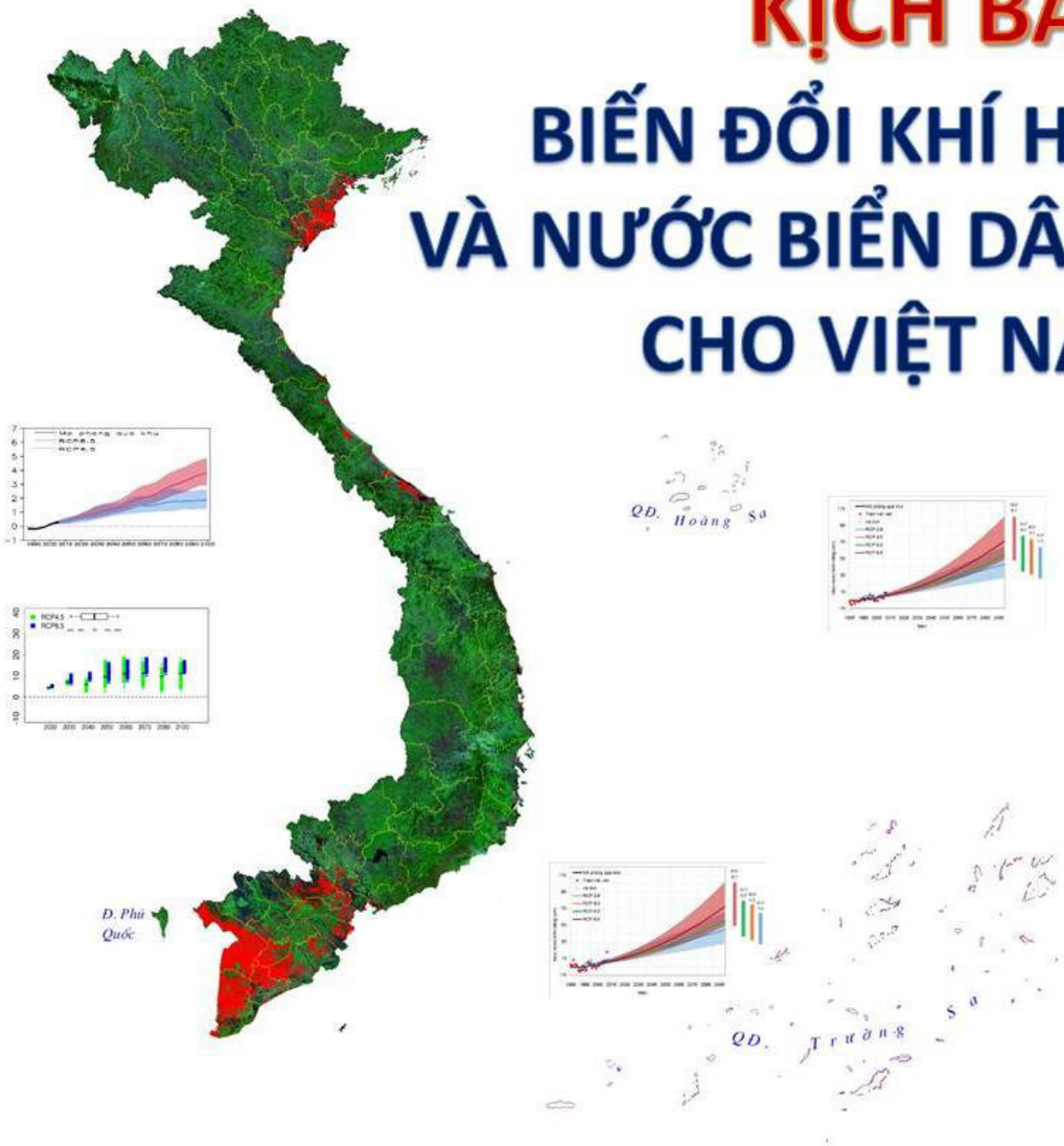
BỘ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG

KỊCH BẢN
BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU VÀ NƯỚC BIỂN DÂNG CHO VIỆT NAM



NHÀ XUẤT BẢN TÀI NGUYÊN MÔI TRƯỜNG VÀ BẢN ĐỒ VIỆT NAM

KỊCH BẢN BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU VÀ NƯỚC BIỂN DÂNG CHO VIỆT NAM

NĂM 2016

Nhóm biên soạn chính:

Trần Thục, Nguyễn Văn Thắng, Huỳnh Thị Lan Hương, Mai Văn Khiêm, Nguyễn Xuân Hiển, Doãn Hà Phong.

Các chuyên gia kỹ thuật:

Nguyễn Văn Hiệp, Vũ Văn Thăng, Lê Nguyên Tường, Đỗ Đình Chiến, Hoàng Văn Đại, Ngô Tiền Giang, Trần Thanh Thủy, Lê Quốc Huy, Nguyễn Đăng Mậu, Nguyễn Ngọc Anh, Nguyễn Thế Anh, Nguyễn Thanh Bằng, Đặng Linh Chi, Lê Duy Điệp, Nguyễn Lê Giang, Đoàn Thị Thu Hà, Lê Phương Hà, Khương Văn Hải, Nguyễn Minh Hằng, Trần Đăng Hùng, Trương Bá Kiên, Nguyễn Thị Lan, Lưu Nhật Linh, Văn Sỹ Mạnh, Hà Trường Minh, Đàng Hồng Như, Nguyễn Thị Phương, Nguyễn Ngọc Kim Phượng, Lê Đức Quyền, Võ Đình Sức, Nguyễn Thị Thanh, Phạm Hiền Thương, Dương Ngọc Tiến, Phạm Văn Tiến, Lã Thị Tuyết, Phạm Thị Hải Yến.

Các chuyên gia nhận xét, góp ý:

Nguyễn Đức Ngữ, Nguyễn Văn Bộ, Đào Ngọc Long, Vũ Tiến Quang, Dương Hồng Sơn, Bảo Thạnh, Trương Đức Trí, Nguyễn Thị Hiền Thuận, Đỗ Tiến Anh, Phùng Thị Thu Trang, Lê Anh Dũng, Phạm Văn Huấn, Nguyễn Minh Huấn, Nguyễn Thọ Sáo, Trần Quang Đức, Nguyễn Mạnh Hùng, Nguyễn Mai Đăng, Trương Văn Bốn, Lê Minh Nhật, Hoàng Trung Thành, Nguyễn Bá Thủy, Đinh Vũ Thanh.

Jack Katzfey, McSweeney Carol, Phil Graham.

Hội đồng thẩm định:

Mai Trọng Nhuận, Phan Văn Tân, Nguyễn Trọng Hiệu, Trần Tân Tiến, Đinh Văn Ưu, Nguyễn Hữu Ninh, Lê Bắc Huỳnh, Nguyễn Đắc Đồng, Trần Tân Văn, Nguyễn Văn Tuệ, Hoàng Đức Cường.

Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam được Bộ Tài nguyên và Môi trường xây dựng và công bố.

Người dùng có thể tái xuất bản một phần hoặc toàn bộ nội dung của ấn phẩm này để cung cấp thông tin phục vụ nghiên cứu, giáo dục hoặc các mục đích phi lợi nhuận khác mà không cần xin phép bản quyền nhưng phải có lời cảm ơn và trích dẫn nguồn xuất bản.

Ấn phẩm này không được sử dụng để bán hoặc vì bất cứ mục đích thương mại nào khác. Chương trình Phát triển Liên Hợp Quốc (UNDP), thông qua dự án CBICS và Đại sứ quán Đan Mạch tại Việt Nam thông qua Chương trình Giảm nhẹ và thích ứng với biến đổi khí hậu, đã tài trợ xuất bản ấn phẩm này.

Lời giới thiệu

Việt Nam được đánh giá là một trong những quốc gia bị ảnh hưởng nặng nề nhất của biến đổi khí hậu. Trong những năm qua, dưới tác động của biến đổi khí hậu, tần suất và cường độ các thiên tai ngày càng gia tăng, gây nhiều tổn thất to lớn về người, tài sản, cơ sở hạ tầng, về kinh tế, văn hoá, xã hội, tác động xấu đến môi trường. Tác động của biến đổi khí hậu đối với nước ta là rất nghiêm trọng, là nguy cơ hiện hữu cho mục tiêu xóa đói giảm nghèo, cho việc thực hiện các mục tiêu thiên niên kỷ và sự phát triển bền vững của đất nước. Việt Nam đã rất nỗ lực ứng phó với biến đổi khí hậu, thể hiện qua các chính sách và các chương trình quốc gia.

Năm 2009, Bộ Tài nguyên và Môi trường đã xây dựng và công bố kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam để kịp thời phục vụ các Bộ, ngành và các địa phương thực hiện Chương trình mục tiêu quốc gia ứng phó với biến đổi khí hậu.

Năm 2011, Chiến lược quốc gia về biến đổi khí hậu được ban hành, xác định mục tiêu cho các giai đoạn và các dự án ưu tiên. Bộ Tài nguyên và Môi trường đã cập nhật kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng dựa trên các nguồn dữ liệu, các điều kiện khí hậu cụ thể của Việt Nam và các sản phẩm của các mô hình khí hậu tại thời điểm đó. Kịch bản biến đổi khí hậu là cơ sở để các Bộ, ngành và các địa phương đánh giá tác động của biến đổi khí hậu, xây dựng kế hoạch hành động ứng phó và tích hợp các vấn đề biến đổi khí hậu vào các chiến lược phát triển kinh tế - xã hội.

Thực hiện chỉ đạo của Chính phủ về việc cập nhật và chi tiết hóa kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam, Bộ Tài nguyên và Môi trường giao Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu chủ trì, phối hợp với các cơ quan nghiên cứu trong và ngoài nước, xây dựng và cập nhật kịch bản biến đổi khí hậu chi tiết cho Việt Nam. Kịch bản biến đổi khí hậu chi tiết năm 2016 được xây dựng dựa trên cơ sở các số liệu khí tượng thủy văn và mực nước biển của Việt Nam cập nhật đến năm 2014; số liệu địa hình được cập nhật đến tháng 3 năm 2016; phương pháp mới nhất trong Báo cáo đánh giá khí hậu lần thứ 5 của Ban liên chính phủ về biến đổi khí hậu; các mô hình khí hậu toàn cầu và mô hình khí hậu khu vực độ phân giải cao; theo phương pháp chi tiết hóa động lực kết hợp hiệu chỉnh thống kê sản phẩm mô hình.

Các kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng có mức độ chi tiết đến đơn vị hành chính cấp tỉnh và các đảo, quần đảo của Việt Nam. Bản đồ nguy cơ ngập do nước biển dâng có mức độ chi tiết đến cấp huyện và đến cấp xã đối với các khu vực có bản đồ địa hình tỷ lệ lớn. Kịch bản về một số đặc trưng cực trị khí hậu được cung cấp để phục vụ công tác quy hoạch.

Bộ Tài nguyên và Môi trường trân trọng giới thiệu Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam để làm cơ sở định hướng cho các Bộ, ngành, địa phương đánh giá tác động tiềm tàng của biến đổi khí hậu, xây dựng và triển khai kế hoạch ứng phó hiệu quả với biến đổi khí hậu và nước biển dâng.

