng của NO₃⁻ được thấy ở cả 5 khu vực dưới ảnh hưởng của lần biển, với giá trị tăng 0,004-0,007g/m³. Ngược lại xu thế giảm xuất hiện ở hầu hết các khu vực trong các mùa còn lại, với giá trị nhỏ hơn 0,01g/m³.

Sau khi có hoạt động lần biển, hàm lượng NH₄⁺ trung bình có xu hướng tăng trong mùa gió Đông Bắc và mùa gió chuyển tiếp từ Tây Nam sang Đông Bắc với giá trị có thể đạt 0,0064 g/m³. Xu hướng tăng của NH₄⁺ trong mùa gió chuyển tiếp từ Tây Nam sang Đông Bắc thể hiện rõ hơn so với trong mùa gió Đông Bắc. Ngược lại xu hướng giảm ở cả 5 khu vực được tìm thấy trong mùa gió chuyển tiếp từ Đông Bắc sang Tây Nam và chỉ xuất hiện ở khu vực phía nam đảo Tuần Châu và Cẩm Phả.

Đối với PO₄³⁻ trung bình sau khi có hoạt động lần biển thì xu hướng tăng xuất hiện ở hầu hết các điểm trong mùa gió Đông Bắc, mùa gió Tây Nam và mùa gió chuyển tiếp từ Tây Nam sang Đông Bắc (ngoại trừ khu vực Cẩm Phả), với giá trị 0,001-0,007g/m³. Xu hướng ngược lại xảy ra vào mùa gió chuyển tiếp từ Đông Bắc sang tây, với giá trị giảm 0,003-0,007g/m³, ngoại trừ khu vực phía

nam đảo Tuần Châu có xu hướng tăng nhẹ ($0,001\text{g/m}^3$).

Những phân tích trên cho thấy ảnh hưởng của hoạt động lấn biển đến môi trường nước khu vực nghiên cứu khá phức tạp. Các mức độ ảnh hưởng khác nhau (cả tích cực và tiêu cực) thay đổi theo thời gian/mùa trong năm và giữa các vị trí/khu vực khác nhau ở vùng ven bờ CB-HL.

3.4.2. Ảnh hưởng do BĐKH

Dưới ảnh hưởng của các điều kiện BĐKH, hàm lượng DO trong nước có xu hướng giảm khá rõ. Trong đó, vào mùa gió Đông Bắc hàm lượng DO trung bình giảm nhẹ $0,06\text{ mg/l}$ (kịch bản 2030) và $0,1\text{mg/l}$ (kịch bản 2050). Vào mùa gió chuyển tiếp từ Đông Bắc sang Tây Nam, hàm lượng DO theo các kịch bản BĐKH 2030 và 2050 lần lượt giảm $0,04$ và $0,06\text{ mg/l}$. Xu hướng giảm diễn ra rõ rệt hơn vào mùa gió Tây Nam khi hàm lượng DO trung bình ở các khu vực kiểm tra theo kịch bản BĐKH 2030 và 2050 lần lượt giảm $0,27$ và $0,29\text{ mg/l}$. Vào mùa gió chuyển tiếp từ Tây Nam sang Đông Bắc, hàm lượng DO giảm lần lượt $0,03$ và $0,04\text{mg/l}$ cho các kịch bản BĐKH 2030 và 2050.

Sự tăng lên của mực nước và nhiệt độ có thể làm giảm BOD vùng ven bờ với các giá trị $0,005\text{-}0,011\text{ g/m}^3$ và $0,019\text{-}0,046\text{ g/m}^3$, tương ứng với mùa gió Đông Bắc và mùa gió chuyển tiếp Đông Bắc sang Tây Nam. Đối với mùa gió Tây Nam và mùa gió chuyển tiếp Tây Nam sang Đông Bắc, giá trị BOD có xu hướng tăng nhẹ trong kịch bản mô phỏng cho năm 2030 với giá trị lần lượt là $0,009\text{ g/m}^3$ và $0,006\text{ g/m}^3$. Xu hướng ngược lại được tìm thấy trong kịch bản mô phỏng vào năm 2050: giảm $0,028\text{ g/m}^3$ (gió mùa Tây Nam) và $0,02\text{ g/m}^3$ (mùa gió chuyển tiếp từ Tây Nam sang Đông Bắc). Giá trị COD trung bình cũng có xu hướng giảm ở hầu hết các khu vực ở các kịch bản, đặc biệt là giảm nhiều hơn ở kịch bản mô phỏng dưới tác động của BĐKH vào năm 2050. Vào các mùa gió Đông Bắc, mùa gió chuyển tiếp từ Đông Bắc sang Tây Nam và mùa gió chuyển tiếp Tây Nam sang Đông Bắc, COD giảm với các khoảng giá trị lần lượt là $0,006\text{-}0,012\text{g/m}^3$; $0,024\text{-}0,053\text{g/m}^3$ và $0,009\text{-}0,019\text{ g/m}^3$. Trong khi vào mùa gió Tây Nam, COD có xu hướng tăng nhẹ ở kịch bản vào năm 2030 ($0,01\text{ g/m}^3$) và giảm ở kịch bản vào năm 2050 ($0,014\text{ g/m}^3$).