Trần Hồng Hà
Bộ trưởng Bộ Tài nguyên và Môi trường

MỤC LỤC

Lời giới thiệu .....
MỤC LỤC i
DANH MỤC BẢNG BIỂU iii
DANH MỤC HÌNH VẼ iv
DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT vi
CÁC THUẬT NGỮ CHÍNH viii
I. Mở đầu 1
II. Cơ sở khoa học của biến đổi khí hậu 4
2.1. Nguyên nhân của biến đổi khí hậu 4
2.1.1. Biến đổi khí hậu do yếu tố tự nhiên 4
2.1.2. Biến đổi khí hậu do tác động của con người 5
2.2. Kịch bản nồng độ khí nhà kính và mô hình khí hậu 8
2.2.1. Các kịch bản nồng độ khí nhà kính 8
2.2.2. Mô hình khí hậu toàn cầu 10
2.2.3. Tổ hợp mô hình khí hậu của IPCC 11
2.3. Biến đổi khí hậu và nước biển dâng quy mô toàn cầu 14
2.3.1. Xu thế biến đổi khí hậu và nước biển dâng theo số liệu quá khứ 14
2.3.2. Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng của IPCC 17
III. Biểu hiện của biến đổi khí hậu và nước biển dâng ở Việt Nam 24
3.1. Số liệu sử dụng trong phân tích xu thế và xây dựng kịch bản 24
3.1.1. Số liệu khí hậu 24
3.1.2. Số liệu mực nước biển 28
3.1.3. Số liệu bản đồ số địa hình 29
3.2. Biến đổi của các yếu tố khí hậu 30
3.2.1. Nhiệt độ 30
3.2.2. Lượng mưa 31
3.2.3. Các hiện tượng cực đoan liên quan đến nhiệt độ 32
3.2.4. Các hiện tượng cực đoan liên quan đến mưa 33
3.2.5. Bão và áp thấp nhiệt đới 33
3.3. Biến đổi của mực nước biển 34
3.3.1. Biến đổi mực nước biển theo số liệu quan trắc tại các trạm hải văn 34
3.3.2. Biến đổi mực nước biển theo số liệu vệ tinh 36
IV. Phương pháp xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam 37
4.1. Phương pháp xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu 37
4.1.1. Phương pháp phân tích xu thế và mức độ biến đổi trong quá khứ 37
4.1.2. Phương pháp tính toán xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu 37
4.1.3. Phương pháp thống kê hiệu chỉnh kết quả mô hình 40
4.1.4. Đánh giá mức độ tin cậy của kết quả tính toán các biến khí hậu 41
4.2. Phương pháp xây dựng kịch bản nước biển dâng do biến đổi khí hậu 41
4.2.1. Phương pháp tính toán xây dựng kịch bản nước biển dâng 41
4.2.2. Đánh giá mức độ tin cậy của kết quả tính toán mực nước biển dâng 43
4.3. Phương pháp xây dựng bản đồ nguy cơ ngập vì nước biển dâng do biến đổi khí hậu 45
V. Kịch bản biến đổi khí hậu cho Việt Nam 46
5.1. Kịch bản biến đổi khí hậu đối với nhiệt độ 46
5.1.1. Nhiệt độ trung bình 46
5.1.2. Nhiệt độ cực trị 51

5.2. Kịch bản biến đổi khí hậu đối với lượng mưa 53
5.2.1. Lượng mưa 53
5.2.2. Lượng mưa cực trị 57
5.3. Kịch bản biến đổi của một số hiện tượng khí hậu cực đoan 59
5.3.1. Bão và áp thấp nhiệt đới 59
5.3.2. Gió mùa 60
5.3.3. Rét đậm, rét hại, nắng nóng, hạn hán 61
VI. Kịch bản nước biển dâng cho Việt Nam 63
6.1. Kịch bản nước biển dâng do biến đổi khí hậu 63
6.1.1. Các thành phần đóng góp vào mực nước biển dâng 63
6.1.2. Kịch bản nước biển dâng cho toàn khu vực Biển Đông 64
6.1.3. Kịch bản nước biển dâng khu vực ven biển và hải đảo Việt Nam 67
6.2. Một số nhận định về mực nước cực trị 73
6.2.1. Nước dâng do bão 73
6.2.2. Thủy triều ven bờ biển Việt Nam 74
6.2.3. Nước dâng do bão kết hợp với thủy triều 74
6.3. Nguy cơ ngập vì nước biển dâng do biến đổi khí hậu 75
6.3.1. Nguy cơ ngập đối với các tỉnh đồng bằng và ven biển 76
6.3.2. Nguy cơ ngập đối với các đảo và quần đảo của Việt Nam 80
6.4. Nhận định về một số yếu tố ảnh hưởng đến nguy cơ ngập 80
6.4.1. Nâng hạ địa chất 80
6.4.2. Sụt lún do khai thác nước ngầm 82
KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ 84
I. Kết luận 84
2. Khuyến nghị 86
TÀI LIỆU THAM KHẢO 88

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 2.1. Đặc trưng các kịch bản, mức tăng nhiệt độ so với thời kỳ tiền công nghiệp 10
Bảng 2.2. Các mô hình toàn cầu được sử dụng trong báo cáo AR5 12
Bảng 2.3. Số lượng các mô hình có sẵn số liệu của CMIP5 13
Bảng 2.4. Kịch bản nước biển dâng toàn cầu giai đoạn 2081-2100 so với thời kỳ cơ sở (cm) 23
Bảng 3.1. Danh sách các trạm khí tượng thủy văn được sử dụng trong xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu cho Việt Nam 24
Bảng 3.2. Các trạm hải văn được dùng trong phân tích và tính toán 28
Bảng 3.3. Thay đổi lượng mưa (%) trong 57 năm qua (1958-2014) ở các vùng khí hậu..... 32
Bảng 3.4. Đánh giá và kiểm nghiệm thống kê xu thế biến đổi mực nước biển trung bình..... 35
Bảng 4.1. Các mô hình được sử dụng trong tính toán cập nhật kịch bản biến đổi khí hậu..... 38
Bảng 4.2. Các thành phần đóng góp vào mực nước biển dâng toàn cầu và phương pháp tính mực nước biển dâng cho khu vực biển Việt Nam 42
Bảng 5.1. Biến đổi của nhiệt độ trung bình năm (^{o}C) so với thời kỳ cơ sở..... 49
Bảng 5.2. Biến đổi của lượng mưa năm (%) so với thời kỳ cơ sở..... 55
Bảng 6.1. Đóng góp của các thành phần vào mực nước biển dâng tổng cộng khu vực Biển Đông vào cuối thế kỷ 21 so với thời kỳ cơ sở 63
Bảng 6.2. Kịch bản nước biển dâng xét cho toàn khu vực Biển Đông..... 65
Bảng 6.3. Kịch bản nước biển dâng theo các kịch bản RCP cho dải ven biển Việt Nam 67
Bảng 6.4. Mực nước biển dâng theo kịch bản RCP2.6 68
Bảng 6.5. Mực nước biển dâng theo kịch bản RCP4.5 68
Bảng 6.6. Mực nước biển dâng theo kịch bản RCP6.0 69
Bảng 6.7. Mực nước biển dâng theo kịch bản RCP8.5 69
Bảng 6.8. Nước dâng do bão ở các khu vực ven biển Việt Nam 73
Bảng 6.9. Đặc điểm thủy triều ven biển Việt Nam 74
Bảng 6.10. Nguy cơ ngập vì nước biển dâng do biến đổi khí hậu đối với các tỉnh đồng bằng và ven biển 77
Bảng 6.11. Nguy cơ ngập ứng với mực nước biển dâng 100 cm đối với các đảo và cụm đảo 80

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 2.1. Thay đổi tham số của quỹ đạo trái đất từ 250.000 năm trước đến nay 4
Hình 2.2. Số lượng vết đen mặt trời trung bình năm từ 1750 đến 2010 5
Hình 2.3. Sơ đồ truyền bức xạ và các dòng năng lượng (W/m^2) trong hệ thống khí hậu 6
Hình 2.4. Nồng độ khí CO_2, áp suất riêng của CO_2 ở bề mặt đại dương và nồng độ PH 7
Hình 2.5. Hai cách tiếp cận trong xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu của IPCC 8
Hình 2.6. Thay đổi của bức xạ tác động 9
Hình 2.7. Sơ đồ minh họa các thành phần của mô hình khí hậu toàn cầu 10
Hình 2.8. Sơ đồ minh họa phương pháp lồng RCM vào GCM 11
Hình 2.9. Kích thước ô lưới GCM (km) của các mô hình trong CMIP5 14
Hình 2.10. Chuẩn sai nhiệt độ trung bình toàn cầu thời kỳ 1850-2012 (so với thời kỳ 1961-1990) 15
Hình 2.11. Chuẩn sai nhiệt độ trung bình toàn cầu (^oC) thời kỳ 1950-2015 15
Hình 2.12. Biến đổi của nhiệt độ trung bình năm thời kỳ 1901-2012 15
Hình 2.13. Biến đổi của lượng mưa năm thời kỳ 1901-2010 và thời kỳ 1951-2010 16
Hình 2.14. Xu thế biến đổi mực nước biển trung bình toàn cầu 16
Hình 2.15. Xu thế biến đổi mực nước biển trung bình theo số liệu quan trắc 17
Hình 2.16. Biến đổi của nhiệt độ trung bình năm so với thời kỳ 1986-2005 mô phỏng bởi các mô hình CMIP5 19
Hình 2.17. Dự tính biến đổi khí hậu toàn cầu 19
Hình 2.18. Kịch bản mực nước biển dâng toàn cầu 22
Hình 2.19. Kịch bản nước biển dâng giai đoạn 2081-2100 so với thời kỳ cơ sở 23
Hình 3.1. Các trạm khí tượng thủy văn được sử dụng trong xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu 24
Hình 3.2. Sơ đồ các mảnh bản đồ số địa hình tỷ lệ 1:2.000 và 1:5.000 các tỉnh đồng bằng và ven biển 29
Hình 3.3. Sơ đồ các mảnh bản đồ số địa hình tỷ lệ 1:10.000 và 1:25.000 các tỉnh ven biển ... 29
Hình 3.4. Chuẩn sai nhiệt độ (^oC) trung bình năm (a) và nhiều năm (b) trên quy mô cả nước31
Hình 3.5. Chuẩn sai nhiệt độ trung bình năm (^oC) đối với các trạm ven biển và hải đảo 31
Hình 3.6. Thay đổi nhiệt độ trung bình năm (^oC) thời kỳ 1958-2014 32
Hình 3.7. Thay đổi lượng mưa năm (%) thời kỳ 1958-2014 32
Hình 3.8. Diễn biến bão và áp thấp nhiệt đới thời kỳ 1959-2014 34
Hình 3.9. Diễn biến bão với cường độ gió từ cấp 12 trở lên ở Biển Đông (1990-2015) 34
Hình 3.10. Xu thế biến đổi mực nước biển trung bình năm tại các trạm hải văn 35
Hình 3.11. Xu thế thay đổi mực nước biển toàn Biển Đông theo số liệu vệ tinh 36
Hình 4.1. Sơ đồ mô tả quá trình chi tiết hóa động lực độ phân giải cao cho Việt Nam 37
Hình 4.2. Minh họa phân bố luỹ tích mưa 40
Hình 4.3. Phân bố theo không gian của các thành phần đóng góp vào mực nước biển dâng 41
Hình 4.4. Sơ đồ phân vùng và các ô lưới cho các khu vực ven biển 43
Hình 4.5. Biến trình chuẩn sai mực nước biển (1986-2005) 44
Hình 4.6. Tương quan giữa chuẩn sai mực nước tính toán với thực đo giai đoạn 1986-2014 (hình trái) và với số liệu vệ tinh giai đoạn 1993-2014 (hình phải) 44
Hình 5.1. Biến đổi của nhiệt độ trung bình năm (^oC) theo kịch bản RCP4.5 47
Hình 5.2. Biến đổi của nhiệt độ trung bình năm (^oC) theo kịch bản RCP8.5 47
Hình 5.3. Biến đổi của nhiệt độ trung bình năm (^oC) ở 7 vùng khí hậu và hải đảo Việt Nam . 48