Dưới ảnh hưởng của BĐKH, các chất dinh dưỡng trong nước không có sự thay đổi đáng kể so với kịch bản hiện trạng. Hàm lượng các chất dinh dưỡng trung bình tại 5 khu vực có thể tăng/giảm tối đa khoảng $0,001\text{ g/m}^3$ đối NO_3^- và PO_4^{3-} . Đối với NH_4^+ , xu hướng giảm được tìm thấy ở hầu hết các khu vực với giá trị có thể đạt $0,005\text{ g/m}^3$.

Hàm lượng TTLL cho thấy xu hướng tăng trong kịch bản dự báo vào năm 2050 dưới ảnh hưởng của BĐKH với các giá trị $0,6\text{ -}1,22\text{ g/m}^3$ (mùa gió Đông

Bắc), $0,82\text{-}2,5\text{g/m}^3$ (mùa gió chuyển tiếp từ Đông Bắc sang Tây Nam), $1,36\text{-}5,27\text{g/m}^3$ (mùa gió Tây Nam), $0,89\text{-}3,35\text{g/m}^3$ (mùa gió chuyển tiếp Tây Nam sang Đông Bắc).

Sự tăng lên của nhiệt độ do BĐKH cũng đã được ghi nhận là một yếu tố chính có ảnh hưởng đến CLN. Nhiệt độ nước biển là yếu tố kiểm soát các quá trình cân bằng lý-hóa (như quá trình Nitrat hóa, quá trình khoáng hóa của các hợp chất hữu cơ) và vì vậy sự thay đổi của nhiệt độ nước sẽ làm thay đổi sự vận chuyển, phát tán của các nhóm chất hữu cơ, dinh dưỡng hòa tan ở các vùng cửa sông ven biển.

Kết quả nghiên cứu ở vùng biển CB-HL chỉ ra rằng dưới ảnh hưởng của BĐKH (nhiệt độ tăng, NBD) hàm lượng oxy trong nước suy giảm với giá trị trung bình khoảng $0,02\text{-}0,28\text{ mg/l}$ (vào năm 2030) và $0,03\text{-}0,31\text{ mg/l}$ (năm 2050). Kết quả nghiên cứu này phù hợp với các nghiên cứu là khi nhiệt độ tăng lên gây ra sự suy giảm hàm lượng oxy hòa tan và oxy bão hòa trong nước.

Ngoài ra, ảnh hưởng của BĐKH làm suy giảm hàm lượng NH_4^+ ($0,005\text{ g/m}^3$) và cũng có thể làm tăng/giảm NO_3^- and PO_4^{3-} khoảng $0,001\text{ g/m}^3$ ở khu vực CB-HL. Một nghiên cứu gần đây về ảnh hưởng của nhiệt độ đến chất lượng môi trường nước cho thấy khi nhiệt độ nước tăng có thể làm giảm hàm lượng các nhóm chất dinh dưỡng của Nito và Phospho từ sông đưa ra vùng ven biển do sự tăng lên của các quá trình tiêu thụ-quang hợp của tảo trong sông do các thực vật phù du phát triển mạnh khi nhiệt độ nước tăng.

3.4.3. Ảnh hưởng kết hợp của hoạt động KTXH và BĐKH

Bên cạnh việc đánh giá ảnh hưởng riêng lẻ do hoạt động KTXH của con người, do BĐKH, nhóm kịch bản đánh giá tác động kết hợp do hoạt động KTXH của con người và BĐKH đến môi trường nước của khu vực nghiên cứu cũng được mô phỏng vào năm 2030 và 2050. Các kết quả phân tích cho thấy xu hướng biến động theo không gian của môi trường nước khu vực giữa các kịch bản không khác nhau nhiều. Sự phân bố theo không gian của các chất gây ô nhiễm đều có xu thế: hàm lượng các chất cao hơn tập trung chủ yếu khu vực cửa sông ven bờ từ vịnh cửa Lục đến phía nam đảo Cát Hải, đặc biệt là các khu vực như vịnh cửa Lục, sông Chanh, phía bắc đảo Tuần Châu. Các nhóm kịch bản tác động kết hợp hoạt động KTXH của con người và BĐKH và kịch bản chỉ do hoạt động KTXH của con người thường làm tăng đáng kể các chất hữu cơ, dinh dưỡng, đồng thời làm giảm DO so với các nhóm kịch bản hiện trạng và kịch bản chỉ xét đến BĐKH. Điều này được thể hiện rõ ở khu vực cửa sông ven bờ, tuy nhiên sự khác nhau giữa các kịch bản hầu như không đáng kể khi xa bờ. Trong khi đó, xu thế biến động theo thời gian của các khối nước ô nhiễm chủ yếu vẫn theo dao động của mực

nước thủy triều và không có sự khác biệt nhiều giữa các kịch bản.