Hình 5.4. Biến đổi của nhiệt độ tối cao trung bình năm (^oC) theo kịch bản RCP4.5 51
Hình 5.5. Biến đổi của nhiệt độ tối cao trung bình năm (^oC) theo kịch bản RCP8.5 51
Hình 5.6. Biến đổi của nhiệt độ tối thấp trung bình năm (^oC) theo kịch bản RCP4.5 52
Hình 5.7. Biến đổi của nhiệt độ tối thấp trung bình năm (^oC) theo kịch bản RCP8.5 52
Hình 5.8. Biến đổi của lượng mưa năm (%) ở 7 vùng khí hậu và hải đảo Việt Nam 53
Hình 5.9. Biến đổi của lượng mưa năm theo kịch bản RCP4.5 54
Hình 5.10. Biến đổi của lượng mưa năm theo kịch bản RCP8.5 54
Hình 5.11. Biến đổi của lượng mưa 1 ngày lớn nhất trung bình theo kịch bản RCP4.5 57
Hình 5.12. Biến đổi của lượng mưa 1 ngày lớn nhất trung bình theo kịch bản RCP8.5 58
Hình 5.13. Biến đổi của lượng mưa 5 ngày lớn nhất trung bình theo kịch bản RCP4.5 58
Hình 5.14. Biến đổi của lượng mưa 5 ngày lớn nhất trung bình theo kịch bản RCP8.5 59
Hình 5.15. Biến đổi của bão và áp thấp nhiệt đới vào cuối thế kỷ so với thời kỳ cơ sở..... 59
Hình 5.16. Biến đổi của bão và áp thấp nhiệt đới vào cuối thế kỷ so với thời kỳ cơ sở..... 59
Hình 5.17. Biến đổi của bão và áp thấp nhiệt đới vào cuối thế kỷ so với thời kỳ cơ sở (theo kịch bản RCP4.5 và RCP8.5 của mô hình PRECIS) 60
Hình 5.18. Dự tính số lượng bão và áp thấp nhiệt đới thời kỳ cuối thế kỷ (theo kịch bản RCP4.5 và RCP8.5 của mô hình PRECIS)..... 60
Hình 5.19. Biến đổi của bão và áp thấp nhiệt đới vào cuối thế kỷ so với thời kỳ cơ sở..... 60
Hình 5.20. Biến đổi của số ngày nắng nóng (ngày/năm) vào giữa và cuối thế kỷ so với thời kỳ cơ sở, theo kịch bản RCP4.5 từ tổ hợp mô hình 61
Hình 5.21. Biến đổi của số ngày nắng nóng (ngày/năm) vào giữa (2046-2065) và cuối (2080-2099) thế kỷ so với thời kỳ cơ sở, theo kịch bản RCP8.5 từ tổ hợp mô hình..... 62
Hình 6.1. Đóng góp của các thành phần vào mực nước biển dâng tổng cộng khu vực Biển Đông theo kịch bản RCP8.5 64
Hình 6.2. Kịch bản nước biển dâng khu vực Biển Đông 65
Hình 6.3. Phân bố mực nước biển dâng vào cuối thế kỷ 21 theo kịch bản RCP2.6 66
Hình 6.4. Phân bố mực nước biển dâng vào cuối thế kỷ 21 theo kịch bản RCP4.5 66
Hình 6.5. Phân bố mực nước biển dâng vào cuối thế kỷ 21 theo kịch bản RCP6.0 66
Hình 6.6. Phân bố mực nước biển dâng vào cuối thế kỷ 21 theo kịch bản RCP8.5 66
Hình 6.7. Kịch bản nước biển dâng khu vực ven biển và hải đảo Việt Nam 71
Hình 6.8. Kịch bản nước biển dâng cho các tỉnh ven biển và quần đảo 72
Hình 6.9. Bản đồ nguy cơ ngập ứng với mực nước biển dâng 100 cm 76
Hình 6.10. Bản đồ nguy cơ ngập ứng với mực nước biển dâng 100cm, khu vực Quảng Ninh và đồng bằng sông Hồng 78
Hình 6.11. Bản đồ nguy cơ ngập ứng với mực nước biển dâng 100 cm, thành phố Hồ Chí Minh..... 79
Hình 6.12. Bản đồ nguy cơ ngập ứng với mực nước biển dâng 100 cm, khu vực đồng bằng sông Cửu Long 79

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT

A1B	Kịch bản phát thải trung bình
A1FI	Kịch bản phát thải cao nhất
A2	Kịch bản phát thải cao
AGCM-MRI	Mô hình của Viện Nghiên cứu Khí tượng Nhật Bản
AOGCMs	Mô hình hoàn lưu chung khí quyển - đại dương
APHRODITE	Số liệu mưa nội suy trên lưới của Nhật (Asian Precipitation Highly Resolved Observational Data)
AR4	Báo cáo đánh giá lần thứ 4 của IPCC (Fourth Assesment Report)
AR5	Báo cáo đánh giá lần thứ 5 của IPCC (Fifth Assesment Report)
B1	Kịch bản phát thải thấp
B2	Kịch bản phát thải trung bình
BĐKH	Biến đổi khí hậu
CCAM	Mô hình Khí quyển bảo giác lập phương (Conformal Cubic Atmospheric Model)
CLWRF	Mô hình WRF phiên bản cho nghiên cứu khí hậu
CMIP5	Dự án đối chứng các mô hình khí hậu lần 5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5)
CORDEX	Dự án Hợp tác về Chi tiết hóa khí hậu khu vực (The Coordinated Regional climate Downscaling Experiment)
CRU	Số liệu tái phân tích toàn cầu với độ phân giải 0,5 x 0,5 độ kinh vĩ của Cơ quan Nghiên cứu Khí hậu của Vương quốc Anh (Climate Research Unit)
CSIRO	Tổ chức Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ Liên bang Úc
DEM	Mô hình số độ cao (Digital Elevation Model)
ECE_IPCC	Chỉ số hiện tượng khí hậu cực đoan theo IPCC (Extreme Climate Event)
ECMWF	Trung tâm dự báo hạn vừa Châu Âu (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)
GCM	Mô hình khí hậu toàn cầu (Global Climate Model)
GDP	Tổng sản phẩm quốc nội (Gross Domestic Product)
GIS	Hệ thống thông tin địa lý (Geographic Information System)
IMHEN	Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu (Viet Nam Institute of Meteorology, Hydrology and Climate Change)
ICTP	Trung tâm quốc tế về Vật lý lý thuyết (International Centre for Theoretical Physics)
IPCC	Ban liên chính phủ về Biến đổi khí hậu (Intergovernmental Panel on Climate Change)
MAGICC/SCENGEN	Phần mềm tổ hợp các kịch bản phát thải khí nhà kính (Model for the Assessment of Greenhouse-gas Induced Climate Change/ Regional Climate SCENario GENerator)
NCAR	Trung tâm Nghiên cứu Khí quyển Quốc gia, Hoa Kỳ (National Center for Atmospheric Research)
MOS	Phân tích thống kê kết quả mô hình (Model Output Statistics)
NOAA	Cơ quan Khí quyển và Đại dương Quốc gia, Hoa Kỳ (National Oceanic and Atmospheric Administration)
MRI/AGCM	Mô hình hoàn lưu chung khí quyển (Atmosphere General Circulation Model)/ Viện Nghiên cứu Khí tượng Nhật Bản

	(Meteorology Research Institute)
PCMDI	Chương trình đối chứng và chẩn đoán mô hình khí hậu (Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison)
PP	Phương pháp thống kê thiết lập mô hìnhidự đoán tối ưu (Perfect Prognosis)
PRECIS	Mô hình khí hậu khu vực của Trung tâm Khí tượng Hadley, Vương quốc Anh (Providing Regional Climates for Impacts Studies)
R	Lượng mưa
RCM	Mô hình khí hậu khu vực (Regional Climate Model)
RCP	Kịch bản nồng độ khí nhà kính đặc trưng (Representative Concentration Pathways)
RCP2.6	Kịch bản nồng độ khí nhà kính thấp
RCP4.5	Kịch bản nồng độ khí nhà kính trung bình thấp
RCP6.0	Kịch bản nồng độ khí nhà kính trung bình cao
RCP8.5	Kịch bản nồng độ khí nhà kính cao
RegCM	Mô hình khí hậu khu vực (Regional Climate Model) của ICTP
Rx1day	Lượng mưa 1 ngày lớn nhất
Rx5day	Lượng mưa 5 ngày lớn nhất
SD	Chi tiết hóa thống kê (Statistical Downscaling)
SDSM	Mô hình chi tiết hóa thống kê (Statistical Downscaling Model)
SLRRP	Phần mềm hiệu chỉnh mực nước biển dâng (Sea Level Rise Rectification Program)
SRES	Báo cáo đặc biệt về kịch bản phát thải (Special Report on Emission Scenarios)
TAR	Báo cáo đánh giá lần thứ ba của IPCC (Third Assessment Report)
T2m	Nhiệt độ không khí trung bình tại độ cao 2 m
Tn	Nhiệt độ tối thấp
Tx	Nhiệt độ tối cao
TNMT	Tài nguyên và Môi trường
UNFCCC	Công ước khung của Liên Hợp Quốc về BĐKH (United Nations Framework Convention on Climate Change)
WMO	Tổ chức Khí tượng thế giới (World Meteorological Organization)
WRF	Mô hình Nghiên cứu và Dự báo thời tiết (Weather Research and Forecast)

CÁC THUẬT NGỮ CHÍNH

- **Ban Liên Chính phủ về biến đổi khí hậu - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC):** IPCC là tổ chức khoa học liên chính phủ, do Tổ chức Khí tượng Thế giới (WMO) và Chương trình Môi trường Liên Hợp Quốc (UNEP) thành lập năm 1988.

- **Băng quyển - Cryosphere:** Là tất cả các vùng có băng tuyết bao phủ quanh năm trên đất liền và trên biển.

- **Biên độ ngày của nhiệt độ - Diurnal Temperature Range (DTR):** Chênh lệch giữa nhiệt độ thấp nhất và cao nhất trong ngày.

- **Biến đổi khí hậu - Climate Change:** Là sự thay đổi của khí hậu trong một khoảng thời gian dài do tác động của các điều kiện tự nhiên và hoạt động của con người. Biến đổi khí hậu hiện nay biểu hiện bởi sự nóng lên toàn cầu, mực nước biển dâng và gia tăng các hiện tượng khí tượng thủy văn cực đoan.

- **Bức xạ tác động - Radiative Forcing:** Bức xạ tác động được định nghĩa là mức thay đổi của cân bằng năng lượng bức xạ được hấp thụ bởi trái đất và năng lượng bức xạ trở lại khí quyển. Thông thường, bức xạ tác động (đơn vị đo: W/m^2) được xác định ở đỉnh tầng đối lưu (độ cao cách mặt đất khoảng 10-12 km). Một bức xạ tác động dương (nhiều năng lượng đến) sẽ làm ấm hệ thống, trong khi bức xạ tác động âm (nhiều năng lượng đi) sẽ làm lạnh hệ thống. Trong báo cáo này, bức xạ tác động được hiểu là sự thay đổi bức xạ toàn cầu trung bình năm so với giá trị tương ứng của năm 1750. Cần tránh nhầm lẫn bức xạ tác động nêu trên với bức xạ tác động do mây liên quan tới ảnh hưởng của mây tới thông lượng bức xạ tại đỉnh khí quyển.

- **Cân bằng khối lượng bề mặt băng - Surface mass balance:** Sự thay đổi khối lượng băng tại bề mặt do: (i) thay đổi lượng băng tích tụ (giáng thủy trừ đi bốc hơi); (ii) băng mất đi do dòng chảy băng; (iii) băng tách và trôi khỏi lục địa. Sự thay đổi khối lượng băng có thể làm mực nước biển dâng lên hoặc giảm đi.

- **Chuẩn khí hậu - Climatic Normal:** Là giá trị trung bình của yếu tố khí hậu trong một khoảng thời gian nhất định, thường là 30 năm, làm căn cứ để đánh giá sự khác biệt khí hậu giữa nơi này với nơi khác, giữa thời kỳ này với thời kỳ khác.

- **Chuẩn sai khí hậu - Climatic Anomaly:** (i) Độ lệch của giá trị một yếu tố khí hậu so với chuẩn khí hậu hoặc so với giá trị trung bình của nó trong một giai đoạn; (ii) Sự khác biệt giữa giá trị của một yếu tố khí hậu ở một nơi và giá trị trung bình của yếu tố đó lấy theo vòng vĩ tuyến đi qua nơi đó.

- **Chu trình các-bon - Carbon Cycle**: Thuật ngữ dùng để mô tả dòng các-bon (dưới các hình thức khác nhau, ví dụ như CO_2) trong bầu khí quyển, đại dương, sinh quyển trên mặt đất và thạch quyển. Trong báo cáo này, đơn vị tính khối lượng các-bon trong các chu trình các-bon là tỷ tấn các-bon (GtC).

- **Công ước Khung của Liên Hiệp Quốc về Biến đổi khí hậu - United Nation Framework Convention on Climate Change (UNFCCC):** Thường gọi tắt là Công ước khí hậu, được hơn 150 nước ký tại Hội nghị Thượng đỉnh trái đất ở Rio de Janeiro năm 1992. Mục tiêu cuối cùng của Công ước là "ổn định nồng độ khí nhà kính trong khí quyển ở mức có thể ngăn ngừa được tác động nguy hiểm của con người vào hệ thống khí hậu".