Phân tích từ các điểm kiểm tra ở một số khu vực cho thấy ảnh hưởng kết hợp do hoạt động KTXH của con người và BĐKH có các mức độ ảnh hưởng khác nhau đến môi trường nước theo thời gian và các vị trí khác nhau ở khu vực nghiên cứu. Các kết quả phân tích đánh giá cho thấy xu thế chung là khi gia tăng các nguồn ô nhiễm, lượng chất gây ô nhiễm, hàm lượng DO trong nước đều có xu hướng giảm so với các điều kiện hiện trạng (2019). Vào mùa gió Đông Bắc, dưới ảnh hưởng của BĐKH, hàm lượng DO giảm, với các giá trị 0,05-0,07mg/l (2030bđkh) và 0,08-0,13mg/l (2050bđkh). Xu hướng DO giảm thể hiện rõ hơn dưới tác động của con người, đặc biệt khi có sự kết hợp của BĐKH và con người: 0,15-0,21mg/l (2030cn); 0,2-0,26 mg/l (2030cn-bđkh) và 0,23-0,3 mg/l (2050cn-bđkh).

Vào mùa gió chuyển tiếp từ Đông Bắc sang Tây Nam, hàm lượng DO có xu hướng giảm mạnh ở các kịch bản có sự tác động do hoạt động KTXH của con người, đặc biệt là kịch bản kết hợp con người và BĐKH với các giá trị 0,09-0,44 mg/l (2030cn), 0,15-0,48 mg/l (2030cn-bđkh) và 0,17-0,4 mg/l (2050cn-bđkh). Trong khi đó, nếu chỉ có ảnh hưởng của BĐKH, hàm lượng DO trong nước giảm khoảng 0,03-0,06 mg/l (2030bđkh) và 0,04-0,09 mg/l (2050bđkh).

Trong mùa gió Tây Nam, xu hướng DO giảm vẫn được duy trì trong các kịch bản, tuy nhiên dưới ảnh hưởng của BĐKH, hàm lượng DO giảm nhiều hơn so với kịch bản tác động của con người. Dưới ảnh hưởng của BĐKH, DO giảm lên tới 0,25-0,28 mg/l (2030bđkh) và 0,27-0,31 mg/l (2050bđkh), trong khi dưới tác động của con người DO giảm 0,14-0,16 mg/l (2030cn), 0,11-0,14 mg/l (2030cn-bđkh) và 0,13-0,17 mg/l (2050cn-bđkh).

Vào mùa gió chuyển tiếp từ Tây Nam sang Đông Bắc, tác động kết hợp do hoạt động KTXH của con người và BĐKH làm giảm hàm lượng DO trong nước nhiều hơn so với các kịch bản riêng lẻ. Trong khi ảnh hưởng riêng của BĐKH làm giảm giá trị DO là 0,02-0,03 mg/l (2030bđkh) và 0,03-0,05 mg/l (2050bđkh) thì dưới tác động của con người đã làm giảm DO lên tới 0,07-0,15 mg/l (2030cn), 0,09-0,18 mg/l (2030cn-bđkh) và 0,1-0,2 mg/l (2050cn-bđkh).

Trong kịch bản mô phỏng ảnh hưởng kết hợp của con người và biến đổi khí hậu năm 2030 và 2050 đều làm tăng các chất hữu cơ (BOD và COD) ở khu vực nghiên cứu. BOD và COD có xu hướng khá tương đồng nhau, với giá trị tăng dao động lần lượt trong khoảng 0,074-0,3 g/m³ và 0,078-0,32 g/m³ và thường thấp hơn kịch bản chỉ có tác động của con người. Xu hướng ngược lại xảy ra khi chỉ có tác động của BĐKH, với giá trị giảm 0,005-0,046g/m³ (BOD) và 0,006-0,053g/m³ (COD).

Dưới ảnh hưởng kết hợp do hoạt động KTXH của con người và BĐKH đã làm tăng hàm lượng các chất dinh dưỡng ra các khu vực ở tất cả các mùa với giá trị tăng là $0,006\text{-}0,025\text{g/m}^3$ (NO_3^-); $0,006\text{-}0,019\text{g/m}^3$ (NH_4^+) và $0,002\text{-}0,011\text{g/m}^3$ (PO_4^{3-}).