- **Dao động khí hậu - Climatic variability:** Là những thay đổi của giá trị trung bình hoặc các đặc trưng thống kê khác (độ lệch chuẩn, tần suất các giá trị cực trị...) của các yếu tố khí hậu

ở tất cả các quy mô không gian và thời gian lớn hơn quy mô thời tiết. Dao động khí hậu có thể gây ra bởi các quá trình tự nhiên nội tại bên trong hệ thống khí hậu, hoặc cũng có thể do các tác động bên ngoài của thiên nhiên và con người.

- **Dự tính khí hậu - Climate projection:** Là một mô phỏng khí hậu tương lai (thường là kết quả của các mô hình khí hậu) trên cơ sở kịch bản phát thải khí nhà kính hay kịch bản nồng độ các khí nhà kính và sol khí. Các kịch bản này được xây dựng dựa trên giả định về phát triển kinh tế xã hội, dân số, công nghệ,… trong tương lai.

- **Điôxit các-bon hay CO_2 - Carbon Dioxit:** Một loại khí sinh ra một cách tự nhiên bởi quang hợp tạo vật chất hữu cơ, là một sản phẩm phụ của việc đốt cháy nhiên liệu hóa thạch, đốt sinh khối và thay đổi sử dụng đất và các quy trình công nghiệp khác. Đây là khí nhà kính cơ bản do con người gây ra có ảnh hưởng đến sự cân bằng bức xạ của trái đất, là khí tham chiếu để so sánh cho các loại khí nhà kính khác.

- **Điều chỉnh đẳng tĩnh băng - Glacial isostatic adjustment:** Sự phản ứng của bề mặt trái đất đối với thay đổi của các khối băng trên toàn cầu. Quá trình này sẽ làm thay đổi mực nước biển tại các khu vực, đặc biệt là các khu vực gần với các khối băng vĩnh cửu.

- **Động lực băng - Ice sheet dynamic:** Các quá trình động lực có thể dẫn đến sự thay đổi khối lượng băng: (i) Quá trình tách băng và vỡ băng tại các cửa sông băng, rìa băng; (ii) Quá trình tan băng bên dưới bề mặt nước do nước biển ấm lên; (iii) Tương tác giữa cân bằng khối lượng băng và dòng chảy băng.

- **Giãn nở nhiệt của các đại dương - Thermal Expansion of the Oceans:** Khi các đại dương ấm lên, thể tích sẽ tăng và gây nước biển dâng. Thay đổi về độ mặn ở khu vực nhỏ cũng làm thay đổi mật độ và thể tích nước biển, tuy nhiên tác động này tương đối nhỏ trên quy mô toàn cầu.

- **Hạn - Drought:** Hiện tượng thiếu hụt nước nghiêm trọng kéo dài, thường liên quan tới điều kiện thời tiết khô và thiếu hụt mưa kéo dài làm giảm hàm lượng ẩm trong không khí và hàm lượng nước trong đất, làm suy kiệt dòng chảy sông suối, hạ thấp mực nước ao hồ, mực nước trong các tầng chứa nước dưới đất gây ảnh hưởng xấu đến sự sinh trưởng của cây trồng, làm môi trường suy thoái, gây đói nghèo và dịch bệnh. Có 4 loại hạn chính bao gồm: (i) Hạn khí tượng là sự thiếu hụt mưa bất thường đối với một khu vực cụ thể; (ii) Hạn nông nghiệp là sự thiếu hụt nguồn nước cung cấp cho các nhu cầu nước của cây trồng trong giai đoạn phát triển khác nhau; (iii) Hạn thủy văn đề cập đến sự duy trì mực nước thấp ở các sông, suối và hồ chứa; hạn thủy văn thường có sự liên kết với hạn khí tượng; (iv) Hạn kinh tế - xã hội xảy ra khi nhu cầu về nước vượt quá khả năng cung để đảm bảo các hoạt động kinh tế - xã hội. Siêu hạn (megadrought) là một đợt hạn xảy ra diện rất rộng, trong một giai đoạn dài bất thường, thường là một thập kỷ hoặc hơn.

- **Hệ thống khí hậu - Climate System:** Là một hệ thống phức tạp bao gồm 5 thành phần chính: Khí quyển, đại dương, băng quyển, mặt đất, sinh quyển và các tương tác giữa chúng. Hệ thống khí hậu theo thời gian bị chi phối bởi các yếu tố động lực nội tại và từ bên ngoài như phun trào núi lửa, dao động của mặt trời và các tác động nhân tạo như thay đổi thành phần khí quyển và thay đổi sử dụng đất.

- **Hiệu ứng nhà kính - Greenhouse Effect:** Hiệu ứng bức xạ hồng ngoại (bức xạ sóng dài) của tất cả các thành phần hấp thụ bức xạ sóng dài trong khí quyển. Các thành phần này bao gồm các chất khí nhà kính, mây, sol khí hấp thụ bức xạ sóng dài từ bề mặt trái đất và mọi nơi trong khí quyển và phát xạ bức xạ sóng dài trở lại theo mọi hướng. Tuy nhiên tổng năng lượng bức xạ các thành phần này phát ra không gian nhỏ hơn phần chúng nhận được dẫn tới một phần năng lượng bức xạ sóng dài được giữ lại trong khí quyển làm khí quyển ấm hơn

trường hợp không có các thành phần gây hiệu ứng nhà kính. Trong tự nhiên, hiệu ứng này giúp duy trì nhiệt độ trái đất cao hơn khoảng 30°C so với trường hợp không có các chất khí đó và do vậy trái đất không bị quá lạnh. Tuy nhiên, sự gia tăng nồng độ các khí nhà kính do hoạt động của con người làm tăng hiệu ứng này, thúc đẩy tốc độ ấm lên toàn cầu trong giai đoạn mấy thập kỷ gần đây.

- **Hoàn lưu chung của khí quyển - General Circulation of the Atmosphere:** Hệ thống gió quy mô lớn của trái đất hình thành do sự quay của trái đất và sự đốt nóng không đồng nhất trên bề mặt trái đất và khí quyển bởi mặt trời.

- **Hồi tiếp khí hậu - Climate Feedbacks:** Cơ chế tác động qua lại của các quá trình trong hệ thống khí hậu được gọi là hồi tiếp khí hậu, kết quả của một quá trình ban đầu gây nên những thay đổi trong một quá trình thứ hai đến lượt nó lại ảnh hưởng ngược trở lại quá trình ban đầu. Hồi tiếp dương làm tăng quá trình ban đầu, hồi tiếp âm làm giảm…

- **Khí hậu - Climate:** Là tổng hợp các điều kiện thời tiết ở một vùng nhất định, đặc trưng bởi các đại lượng thống kê dài hạn của các yếu tố khí tượng tại vùng đó.

- **Khí nhà kính - Greenhouse Gases (GHGs):** Là các khí trong khí quyển, cả tự nhiên và nhân tạo, hấp thụ và phát ra bức xạ ở các bước sóng trong quang phổ bức xạ hồng ngoại của bề mặt trái đất, khí quyển, mây. Các khí nhà kính chính trong khí quyển là CO_2, N_2O, CH_4, O_3, H_2O... Các khí nhà kính gây ra hiệu ứng nhà kính với việc giảm năng lượng bức xạ của trái đất thoát ra vũ trụ, làm ấm lên tầng bên dưới khí quyển và bề mặt trái đất.

- **Khí quyển - Atmotsphere:** Là lớp vỏ khí bao quanh trái đất. Bầu không khí khô bao gồm gần như hoàn toàn nitơ (78,1% theo khối lượng) và ôxy (20,9% theo khối lượng), cùng với một tỷ lệ nhỏ các loại khí khác, chẳng hạn như argon (0,93%), heli và các loại khí bức xạ nhà kính như carbon dioxide (0,035%) và ozon. Ngoài ra, bầu không khí có chứa khí nhà kính là hơi nước, có một lượng thay đổi khá lớn nhưng thường khoảng 1%. Bầu không khí cũng có những đám mây và sol khí.

- **Kịch bản khí hậu - Climate Scenario:** Một biểu diễn phù hợp và đơn giản hóa của khí hậu tương lai, dựa trên cơ sở một tập hợp nhất quán của các quan hệ khí hậu đã được xây dựng, sử dụng trong việc nghiên cứu hệ quả tiềm tàng của sự thay đổi khí hậu do con người gây ra, thường dùng như đầu vào cho các mô hình tác động. Các dự tính khí hậu thường được dùng như là nguyên liệu thô để xây dựng các kịch bản khí hậu, nhưng các kịch bản khí hậu thường yêu cầu các thông tin bổ sung ví dụ như các quan trắc khí hậu hiện tại.

- **Kịch bản biến đổi khí hậu - Climate Change Scenario:** Là sự khác biệt giữa kịch bản khí hậu và khí hậu hiện tại. Do kịch bản biến đổi khí hậu xác định từ kịch bản khí hậu, nó bao hàm các giả định có cơ sở khoa học và tính tin cậy về sự tiến triển trong tương lai của các mối quan hệ giữa kinh tế - xã hội, GDP, phát thải khí nhà kính, biến đổi khí hậu và mực nước biển dâng.

- **Lưu trữ nước trên lục địa - Land water storage:** Quá trình thay đổi dài hạn trong lưu trữ và sử dụng nước trên lục địa, có liên quan đến các hồ chứa nước nhân tạo và khai thác nước ngầm. Sự thay đổi lượng trữ nước trên lục địa có thể làm thay đổi mực nước biển.

- **Mêtan - Methane (CH_4):** Là một hợp chất hóa học có công thức hóa học CH_4. Nó là một thành phần chính của khí tự nhiên. Trong trạng thái tự nhiên, mêtan được tìm thấy ở cả dưới mặt đất và dưới đáy biển. Nó là một trong sáu khí nhà kính được kiểm soát bởi Nghị định thư Kyoto. Các nguồn khí mêtan chủ yếu là bãi rác thải, mỏ than, ruộng lúa, các hệ thống khí tự nhiên và súc vật nuôi.

- **Mô hình hoàn lưu chung - General Circulation Model (GCM):** Một công cụ căn bản để nghiên cứu tác động của sự tăng nồng độ khí nhà kính đối với khí hậu. GCM cơ bản là một mô hình thủy động lực của khí quyển trên một lưới điểm hay phân giải phổ, qua đó các phương trình khối lượng, năng lượng và động lượng cho khí quyển và đại dương được tích phân với nhau theo thời gian, trên một khu vực của địa cầu để mô phỏng sự vận động của hệ thống đại dương - khí quyển thực.

- **Nhân tố khí hậu - Climatic Factors:** Các điều kiện vật lý nhất định (khác với yếu tố khí hậu) điều chỉnh khí hậu (vĩ độ, độ cao, sự phân bố đất, biển, địa hình, các dòng chảy đại dương v.v...).

- **Nhiên liệu hóa thạch - Fossil Fuels:** Nhiên liệu hóa thạch là các nhiên liệu được hình thành bởi các quá trình tự nhiên như phân hủy kỵ khí của xác sinh vật giàu các-bon đã hóa thạch. Các xác đó được chôn trong các lớp trầm tích và nén qua thời kỳ địa chất, dần dần chuyển thành nhiên liệu. Nhiên liệu hóa thạch có chứa tỷ lệ phần trăm cao của các-bon, bao gồm than đá, dầu mỏ và khí đốt tự nhiên. Các loại nhiên liệu hóa thạch liên tục được hình thành thông qua quá trình tự nhiên, tuy nhiên, chúng thường được coi là nguồn tài nguyên không tái tạo được vì phải mất hàng triệu năm để có thể hình thành.

- **Nhiệt độ cực trị - Extreme Temperatures:** Nhiệt độ cao nhất và thấp nhất đạt được trong thời gian nhất định.

- **Nóng lên toàn cầu - Global Warming:** Nói một cách chặt chẽ, sự nóng lên và lạnh đi toàn cầu là các xu thế nóng lên và lạnh đi tự nhiên mà trái đất trải qua trong suốt lịch sử của nó. Tuy nhiên, thuật ngữ này thường để chỉ sự tăng dần nhiệt độ trái đất do các chất khí nhà kính tích tụ trong khí quyển.

- **Nước biển dâng - Sea Level Rise:** Là sự dâng mực nước của đại dương trên toàn cầu, trong đó không bao gồm triều, nước dâng do bão... Nước biển dâng tại một vị trí nào đó có thể cao hơn hoặc thấp hơn so với trung bình toàn cầu vì có sự khác nhau về nhiệt độ của đại dương và các yếu tố khác.

- **Ôxit nitơ - Nitrous Oxide (N_2O):** Là một hợp chất hóa học với công thức N_2O. Là một trong sáu khí nhà kính được kiểm soát bởi Nghị định thư Kyoto, phát sinh từ việc đốt các nhiên liệu hóa thạch và sản xuất phân bón.

- **Phát thải - Emissions:** Sự thải các khí nhà kính và/hoặc các tiền tố của chúng vào khí quyển trên một khu vực và thời gian cụ thể (*Theo Công ước khí hậu*).

- **Sinh quyển - Biosphere:** Là một phần của trái đất, nơi có các điều kiện tự nhiên thích hợp cho sự sống phát triển. Sinh quyển là một hệ thống tự nhiên bao gồm thành phần vật chất sống như các loài động vật, thực vật, vi khuẩn, nấm… và thành phần vô sinh (các yếu tố môi trường) như lớp vỏ phong hóa, lớp phủ thổ nhưỡng, không khí trong tầng đối lưu… Sinh quyển được duy trì bởi sự chuyển hóa vật chất và năng lượng giữa các thành phần của nó mà hệ quả có thể làm thay đổi thành phần khí quyển và khí hậu trái đất.

- **Sol khí - Aerosols:** Là các hạt rất nhỏ gây ra hiện tượng mù. Chúng phần lớn là nước và các hạt chất ô nhiễm như axit sulphua và muối biển. Sol khí trong tầng đối lưu thường được giáng thủy quét đi. Các sol khí được mang lên tầng bình lưu thường ở đó lâu hơn nhiều. Sol khí ở tầng bình lưu chủ yếu là các hạt sunphat từ các vụ núi lửa phun, có thể làm giảm đáng kể bức xạ mặt trời.

- **Thạch quyển - Lithosphere:** Là lớp vỏ cứng ngoài cùng nhất của các hành tinh có đất đá. Trên trái đất, thạch quyển bao gồm lớp vỏ và tầng trên cùng nhất của lớp phủ kết nối với lớp vỏ. Vỏ trái đất không đồng nhất theo chiều thẳng đứng và theo chiều nằm ngang. Cùng với

việc nóng lên và nguội đi không đồng đều dưới tác động của mặt trời, thạch quyển có ảnh hưởng lớn đến khí hậu và biến đổi khí hậu.

- **Thời tiết - Weather:** Thời tiết là trạng thái khí quyển tại một địa điểm nhất định được xác định bằng tổ hợp các yếu tố: nhiệt độ, áp suất, độ ẩm, tốc độ gió, mưa,…
- **Thủy quyển - Hydrosphere:** Phần của trái đất bao gồm nước, đó là đại dương, biển, băng, hồ, sông, v.v...
- **Tổ chức Khí tượng Thế giới - World Meteorological Organization (WMO):** Là một tổ chức liên chính phủ với sự tham gia của 191 nước thành viên và vùng lãnh thổ. WMO có nguồn gốc từ Tổ chức Khí tượng Quốc tế (IMO), được thành lập vào năm 1873. Được thành lập vào năm 1950, WMO trở thành cơ quan chuyên môn của Liên hợp quốc về khí tượng (thời tiết và khí hậu), thủy văn và hoạt động khoa học địa vật lý liên quan.
- **Trạm khí hậu - Climatological Station:** Trạm thực hiện các quan trắc khí hậu.
- **Tương tác khí quyển-đại dương – Atmosphere-Ocean Interactions:** Là quá trình trao đổi nhiệt, ẩm, động năng, năng lượng giữa lớp nước bề mặt đại dương với lớp không khí bên trên, chủ yếu thông qua hoạt động đối lưu và các xoáy khí quyển.
- **Xu thế khí hậu - Climatic Trend:** Sự biến đổi khí hậu được đặc trưng bằng việc tăng hay giảm đơn điệu và trơn tru của giá trị trung bình trong thời kỳ chuỗi số liệu. Không chỉ giới hạn ở sự thay đổi tuyến tính theo thời gian, mà đặc trưng bằng chỉ một cực đại và một cực tiểu ở các đầu, cuối chuỗi số liệu.
- **Yếu tố khí hậu - Climatic Element:** Một trong những tính chất hay điều kiện của khí quyển (như nhiệt độ không khí) đặc trưng cho trạng thái vật lý của thời tiết hay khí hậu tại một nơi, vào một khoảng thời gian nhất định.

I. Mở đầu

Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam cung cấp những thông tin cập nhật nhất về đánh giá những biểu hiện, xu thế biến đổi trong quá khứ, kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng trong thế kỷ 21 ở Việt Nam.

Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam được Bộ Tài nguyên và Môi trường công bố lần đầu vào năm 2009 trên cơ sở tổng hợp các nghiên cứu trong và ngoài nước để kịp thời phục vụ các Bộ, ngành và các địa phương trong đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến các ngành, lĩnh vực và khu vực, đồng thời là cơ sở để phục vụ việc xây dựng chiến lược, quy hoạch, kế hoạch phát triển kinh tế - xã hội giai đoạn 2010-2015. Mức độ chi tiết của các kịch bản mới chỉ giới hạn cho 7 vùng khí hậu và dải ven biển Việt Nam.

Năm 2011, Chiến lược quốc gia về biến đổi khí hậu được ban hành, xác định các mục tiêu ưu tiên cho từng giai đoạn, theo đó Bộ Tài nguyên và Môi trường đã cập nhật kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng dựa trên các nguồn dữ liệu, các điều kiện khí hậu cụ thể của Việt Nam và các sản phẩm của các mô hình khí hậu. Kịch bản khí hậu lần này được xây dựng chi tiết đến cấp tỉnh, kịch bản nước biển dâng được chi tiết cho các khu vực ven biển Việt Nam theo từng thập kỷ của thế kỷ 21.

Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam năm 2016 được cập nhật theo lộ trình đã được xác định trong Chiến lược quốc gia về biến đổi khí hậu, nhằm cung cấp những thông tin mới nhất về diễn biến, xu thế biến đổi của khí hậu và nước biển dâng trong thời gian qua và kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng trong thế kỷ 21 ở Việt Nam.

Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng được xây dựng trên cơ sở Báo cáo đánh giá lần thứ 5 (AR5) của Ban liên chính phủ về biến đổi khí hậu (IPCC); số liệu quan trắc khí tượng thủy văn và mực nước biển cập nhật đến năm 2014, bản đồ số địa hình quốc gia cập nhật đến năm 2016; xu thế biến đổi gần đây của khí hậu và nước biển dâng ở Việt Nam; các mô hình khí hậu toàn cầu và mô hình khí hậu khu vực độ phân giải cao cho khu vực Việt Nam, các mô hình khí quyển - đại dương; các nghiên cứu của Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, Hội đồng tư vấn của Ủy ban Quốc gia về Biến đổi khí hậu và các cơ quan nghiên cứu của Việt Nam; các kết quả nghiên cứu trong khuôn khổ hợp tác giữa Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu với Cơ quan Phát triển Liên Hợp Quốc thông qua các dự án CBCC, CBICS; Cơ quan Nghiên cứu Khoa học và Công nghiệp Liên bang Úc; Trung tâm Nghiên cứu Khí hậu Bjerknes của Na Uy; Cơ quan Khí tượng Vương quốc Anh; Viện Nghiên cứu Khí tượng Nhật Bản,…

Kịch bản biến đổi khí hậu xét đến sự biến đổi trong thế kỷ 21 của các yếu tố khí hậu như nhiệt độ (nhiệt độ trung bình năm, mùa và nhiệt độ cực trị), lượng mưa (mưa năm, mưa trong các mùa, mưa cực trị) và một số hiện tượng khí hậu cực đoan (bão và áp thấp nhiệt đới, số ngày rét đậm, rét hại, số ngày nắng nóng và hạn hán).

Kịch bản nước biển dâng xét đến xu thế dâng cao của mực nước biển trung bình do biến đổi khí hậu (giãn nở nhiệt và động lực; tan băng của các sông băng, núi băng trên lục địa; cân bằng khối lượng bề mặt băng ở Greenland; cân bằng khối lượng bề mặt băng ở Nam Cực; động lực băng ở Greenland; động lực băng ở Nam Cực; thay đổi lượng trữ nước trên lục địa; và điều chỉnh đẳng tĩnh băng).

Bản đồ nguy cơ ngập được xây dựng dựa trên mực nước biển dâng trung bình do biến đổi khí hậu.

Các yếu tố động lực khác có liên quan như sự nâng hạ địa chất, sự thay đổi địa hình,

sụt lún đất do khai thác nước ngầm, thay đổi đường bờ biển, ảnh hưởng của thủy triều, nước dâng do bão, nước dâng do gió mùa, ảnh hưởng của các công trình thủy điện bậc thang, xâm nhập mặn,… chưa được xét đến trong kịch bản này. Các công trình giao thông và thủy lợi như đê biển, đê sông, đê bao, đường giao thông,… cũng chưa được xét đến khi xây dựng bản đồ nguy cơ ngập do nước biển dâng.

Báo cáo kịch bản được thiết kế để cung cấp những thông tin dưới dạng dễ hiểu và dễ sử dụng, trên cơ sở tham vấn rộng rãi ý kiến của các Bộ, ngành và địa phương nhằm đánh giá thông tin, nhu cầu dữ liệu và các phương pháp diễn đạt. Các ý kiến của các Bộ, ngành và địa phương về việc khai thác sử dụng kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam đã được xem xét, tiếp thu và cập nhật trong kịch bản năm 2016.

Báo cáo này là một phần của một bộ sản phẩm bao gồm bộ dữ liệu, các thông tin bổ trợ và hướng dẫn sử dụng. Những thông tin trong báo cáo là cơ sở để các Bộ, ngành và địa phương đánh giá tác động của biến đổi khí hậu và xây dựng các giải pháp ứng phó với biến đổi khí hậu.

Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng phiên bản năm 2016 có những điểm mới quan trọng so với phiên bản năm 2012 như sau:

1) Sử dụng số liệu cập nhật, bao gồm: (i) Số liệu của 150 trạm quan trắc trên đất liền và hải đảo thuộc mạng lưới trạm khí tượng thủy văn của Trung tâm Khí tượng Thủy văn Quốc gia được cập nhật đến năm 2014; (ii) Số liệu mực nước biển của 17 trạm hải văn ven biển và hải đảo được cập nhật đến năm 2014; (iii) Số liệu mực nước biển đo đạc từ vệ tinh được cập nhật đến năm 2014; (iv) Số liệu địa hình của bản đồ tỷ lệ 1:2.000, 1:5.000 và 1:10.000 đo đạc bởi các dự án thuộc Chương trình mục tiêu quốc gia ứng phó với BĐKH được cập nhật đến năm 2016.

2) Sử dụng các kết quả cập nhật nhất của các mô hình khí hậu toàn cầu (thuộc dự án CMIP5), bao gồm: NorESM1-M, CNRM-CM5, GFDL-CM3, HadGEM2-ES, ACCESS1-0, CCSM4, MPI-ESM-LR, NCAR-SST, HadGEM2-SST, GFDL-SST.

3) Sử dụng phương pháp chi tiết hóa động lực dựa trên 5 mô hình khí hậu khu vực độ phân giải cao, bao gồm: AGCM/MRI, PRECIS, CCAM, RegCM và clWRF. Tổng cộng có 16 phương án tính toán.

4) Sử dụng phương pháp thống kê để hiệu chỉnh kết quả tính toán của các mô hình động lực theo số liệu thực đo tại các trạm quan trắc nhằm phản ánh điều kiện cụ thể của địa phương và giảm sai số hệ thống của mô hình.

5) Xây dựng kịch bản BĐKH và một số cực trị khí hậu chi tiết cho 63 tỉnh/thành phố, các quần đảo Hoàng Sa và Trường Sa của Việt Nam và chi tiết cho 150 trạm khí tượng (tương đương cấp huyện).

6) Xây dựng kịch bản nước biển dâng chi tiết cho 28 tỉnh/thành phố/thành phố/thành phố ven biển, quần đảo Hoàng Sa và Trường Sa.

7) Xác định mức độ tin cậy của các kết quả tính toán khí hậu và nước biển dâng trong tương lai theo các khoảng phân vị.

8) Đánh giá nguy cơ ngập do nước biển dâng cho các khu vực đồng bằng, ven biển, các đảo và quần đảo của Việt Nam. Đối với các khu vực có bản đồ địa hình tỷ lệ 1:2000, mức độ chi tiết của bản đồ nguy cơ ngập là đến cấp xã.