Đối với TTLL, dưới ảnh hưởng do hoạt động KTXH của con người cũng có xu hướng tăng so với kịch bản hiện trạng, với giá trị $0,0005\text{-}1,627\text{g/m}^3$ và xu hướng giảm ở nhóm kịch bản chỉ có ảnh hưởng của BĐKH, với giá trị nhỏ hơn $0,66\text{g/m}^3$ vào mùa gió Đông Bắc và hai mùa chuyển tiếp. Vào mùa gió Tây Nam, xu hướng tăng chiếm ưu thế ở hầu hết các nhóm kịch bản với giá trị $0,03\text{-}2,41\text{g/m}^3$ và chỉ có xu thế giảm ở kịch bản ảnh hưởng của BĐKH vào năm 2050 ($0,077\text{-}0,26\text{g/m}^3$).

Như vậy trong mùa gió Đông Bắc và 2 mùa chuyển tiếp, ảnh hưởng của con người và BĐKH đều làm giảm CLN (DO) nhưng ảnh hưởng của BĐKH ($0,02\text{-}0,13\text{mg/l}$) nhỏ hơn so với con người ($0,07\text{-}0,44\text{mg/l}$) và kịch bản có sự kết hợp từ hoạt động của con người và BĐKH ($0,09\text{-}0,48\text{mg/l}$). Trong khi đó, vào mùa gió Tây Nam, xu thế này lại có diễn biến ngược lại: ảnh hưởng do BĐKH làm suy giảm mạnh chất lượng môi trường nước ($0,25\text{-}0,31\text{mg/l}$) lớn hơn ảnh hưởng do hoạt động của con người ($0,14\text{-}0,16\text{mg/l}$) và ảnh hưởng kết hợp do hoạt động của con người và BĐKH ($0,13\text{-}0,17\text{mg/l}$). Ảnh hưởng kết hợp hoạt động của con người và BĐKH đã làm tăng các chất ô nhiễm ra vùng ven bờ với giá trị $0,002\text{-}0,033\text{g/m}^3$ (NO_3^-), $0,0003\text{-}0,034\text{g/m}^3$ (NH_4^+) và $0,0005\text{-}0,014\text{g/m}^3$ (PO_4^{3-}).

Dưới tác động của con người (làm gia tăng các chất ô nhiễm, lấn biển) kết hợp ảnh hưởng của BĐKH (tăng nhiệt độ và NBD) làm tăng các chất hữu cơ ($0,32\text{g/m}^3$), dinh dưỡng ($0,025\text{g/m}^3$), ngược lại làm suy giảm nồng độ oxy hòa tan ($0,33\text{mg/l}$) ở vùng biển CB-HL. Jeppesen và cộng sự (2005) khi dùng mô hình để dự báo tác động do sự tăng lên của nguồn dinh dưỡng từ lục địa đưa ra và BĐKH đã cho rằng đây là các quá trình hết sức phức tạp, với sự ảnh hưởng tương tác qua lại giữa các nguồn dinh dưỡng, với điều kiện ánh sáng, nhiệt độ và các quá trình TĐL. Trong tương lai gần, khi các nguồn dinh dưỡng đưa ra ven bờ tăng kết hợp với sự tăng lên của nhiệt độ nước, sẽ là điều kiện rất thuận lợi cho sự phát triển của tảo, đặc biệt là tảo lam. Đồng thời, sự gia tăng nguồn dinh dưỡng Nitơ từ hoạt động của con người khi kết hợp với ảnh hưởng của BĐKH có thể làm tăng mạnh hàm lượng Nitrat ở các khu vực đó. Những nhận định này cũng khá tương đồng với kết quả nghiên cứu ở khu vực cửa sông Thames: dự báo hàm lượng Nitrat có thể tăng từ $4\text{-}18\text{mg/l}$ khi có sự ảnh hưởng tích hợp của các nguồn dinh dưỡng đưa ra và tăng nhiệt độ do BĐKH. Một công bố khác cũng cho thấy với sự tăng lên của nhiệt độ nước khoảng $0,8\text{-}1,1$ độ C ở

vịnh Chesapeake (Mỹ) kết hợp với nguồn dinh dưỡng gia tăng do phát triển KTXH đã làm tăng mạnh sinh khối của thực vật phù du và xuất hiện thường xuyên hơn các đợt thủy triều đỏ ở khu vực này.