9) Nhận định về mực cực trị, gồm nước dâng do bão, thủy triều, và nước dâng do bão kết hợp với thủy triều ven bờ biển Việt Nam, để người sử dụng có thể hình dung được

những tác động kép của nước biển dâng do biến đổi khí hậu và cực trị mực nước biển do các yếu tố tự nhiên như nước dâng do bão và triều cường.

10) Nhận định về một số yếu tố có tác động kép đến nguy cơ ngập vì nước biển dâng do biến đổi khí hậu, bao gồm nâng hạ địa chất và sụt lún do khai thác nước ngầm khu vực đồng bằng sông Cửu Long và dải ven biển miền Trung.

Báo cáo kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam được bố trí theo cấu trúc sau:

Chương 1: ***Mở đầu***

Chương 2: ***Cơ sở khoa học của biến đổi khí hậu***. Trình bày về: (i) Nguyên nhân của biến đổi khí hậu; (ii) Kịch bản khí nhà kính và mô hình khí hậu; (iii) Biến đổi khí hậu và nước biển dâng quy mô toàn cầu và khu vực.

Chương 3: ***Biểu hiện của biến đổi khí hậu và nước biển dâng ở Việt Nam***. Trình bày về: (i) Số liệu sử dụng trong phân tích xu thế và xây dựng kịch bản; (ii) Xu thế biến đổi của các yếu tố khí hậu; (iii) Xu thế biến đổi của các cực đoan khí hậu; (iv) Xu thế biến đổi của mực nước biển.

Chương 4: ***Phương pháp xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam***. Trình bày về: (i) Phương pháp xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu; (ii) Phương pháp xây dựng kịch bản nước biển dâng; (iii) Phương pháp xây dựng bản đồ nguy cơ ngập.

Chương 5: ***Kịch bản biến đổi khí hậu cho Việt Nam***. Trình bày về: (i) Kịch bản biến đổi khí hậu đối với nhiệt độ; (ii) Kịch bản biến đổi khí hậu đối với lượng mưa; (iii) Kịch bản biến đổi của một số hiện tượng khí hậu cực đoan.

Chương 6: ***Kịch bản nước biển dâng cho Việt Nam***. Trình bày về: (i) Kịch bản nước biển dâng và một số nhận định về mực nước cực trị; (ii) Nguy cơ ngập theo các mực nước biển dâng.

Phụ lục: Trình bày kịch bản biến đổi khí hậu chi tiết cho 63 tỉnh/thành phố và Bản đồ nguy cơ ngập ứng với các mực nước biển dâng cho các tỉnh đồng bằng và ven biển, các đảo và quần đảo của Việt Nam.

Bản điện tử của Báo cáo kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam năm 2016, các báo cáo thành phần và các ấn phẩm khác có liên quan được đăng tải tại trang web của Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu (**www.imh.ac.vn**).

II. Cơ sở khoa học của biến đổi khí hậu

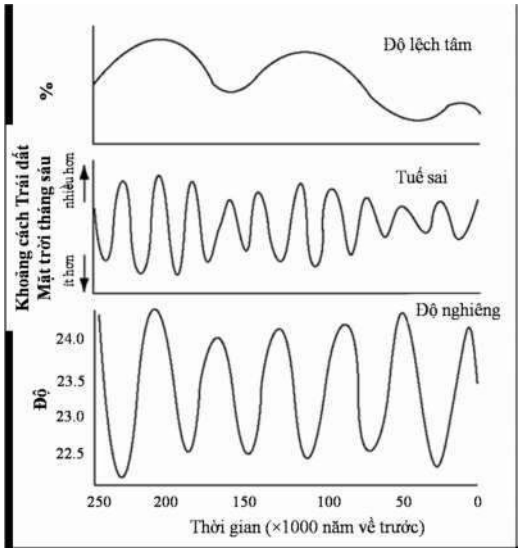
2.1. Nguyên nhân của biến đổi khí hậu

Biến đổi khí hậu có thể do các quá trình tự nhiên và cũng có thể do tác động của con người.

2.1.1. Biến đổi khí hậu do yếu tố tự nhiên

Những nguyên nhân tự nhiên gây nên sự thay đổi của khí hậu trái đất có thể là từ bên ngoài, hoặc do sự thay đổi bên trong và tương tác giữa các thành phần của hệ thống khí hậu trái đất, bao gồm:

Thay đổi của các tham số quĩ đạo trái đất: Do trái đất tự quay xung quanh trục của nó và quay quanh mặt trời, theo thời gian, một vài biến thiên theo chu kỳ đã diễn ra. Các thay đổi về chuyển động của trái đất gồm: sự thay đổi của độ lệch tâm có chu kỳ dao động khoảng 96.000 năm; độ nghiêng trục có chu kỳ dao động khoảng 41.000 năm và tuế sai (tiến động) có chu kỳ dao động khoảng từ 19.000 năm đến 23.000 năm. Những biến đổi chu kỳ năm của các tham số này làm thay đổi lượng bức xạ mặt trời cung cấp cho hệ thống khí hậu và do đó làm thay đổi khí hậu trái đất.



Hình 2.1. Thay đổi tham số của quỹ đạo trái đất từ 250.000 năm trước đến nay

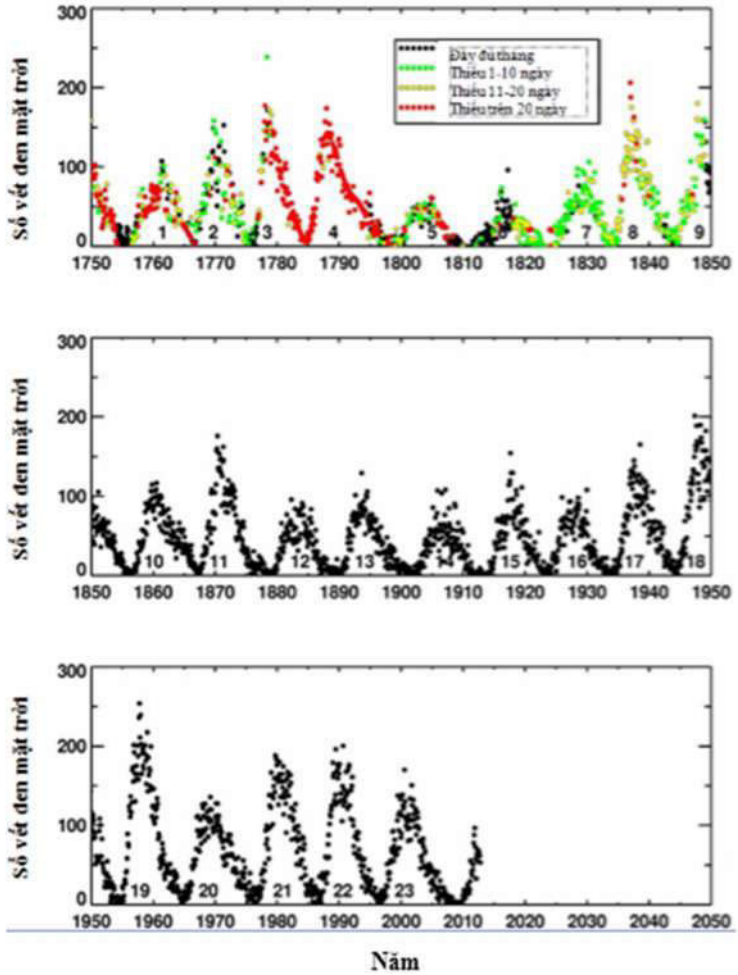
(Nguồn: www.fs.fed.us/ccrc/primers/climate-change-primer.shtml)

Biến đổi trong phân bố lục địa - biển của bề mặt trái đất: Bề mặt trái đất có thể bị biến dạng qua các thời kỳ địa chất do sự trôi dạt của các lục địa, các quá trình vận động kiến tạo, phun trào của núi lửa,… Sự biến dạng này làm thay đổi phân bố lục địa - đại dương, hình thái bề mặt trái đất, dẫn đến sự biến đổi trong phân bố bức xạ mặt trời trong cân bằng bức xạ và cân bằng nhiệt của mặt đất và trong hoàn lưu chung khí quyển, đại dương. Ngoài ra, các đại dương là một thành phần chính của hệ thống khí hậu, dòng hải lưu vận chuyển một lượng lớn nhiệt trên khắp hành tinh. Thay đổi trong lưu thông đại dương có thể ảnh hưởng đến khí hậu thông qua sự chuyển động của CO_2 vào khí quyển.

Sự biến đổi về phát xạ của mặt trời và hấp thụ bức xạ của trái đất: Sự phát xạ của mặt trời đã có những thời kỳ yếu đi gây ra băng hà và có những thời kỳ hoạt động mãnh liệt gây ra khí hậu khô và nóng trên bề mặt trái đất. Ngoài ra, sự xuất hiện các vết đen mặt trời làm cho cường độ tia bức xạ mặt trời chiếu xuống trái đất thay đổi, năng lượng chiếu xuống mặt đất thay đổi làm thay đổi nhiệt độ bề mặt trái đất.

Hoạt động của núi lửa: Khí và tro núi lửa có thể ảnh hưởng đến khí hậu trong nhiều năm. Bên cạnh đó, các sol khí do núi lửa phản chiếu bức xạ mặt trời trở lại vào không gian, và vì vậy làm giảm nhiệt độ lớp bề mặt trái đất.

Có thể thấy rằng nguyên nhân gây ra biến đổi khí hậu do các yếu tố tự nhiên là biến đổi từ từ, có chu kỳ rất dài, vì thế, nếu có, thì chỉ đóng góp một phần rất nhỏ vào biến đổi khí hậu trong giai đoạn hiện nay.



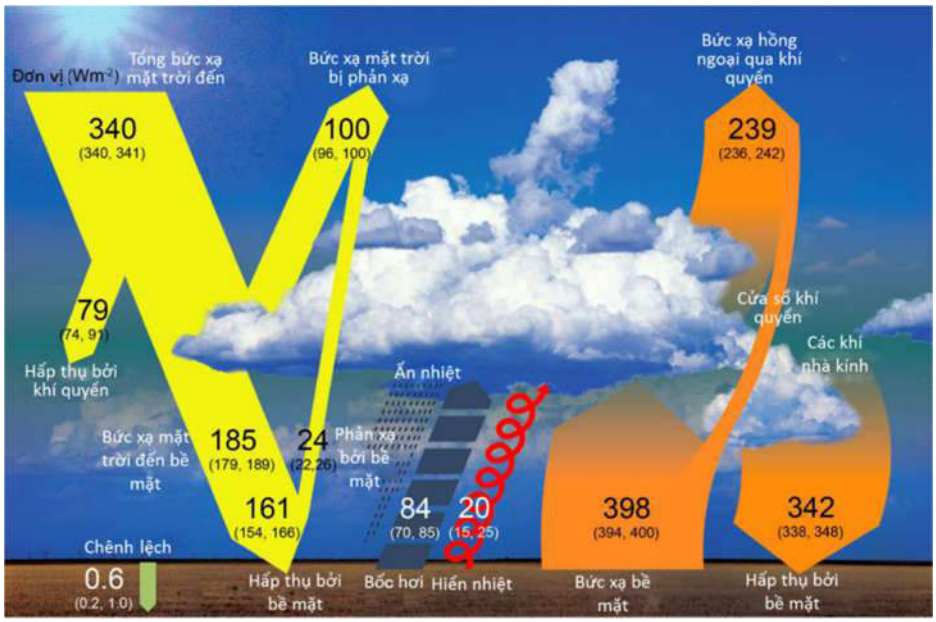
Hình 2.2. Số lượng vết đen mặt trời trung bình năm từ 1750 đến 2010
(Nguồn: NASA)

2.1.2. Biến đổi khí hậu do tác động của con người

1) Hiệu ứng nhà kính

Hiệu ứng nhà kính được định nghĩa là hiệu quả giữ nhiệt ở tầng thấp của khí quyển nhờ sự hấp thụ và phát xạ trở lại bức xạ sóng dài từ mặt đất bởi mây và các khí như hơi nước, các-bon điôxit, nitơ ôxit, mêtan và chlorofluorocarbon, làm giảm lượng nhiệt thoát ra không trung từ hệ thống trái đất, giữ nhiệt một cách tự nhiên, duy trì nhiệt độ trái đất cao hơn khoảng 30°C so với khi không có các chất khí đó (IPCC, 2013).