Sự tăng lên của nhiệt độ và thay đổi lượng mưa kết hợp với các nhân tố con người như tăng dân số, hoạt động chăn nuôi, thay đổi sử dụng đất sẽ tiếp tục ảnh hưởng đến dòng chảy, CLN ở các sông và vùng ven bờ. Hạn hán làm tăng nồng độ chất ô nhiễm, tăng quá trình khoáng hóa Nitơ, phục hồi chậm từ quá trình axit hóa.

3.5. Đề xuất giải pháp quản lý

3.5.1. Nhóm giải pháp tuyên truyền

Nghiên cứu cho thấy BĐKH và hoạt động của con người đều tác động đến môi trường nước khu vực CB-HL, trong đó nguồn ô nhiễm ven bờ là nguyên nhân chính gây suy giảm chất lượng nước. Dù hiện tại ảnh hưởng từ BĐKH còn thấp, nhưng các biểu hiện như nước biển dâng và tăng nhiệt độ là đáng lo ngại. Do đó, cần tăng cường truyền thông, giáo dục cộng đồng về bảo vệ tài nguyên biển, sử dụng mô hình trực quan từ nghiên cứu để nâng cao nhận thức cho người dân, học sinh và du khách. Sự tham gia của cộng đồng là yếu tố then chốt để giảm phát thải, bảo vệ môi trường và phát triển bền vững du lịch - dịch vụ tại khu vực.

3.5.2. Kiểm soát các nguồn ô nhiễm đưa vào khu vực CB-HL

Các hoạt động phát triển KTXH ở khu vực CB-HL chủ yếu là tăng dân số, du lịch, hoạt động NTTS, chăn nuôi, công nghiệp đã làm phát sinh các chất gây ô nhiễm ra môi trường nước ở khu vực:

- Hoạt động KTXH của con người là nhân tố chính gây ra những sự ô nhiễm cục bộ ở một số thời điểm, gây ra sự mất mỹ quan, suy giảm chất lượng môi trường nước ở một số vùng ven bờ như vịnh Cửa Lục, Hạ Long, đảo Tuần Châu, phía tây và tây bắc đảo Cát Bà, do vậy cần kiểm soát các nguồn ô nhiễm đưa vào khu vực CB-HL: Xử lý các nguồn nước thải trước khi xả ra môi trường; giám sát, đo đạc CLN ở các vị trí xả thải.

- Việc quan trắc chất lượng môi trường nước ở khu vực CB-HL được Ban quản lý vịnh Hạ Long thực hiện định kỳ theo quý. Tuy nhiên các kết quả quan trắc chỉ được thực hiện tại những vị trí và thời điểm nhất định, khó đánh giá, cũng như đưa ra bức tranh tổng thể môi trường nước khu vực CB-HL. Mô hình Delft3D sử dụng trong luận án đã được thiết lập mô phỏng tốt CLN theo các kịch bản khác nhau. Đây là một trong những công cụ hữu ích, đánh giá được sự

phát tán, lan truyền các chất ô nhiễm ở khu vực CB-HL.

Tăng cường hỗ trợ nguồn lực cho công tác quản lý môi trường nước: Tăng cường đầu tư xây dựng mạng lưới các điểm quan trắc môi trường nước ở vùng biển CB-HL; Cần tăng cường đào tạo, bồi dưỡng kiến thức về quản lý nhà nước đối với tài nguyên môi trường nước; Tăng cường thanh tra, kiểm tra việc thực hiện các cam kết về bảo vệ môi trường cũng như các cam kết trong giấy phép xả thải vào nguồn nước.

3.5.3. Nhóm giải pháp tăng cường nghiên cứu về BĐKH và các giải pháp thích ứng

Các nghiên cứu về biểu hiện BĐKH trong luận án mới dừng lại đến năm 2021, trong khi BĐKH ngày càng diễn biến phức tạp và khó dự báo. Do là hiện tượng xảy ra chậm và kéo dài hàng thập kỷ, nhiều biểu hiện trong thời gian ngắn dễ bị bỏ sót. Số liệu quan trắc dài hạn cho thấy khu vực CB-HL chịu ảnh hưởng rõ rệt của BĐKH, với mực nước biển dâng từ 3,38-4,18 mm/năm và nhiệt độ tăng 0,02-0,052°C/năm, đặc biệt gần đây tăng nhanh hơn (4,72-7,16 mm/năm; 0,093-0,103°C/năm). Do đó, cần tăng cường nghiên cứu để đánh giá toàn diện tác động của BĐKH đến chất lượng nước và hệ sinh thái vùng biển CB-HL.

Cần tăng cường nghiên cứu các giải pháp thích ứng với BĐKH, vì đây là hiện tượng toàn cầu có tác động lâu dài và tích lũy theo thời gian. Dù hiện tại ảnh hưởng đến CLN ở khu vực CB-HL chưa lớn, nhưng cần hiểu rõ cơ chế, xu thế và tác động của BĐKH (bao gồm nhiệt độ, NBD và thời tiết cực đoan) để dự báo chính xác và đề xuất các giải pháp thích ứng hiệu quả.