Các khí nhà kính trong bầu khí quyển bao gồm các khí nhà kính tự nhiên và các khí phát thải do các hoạt động của con người. Tuy các khí nhà kính tự nhiên chỉ chiếm một tỷ lệ rất nhỏ, nhưng có vai trò rất quan trọng đối với sự sống trên trái đất. Trước hết, các khí nhà kính không hấp thụ bức xạ sóng ngắn của mặt trời chiếu xuống trái đất, nhưng hấp thụ bức xạ hồng ngoại do mặt đất phát ra và phản xạ một phần lượng bức xạ này trở lại mặt đất, qua đó hạn chế lượng bức xạ hồng ngoại của mặt đất thoát ra ngoài khoảng không vũ trụ và giữ cho mặt đất khỏi bị lạnh đi quá nhiều, nhất là về ban đêm khi không có bức xạ mặt trời chiếu tới mặt đất.



Hình 2.3. Sơ đồ truyền bức xạ và các dòng năng lượng (W/m^2) trong hệ thống khí hậu
(Nguồn: IPCC, 2013)

2) Hoạt động của con người và sự nóng lên toàn cầu

Biến đổi khí hậu trong giai đoạn hiện tại là do các hoạt động của con người làm phát thải quá mức các khí nhà kính vào bầu khí quyển. Những hoạt động của con người đã tác động lớn đến hệ thống khí hậu, đặc biệt kể từ thời kỳ tiền công nghiệp (khoảng từ năm 1750). Theo IPCC, sự gia tăng khí nhà kính kể từ những năm 1950 chủ yếu có nguồn gốc từ các hoạt động của con người. Hay nói cách khác, nguyên nhân chính của sự nóng lên toàn cầu trong giai đoạn hiện nay bắt nguồn từ sự gia tăng khí nhà kính có nguồn gốc từ hoạt động của con người (IPCC, 2013).

Kể từ thời kỳ tiền công nghiệp, con người đã sử dụng ngày càng nhiều năng lượng, chủ yếu từ các nguồn nhiên liệu hóa thạch (than, dầu, khí đốt), qua đó đã phát thải vào khí quyển các khí gây hiệu ứng nhà kính, dẫn đến làm gia tăng nhiệt độ của trái đất.

Sự gia tăng nồng độ các khí nhà kính làm giảm bức xạ hồng ngoại thoát từ mặt đất ra ngoài vũ trụ, làm tăng nhiệt lượng tích lũy của trái đất và dẫn đến sự ấm lên của hệ thống khí hậu. Sự gia tăng của nhiệt độ bề mặt trái đất kéo theo nhiều thay đổi khác, như làm giảm lượng băng và diện tích được phủ băng và tuyết, làm thay đổi độ che phủ bề mặt. Do nước biển và đất có hệ số phản xạ thấp hơn so với biển băng và tuyết, nên khả năng hấp thụ năng lượng mặt trời của trái đất sẽ tăng lên. Các đại dương và bề mặt đất hấp thụ nhiều nhiệt sẽ tiếp tục làm giảm lượng băng và diện tích phủ băng và tuyết.

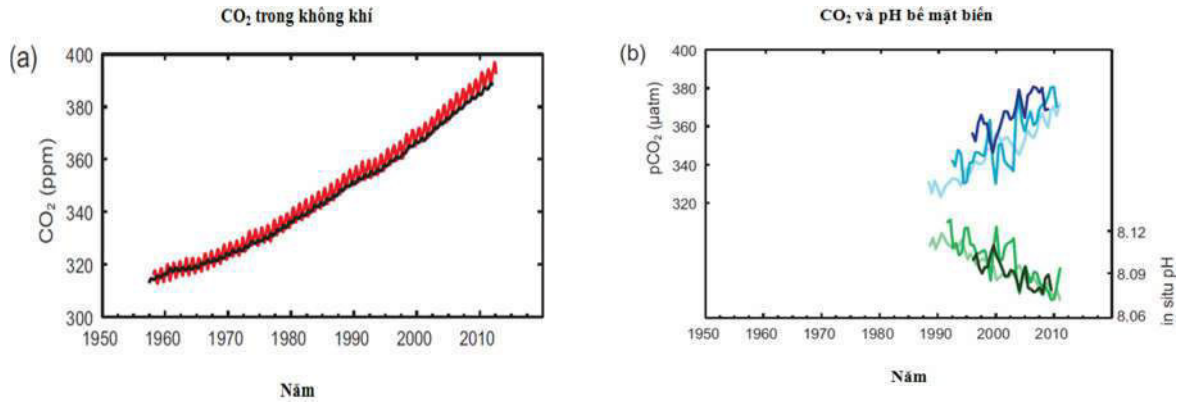
Các khí nhà kính được khống chế trong Công ước khí hậu bao gồm: các-bon điôxit (CO_2), Mê tan (CH_4), Nitơ ôxit (N_2O), Hydro fluorocarbons (HFCs), Perfluorocarbons (PFCs), Sulfur hexafluoride (SF_6).

Theo báo cáo lần thứ 5 của IPCC, nồng độ các khí nhà kính như CO_2, CH_4, và N_2O trong bầu khí quyển đã tăng với một tốc độ chưa từng có trong vòng 800.000 năm trở lại đây. Nồng độ của CO_2 đã tăng khoảng 40% so với thời kỳ tiền công nghiệp, chủ yếu là do sự phát thải từ đốt các nhiên liệu hóa thạch và thay đổi của bề mặt đệm. Đại dương đã hấp thụ khoảng 30% lượng CO_2 do con người thải ra, gây ra sự axit hóa đại dương (IPCC, 2013).

Vào năm 2011, nồng độ của các khí nhà kính như CO_2, CH_4, N_2O lần lượt là 391 ppm, 1803 ppb, và 324 ppb, tương ứng với mức tăng lần lượt là 40%, 150% và 20% so với thời kỳ

tiền công nghiệp (IPCC, 2013). Mức tăng trung bình của nồng độ khí nhà kính trong thế kỷ vừa qua là chưa từng có trong suốt 22.000 năm qua.

Từ năm 1759 đến năm 2011, lượng phát thải CO_2 vào khí quyển do sử dụng nhiên liệu hóa thạch và sản xuất xi măng là 375 tỷ tấn các-bon (GtC), trong khi chặt phá rừng và các hoạt động làm thay đổi sử dụng đất thải ra xấp xỉ 180 GtC. Tổng cộng, mức phát thải do con người vào khoảng 555 GtC (IPCC, 2013).



Hình 2.4. Nồng độ khí CO_2, áp suất riêng của CO_2 ở bề mặt đại dương và nồng độ PH

(Nguồn: IPCC, 2013)

Chú thích: (a) Nồng độ khí CO_2 tại Mauna Loa (19°32'N, 155°34'W - đỏ) và Nam cực (89°59'S, 24°48'W - đen) từ năm 1958; (b) Áp suất riêng của CO_2 ở bề mặt đại dương (đường màu xanh da trời) và nồng độ pH (đường màu xanh lá cây) - Kết quả được lấy từ 3 trạm ở Đại Tây Dương (29°10'N, 15°30'W - xanh da trời/xanh lá cây đậm; 31°40'N, 64°10'W - xanh da trời/xanh lá cây) và Thái Bình Dương (22°45'N, 158°00'W - xanh da trời/xanh lá cây nhạt)

Trong tổng lượng phát thải CO_2 do con người nói trên, khoảng 240 GtC được tích lũy trong khí quyển, 155 GtC được hấp thụ bởi đại dương và khoảng 160 GtC đã được tích lũy trong các hệ sinh thái tự nhiên trên cạn (IPCC, 2013).

Sự axit hóa của đại dương được định lượng hóa bằng sự giảm của nồng độ pH. Độ pH của bề mặt nước đại dương đã giảm 0,1 từ khi bắt đầu kỷ nguyên công nghiệp, tương ứng với mức tăng 26% của nồng độ ion hydro (IPCC, 2013).

Hơi nước (H_2O) là chất khí có đóng góp lớn nhất vào hiệu ứng nhà kính của khí quyển, nhưng hơi nước không phải là chất khí nhà kính nguy hiểm, vì lượng hơi nước tự nhiên trong khí quyển biến đổi liên tục do có thể ngưng tụ tạo thành mây và gây mưa.

Ozon (O_3) ở tầng đối lưu: Nguồn O_3 nhân tạo chủ yếu từ động cơ ôtô, xe máy hoặc các nhà máy điện. Trong tầng đối lưu, O_3 là một loại khí nhà kính mạnh nhưng vì thời gian tồn tại ngắn và biến động theo không gian và thời gian lớn, nên khó xác định được tác động bức xạ của sự tăng O_3 do hoạt động của con người. O_3 ở tầng đối lưu đóng góp khoảng +0,4 W/m^2 vào bức xạ tác động toàn cầu.

CFC và HCFC: Khác với các chất khí có nguồn gốc tự nhiên, các chất CFC và HCFC hoàn toàn là sản phẩm do con người tạo ra. Mặc dù lượng khí CFC và HCFC không lớn nhưng có xu hướng tăng lên, gây lo ngại về việc phá hủy tầng ôzôn. Tuy nhiên, nhờ việc thực hiện Nghị định thư Montreal, nồng độ của các chất khí CFC và HCFC đang có xu hướng giảm dần.

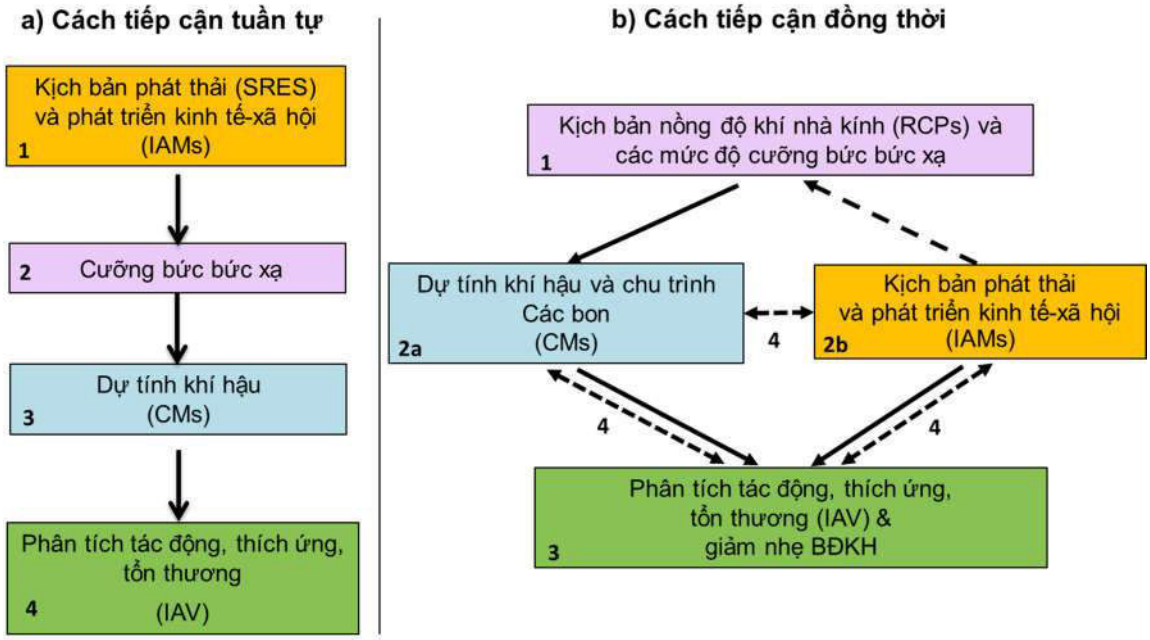
Các nhân tố khác, trong đó có các sol khí (bụi, các-bon hữu cơ, sulphat, nitrat,…) gây ra hiệu ứng âm (lạnh đi) với lượng bức xạ tác động tổng cộng trực tiếp là $0,9W/m^2$.

2.2. Kịch bản nồng độ khí nhà kính và mô hình khí hậu

2.2.1. Các kịch bản nồng độ khí nhà kính

Thay đổi nồng độ khí nhà kính trong khí quyển là yếu tố quan trọng trong dự tính biến đổi khí hậu (Wayne, 2013). Kịch bản biến đổi khí hậu được xây dựng từ các giả định về sự thay đổi trong tương lai và quan hệ giữa phát thải khí nhà kính và các hoạt động kinh tế - xã hội, tổng thu nhập quốc dân, sử dụng đất,...