3.5.4. Nhóm giải pháp lồng ghép BĐKH vào quy hoạch phát triển KTXH

Tác động của BĐKH và phát triển KTXH đến môi trường nước tại khu vực CB-HL diễn biến phức tạp, đòi hỏi cần lồng ghép yếu tố BĐKH vào quy hoạch phát triển KTXH. Giải pháp này giúp đảm bảo phát triển bền vững và thích ứng hiệu quả với các nguy cơ như nước biển dâng, tăng nhiệt độ và thời tiết cực đoan. Cụ thể, cần tích hợp thích ứng BĐKH vào quy hoạch phát triển KTXH, khuyến khích sản xuất sạch, ít gây ra nguồn chất gây ô nhiễm đưa vào khu vực CB-HL, hạn chế hoạt động nuôi trồng thủy sản trong khu vực và tính đến rủi ro do BĐKH trong quy hoạch dân cư, công nghiệp ven biển.

3.5.5. Nhóm giải pháp bảo vệ hệ sinh thái và vùng nhạy cảm

Kết quả mô hình CLN cho thấy ô nhiễm tập trung chủ yếu ở vùng ven bờ,

gần các nguồn thải, nhưng trong điều kiện thủy động lực đặc biệt (như pha triều xuống của kỳ triều cường), các vùng nhạy cảm xa bờ khu vực vịnh Hạ Long và Cát Bà cũng có thể bị ảnh hưởng. Do đó, cần xây dựng danh mục các vùng dễ bị tổn thương, thực hiện giám sát chất lượng nước định kỳ, đồng thời sử dụng kết quả mô hình để xác định nguồn ô nhiễm cụ thể nhằm đề xuất giải pháp kiểm soát hiệu quả.

3.5.6. Giải pháp quy hoạch phát triển bền vững

Quy hoạch không gian biển cần dựa trên các kết quả nghiên cứu về động lực và môi trường, đặc biệt là từ mô hình hóa dòng chảy, khả năng trao đổi nước và lan truyền ô nhiễm. Các kết quả này giúp định hướng bố trí hợp lý các khu vực du lịch, bảo tồn, cấm khai thác, và neo đậu tàu thuyền, nhằm giảm xung đột sử dụng và phát huy khả năng phục hồi môi trường biển khu vực CB-HL.

Kết quả mô hình cho thấy ô nhiễm hiện chủ yếu giới hạn gần các nguồn thải ven bờ, tuy nhiên về lâu dài cần tính toán sức tải môi trường (khả năng tiếp nhận chất gây ô nhiễm) cho toàn bộ vùng biển CB-HL. Điều này giúp hỗ trợ các nhà quản lý cân đối giữa phát triển KTXH và bảo vệ môi trường một cách bền vững.

3.5.7. Ứng dụng khoa học công nghệ trong việc giám sát và cảnh báo sớm

Kết quả mô phỏng cho thấy suy giảm chất lượng môi trường nước khu vực CB-HL chủ yếu bắt nguồn từ các điểm nguồn thải ven bờ. Việc xuất hiện thêm nguồn ô nhiễm có thể làm lan rộng ảnh hưởng theo thời gian. Các kết quả tính toán cũng giúp xác định các khu vực dễ bị tác động, từ đó đề xuất xây dựng hệ thống giám sát môi trường tự động tại các vị trí có nguy cơ cao, nhằm tiết kiệm chi phí nhưng vẫn đảm bảo phát hiện và xử lý kịp thời sự cố ô nhiễm.

Cán bộ kỹ thuật môi trường của Ban quản lý vịnh Hạ Long cần được trang bị công nghệ và kỹ thuật tiên tiến để hỗ trợ công tác quản lý môi trường nước như ứng dụng ảnh viễn thám để giám sát, sử dụng mô hình số để đánh giá, dự báo chất lượng nước và mô phỏng phát tán ô nhiễm khi xảy ra sự cố.

KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

Nhằm đánh giá, dự báo những ảnh hưởng do hoạt động KTXH của con người và BĐKH (tăng nhiệt độ và NBD) đến CLN ở vùng biển CB-HL, một hệ thống mô hình TĐL-sóng-CLN trên cơ sở mô hình Delft3D đã được thiết lập. Để phục vụ cho việc thiết lập và kiểm chứng kết quả của mô hình, các bộ số liệu liên quan ở khu vực đã được thu thập và xử lý. Các kết quả so sánh giữa tính toán bằng mô hình và quan trắc cho thấy đã có sự phù hợp tương đối và mô hình này có thể được sử dụng như một công cụ hiệu quả để nghiên cứu dự báo ảnh hưởng từ các hoạt động KTXH của con người và BĐKH đến CLN vùng biển CB-HL. Các nhóm kịch bản mô phỏng khác nhau đã thiết lập: kịch bản kiểm chứng mô hình (2021), kịch bản hiện trạng (2019); kịch bản ảnh hưởng của BĐKH (2030 và 2050); kịch bản ảnh hưởng của KTXH (tăng nguồn ô nhiễm 2030 và kịch bản khi chưa có hoạt động lấn biển 2010); kịch bản kết hợp ảnh hưởng của con người và BĐKH (2030 và 2050). Kết quả đánh giá biểu hiện BĐKH cũng như ảnh hưởng của con người và BĐKH đến CLN vùng biển CB-HL như sau:

Biểu hiện của BĐKH ở khu vực CB-HL đã được phân tích, đánh giá bằng phương pháp Mann-Kendall và Sen's Slope thông qua một số yếu tố nhiệt độ nước, mực nước ở các trạm như Bãi Cháy và Hòn Dấu. Kết quả cho thấy mực nước tại cả trạm Bãi Cháy và Hòn Dấu đều có xuồng tăng với giá trị lần lượt là 4,18mm/năm (1981-2020) và 3,38mm/năm (1961-2020). NBD có xu hướng tăng nhanh trong giai đoạn gần đây (2001-2020) có thể đạt 4,72mm/năm (trạm Bãi Cháy) và 7,16mm/năm (trạm Hòn Dấu). Nhiệt độ tại trạm Hòn Dấu tăng 0,02°C/năm và có xu hướng tăng nhanh hơn ở trạm Bãi Cháy với 0,052°C/năm trong giai đoạn 1995-2020. Tốc độ tăng của nhiệt nước đạt 0,093°C tại trạm Hòn Dấu và 0,103°C tại trạm Bãi Cháy trong giai đoạn 2008-2020.

Ảnh hưởng của con người và BĐKH trong mùa gió Đông Bắc và 2 mùa chuyển tiếp đều làm giảm CLN (DO) nhưng ảnh hưởng của BĐKH chỉ với 0,02-0,13 mg/l (0,3-2,0%) nhỏ hơn so với con người là 0,07-0,44 mg/l (1,0-7,2%) và kịch bản có sự kết hợp từ hoạt động của con người và BĐKH là 0,09-0,48 mg/l (1,3-8,0%). Trong khi đó, vào mùa gió Tây Nam, xu thế này lại có diễn biến ngược lại: ảnh hưởng do BĐKH làm suy giảm mạnh chất lượng môi trường nước với giá trị 0,25-0,31 mg/l (3,9-5,0%) lớn hơn ảnh hưởng do hoạt động của con người là 0,14-0,16 mg/l (2,2-2,5%) và ảnh hưởng kết hợp do hoạt động của

con người và BDKH là 0,13-0,17 mg/l (1,8-2,8%). Ảnh hưởng kết hợp hoạt động của con người và BDKH đã làm tăng các chỉ số hữu cơ, với giá trị tăng dao động trong khoảng 0,074-0,3 g/m³ (2,8-19,1%) đối với BOD và 0,078-0,32 g/m³ (2,8-19,0%) đối với COD. Các chất dinh dưỡng ở các khu vực cũng tăng với giá trị là 0,006-0,025 g/m³ (9,2-106,9%), 0,006-0,019 g/m³ (1,2-86,2%) và 0,002-0,011 g/m³ (3,0-80,6%) tương ứng với NO₃⁻, NH₄⁺ và PO₄³⁻.

Trên cơ sở đánh giá các ảnh hưởng riêng rẽ con người, BDKH và ảnh hưởng kết hợp con người và BDKH đến CLN vùng biển CB-HL, một số nhóm giải pháp đã được đưa ra bao gồm: 1) Nhóm giải pháp tuyên truyền; 2) Kiểm soát nguồn ô nhiễm đưa vào khu vực CB-HL; 3) Nhóm giải pháp tăng cường nghiên cứu về BDKH và giải pháp thích ứng; 4) Nhóm giải pháp lồng ghép BDKH vào quy hoạch phát triển KTXH; 5) Nhóm giải pháp bảo vệ hệ sinh thái và vùng nhạy cảm; 6) Giải pháp quy hoạch phát triển bền vững; 7) Ứng dụng khó học công nghệ trong việc giám sát và cảnh báo sớm.

Khuyến nghị

Trong khuôn khổ của luận án, nghiên cứu sinh chỉ đánh giá ảnh hưởng của con người làm gia tăng các chất gây ô nhiễm từ hoạt động phát triển KTXH, chưa đánh giá trong trường hợp sự cố xảy ra như từ KCN đến CLN ở khu vực CB-HL do ảnh hưởng sự cố từ các KCN có thể gây hậu quả nghiêm trọng đến HST cũng như CLN. Nghiên cứu này tập trung đánh giá các ảnh hưởng đến môi trường nước dựa trên các nhóm chất gây ô nhiễm hữu cơ, dinh dưỡng và oxy mà chưa đánh giá đến các chất khác cũng như các HST ở khu vực CB-HL. Ngoài ra, ảnh hưởng của BDKH trong nghiên cứu này mới chỉ tính đến sự gia tăng nhiệt độ và NBD mà chưa tính đến các hiện tượng thời tiết cực đoan như mưa, lũ, bão... Tất cả các hạn chế này sẽ được nghiên cứu sinh khắc phục trong các nghiên cứu tương lai.

NHỮNG ĐÓNG GÓP MỚI CỦA LUẬN ÁN

- Các biểu hiện của BDKH (dâng cao mực nước biển và tăng nhiệt độ nước biển) ở vùng biển CB-HL dựa trên các kết quả phân tích từ số liệu quan trắc mới nhất đến 2020 (thời điểm thực hiện luận án).

- Các ảnh hưởng riêng biệt/kết hợp của hoạt động KTXH (tăng nguồn ô nhiễm và lấn biển) và BDKH (dâng cao mực nước và tăng nhiệt độ) đến chất lượng môi trường nước vùng biển CB-HL dựa trên kết quả tính toán/dự báo của mô hình số trị.

DANH MỤC CÁC BÀI BÁO ĐÃ XUẤT BẢN LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN

1. **Hai, N.M.**; Vinh,V.D.; Ouillon, S.; Lan, T.D.; Duong, N.T. Modelling Impacts of Climate Change and Anthropogenic Activities on Ecosystem State Variables of Water Quality in the Cat Ba–Ha Long Coastal Area (Vietnam). *Water* 2025, 17, 319. <https://doi.org/10.3390/w17030319>
2. **Minh Hai Nguyen**, Duy Vinh Vu, Duc Thinh Nguyen, Thanh Duong Nguyen (2024). Numerical investigations on seasonal variation of waves in the Cat Ba – Ha Long coastal area (Vietnam) in 2021. *Regional Studies in Marine Science* 79 (2024) 103828.
3. Vu Duy Vinh, **Nguyen Minh Hai**, Saheed Puthan Purayil, Genevieve Lacroix c, Nguyen Thanh Duong (2024). Seasonal variation of coastal currents and residual currents in the Cat Ba –Ha Long coastal area (VIET NAM): Results of coherens model. *Regional Studies in Marine Science* 80 (2024) 103874. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103874>
4. **Nguyen, Hai M.**, Sylvain Ouillon, and Vinh D. Vu (2022). Sea Level Variation and Trend Analysis by Comparing Mann–Kendall Test and Innovative Trend Analysis in Front of the Red River Delta, Vietnam (1961–2020), *Water*, 14(11):1709. <https://doi.org/10.3390/w14111709>
5. **Nguyen Minh, H.**, Ouillon, S., & Vu Duy, V. (2022). Sea-level rise in Hai Phong coastal area (Vietnam) and its response to enso - evidence from tide gauge measurement of 1960-2020. *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 44(1), 109–126. <https://doi.org/10.15625/2615-9783/16961>.
6. Vu Duy, V., Ouillon, S., & **Nguyen Minh, H.** (2022). Sea surface temperature trend analysis by Mann-Kendall test and sen’s slope estimator: a study of the Hai Phong coastal area (Vietnam) for the period 1995-2020. *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 44(1), 72–91.
7. **Nguyen Minh Hai**, Vu Duy Vinh (2022). How climate change affected on water level in Ha Long coastal area in the period 1974–2020: results from the mann-kendall test and sen’s slope. *Vietnam Journal of Marine Science and Technolog*, 22(3) 257–269. <https://doi.org/10.15625/1859-3097/1695624>.
8. **Nguyen , M. H.**, Ouillon, S., & Vu, D. V., 2021. Seasonal variation of suspended sediment and its relationship with turbidity in Cam - Nam Trieu estuary, Hai Phong (Vietnam). *Vietnam Journal of Marine Science and Technology*, 21(3). <https://doi.org/10.15625/1859-3097/16076>.
9. Vinh, V. D., Ouillon, S., & **Nguyen, M. H.**, 2021. Suspended sediment floc size in the Cam - Nam Trieu estuary (Hai Phong, Vietnam), in wet season. *Vietnam Journal of Marine Science and Technology*, 21(3). <https://doi.org/10.15625/1859-3097/16074>