Năm 1990, IPCC lần đầu tiên công bố kịch bản biến đổi khí hậu trong báo cáo lần thứ nhất (IPCC Scenarios - 1990) và bổ sung vào năm 1992. Đến năm 2000, IPCC đưa ra tập kịch bản thế hệ thứ 2 (A1, A2, B1,...) trong Báo cáo đặc biệt về kịch bản phát thải khí nhà kính (*Special Report on Emission Scenarios - SRES*). Họ kịch bản này tiếp tục được dùng trong báo cáo lần thứ 3 năm 2001 (*Third Assessment Report - TAR*) và lần thứ 4 năm 2007 (*Fourth Assessment Report - AR4*).



Hình 2.5. Hai cách tiếp cận trong xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu của IPCC
(Moss và nnk, 2010).

Kịch bản phát thải khí nhà kính SRES được xây dựng theo cách tiếp cận tuần tự, các kịch bản phát triển kinh tế - xã hội được sử dụng làm đầu vào cho mô hình dự tính khí hậu, các kết quả dự tính khí hậu được sử dụng để phân tích tác động, đánh giá tổn thương do biến đổi khí hậu (**Hình 2.5**).

Năm 2013, IPCC công bố kịch bản cập nhật, đường phân bố nồng độ khí nhà kính đại diện (*Representative Concentration Pathways - RCP*) được sử dụng để thay thế cho các kịch bản SRES (Wayne, 2013). Các RCP được lựa chọn sao cho đại diện được các nhóm kịch bản phát thải và đảm bảo bao gồm được khoảng biến đổi của nồng độ các khí nhà kính trong tương lai một cách hợp lý. Các RCP cũng đảm bảo tính tương đồng với các kịch bản SRES (IPCC, 2007).

Các tiêu chí để xây dựng RCP (Moss và nnk, 2010), bao gồm:

(1) Các RCP phải được dựa trên các kịch bản đã được công bố trước đó, được phát triển độc lập bởi các nhóm mô hình khác nhau, và "đại diện" về mức độ phát thải và nồng độ khí nhà kính. Đồng thời, mỗi RCP phải mô tả hợp lý và nhất quán trong tương lai (không có

sự chồng chéo giữa các RCP);

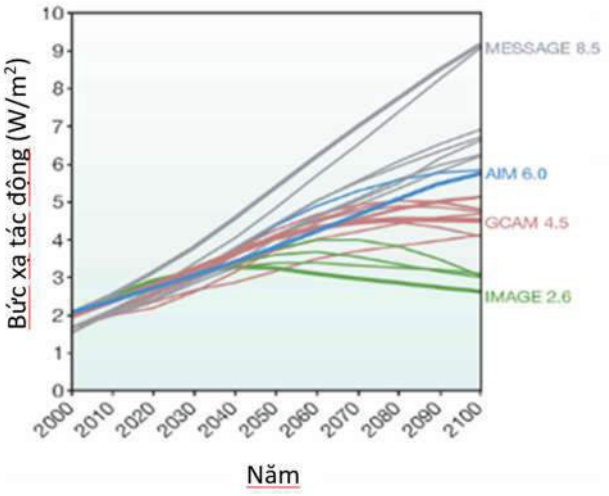
(2) Các RCP phải cung cấp thông tin về tất cả các thành phần của bức xạ tác động cần thiết để làm đầu vào của các mô hình khí hậu và mô hình hóa khí quyển (phát thải khí nhà kính, ô nhiễm không khí và sử dụng đất). Hơn nữa, những thông tin này là có sẵn đối với các khu vực địa lý;

(3) Các RCP có thể được xác định theo số liệu trong thời kỳ cơ sở đối với phát thải và sử dụng đất, cho phép chuyển đổi giữa các phân tích trong thời kỳ cơ sở và tương lai;

(4) Các RCP có thể được xây dựng cho khoảng thời gian tới năm 2100 và vài thế kỷ sau 2100.

Trên cơ sở các tiêu chí trên, bốn kịch bản RCP (RCP8.5, RCP6.0, RCP4.5, RCP2.6) đã được xây dựng. Tên các kịch bản được ghép bởi RCP và độ lớn của bức xạ tác động tổng cộng của các khí nhà kính trong khí quyển đến thời điểm vào năm 2100.

Bức xạ tác động được định nghĩa là sự thay đổi trong cân bằng năng lượng bức xạ (năng lượng nhận được từ mặt trời trừ đi năng lượng thoát vào không gian, W/m^2) tại đỉnh tầng đối lưu (ở độ cao 10-12 km so với mặt đất) do sự có mặt của các khí nhà kính hoặc chất khác (mây, hơi nước, bụi,...) trong khí quyển (**Hình 2.6**).



Hình 2.6. Thay đổi của bức xạ tác động
(Nguồn: IPCC, 2013)

Kịch bản nồng độ khí nhà kính cao (RCP8.5) được phát triển bởi Viện Phân tích hệ thống ứng dụng quốc tế, Úc. Kịch bản RCP8.5 được đặc trưng bởi bức xạ tác động tăng liên tục từ đầu thế kỷ và đạt 8,5W/m^2 vào năm 2100, tiếp tục tăng tới 13W/m^2 vào năm 2200 và ổn định sau đó. Kịch bản RCP8.5 tương đương với SRES A1FI (Riahi và nnk, 2007).

Kịch bản nồng độ khí nhà kính trung bình cao (RCP6.0) được phát triển bởi nhóm nghiên cứu mô hình AIM tại Viện Nghiên cứu Môi trường (NIES), Nhật Bản. RCP6.0 là một trong hai kịch bản trung bình với bức xạ tác động ổn định. Bức xạ tác động trong RCP6.0 tăng tới mức khoảng 6,0W/m^2 vào năm 2100 và ổn định sau đó với giả thiết là áp dụng các công nghệ và chiến lược giảm phát thải khí nhà kính. Kịch bản RCP6.0 tương đương với kịch bản SRES B2 (Fujino và nnk, 2006; Hijioka và nnk, 2008).

Kịch bản nồng độ khí nhà kính trung bình thấp (RCP4.5) được phát triển bởi nhóm nghiên cứu mô hình GCAM tại Phòng thí nghiệm quốc tế Tây Bắc Thái Bình Dương, Viện Nghiên cứu Biến đổi toàn cầu (JGCRI), Hoa Kỳ. Đây cũng là kịch bản có bức xạ tác động ổn định, trong đó tổng bức xạ tác động đạt tới mức khoảng 4,5W/m^2 vào năm 2065 và ổn định tới năm 2100 và sau đó, không có sự tăng đột ngột trong một thời gian dài. Kịch bản RCP4.5 tương đương với SRES B1 (Clarke và nnk, 2007).

Kịch bản nồng độ khí nhà kính thấp (RCP2.6) được phát triển bởi nhóm mô hình IMAGE của Cơ quan đánh giá môi trường Hà Lan (PBL). Trong RCP2.6, bức xạ tác động đạt đến giá trị khoảng 3,1W/m^2 vào giữa thế kỷ, sau đó giảm về giá trị 2,6 W/m^2 vào năm 2100 và tiếp tục giảm sau đó. Để đạt được mức bức xạ tác động thấp này, phát thải khí nhà kính phải giảm một cách đáng kể theo thời gian. Không có kịch bản SRES tương đương với kịch

bản RCP2.6 (Van Vuuren và nnk, 2011).

Các đặc trưng của kịch bản RCP và so sánh giữa các kịch bản RCP và các kịch bản SRES được trình bày trong **Bảng 2.1**.

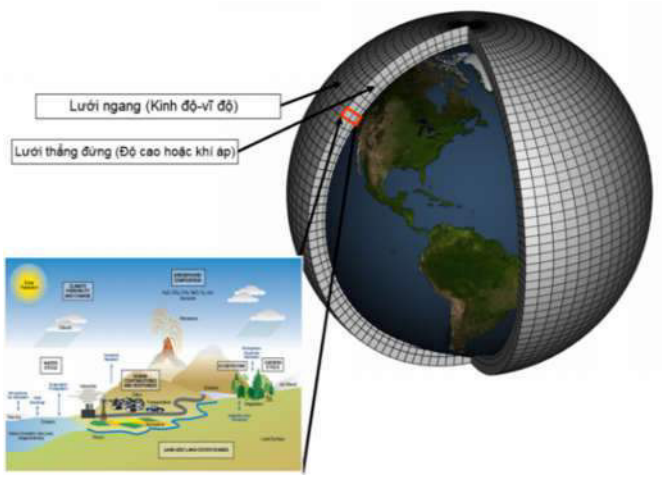
Bảng 2.1. Đặc trưng các kịch bản, mức tăng nhiệt độ so với thời kỳ tiền công nghiệp

RCP	Bức xạ tác động năm 2100	Nồng độ CO_{2td} năm 2100 (ppm)	Tăng nhiệt độ toàn cầu (°C) vào năm 2100 so với thời kỳ cơ sở (1986-2005)	Đặc điểm đường phân bố cưỡng bức bức xạ tới năm 2100	Kịch bản SRES tương đương
RCP8.5	8,5 W/m^2	1370	4,9	Tăng liên tục	A1FI
RCP6.0	6,0 W/m^2	850	3,0	Tăng dần rồi ổn định	B2
RCP4.5	4,5 W/m^2	650	2,4	Tăng dần rồi ổn định	B1
RCP2.6	2,6 W/m^2	490	1,5	Đạt cực đại 3,0 W/m^2 rồi giảm	Không có tương đương

2.2.2. Mô hình khí hậu toàn cầu

Mô hình hóa khí hậu là sự biểu diễn hệ thống khí hậu bằng các phương trình toán học mô tả các quá trình vật lý, hóa học, sinh học,… xảy ra trong hệ thống khí hậu (**Hình 2.7**). Các mô hình khí hậu có nguồn gốc từ mô hình hoàn lưu chung khí quyển (General Circulation Model). Sau đó, mô hình khí hậu toàn cầu (Global Climate Model - GCM) được dùng để ký hiệu cho loại mô hình khí hậu, trong đó hoàn lưu chỉ là một trong những thành phần chủ yếu. GCM mô tả các đặc trưng khí quyển và đại dương với lưới 3 chiều, độ phân giải phổ biến khoảng 200km và số mực thẳng đứng từ 20-50 mực (CSIRO, 2015).

GCM được xây dựng với mục đích mô tả đầy đủ đặc tính ba chiều của hệ thống khí hậu, gồm ít nhất hai thành phần quan trọng là khí quyển và đại dương. Ban đầu, GCM được xây dựng với mục đích dự báo thời tiết hạn vài ngày. Các mô hình đã từng bước được hoàn thiện và tăng mức độ phức tạp để mô tả đầy đủ hơn quá trình vật lý và hóa học của hệ thống khí hậu. Hiện nay, các GCM đã và đang được ứng dụng rộng rãi trong nghiên cứu mô phỏng khí hậu quá khứ và hiện tại, dự báo khí hậu hạn mùa và hạn xa hơn (khoảng vài thập kỷ).

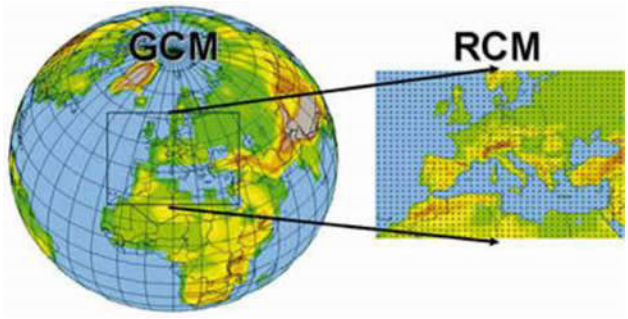


Hình 2.7. Sơ đồ minh họa các thành phần của mô hình khí hậu toàn cầu
(Nguồn: https://www.wmo.int)

Vào những năm 1980 cùng với sự ra đời của Nhóm nghiên cứu về biến đổi khí hậu của IPCC, GCM được áp dụng trong nghiên cứu tác động dài hạn của sự tích lũy khí nhà kính trong khí quyển do các hoạt động sản xuất công nghiệp và đốt nhiên liệu hóa thạch. Đại dương là một trong những thành phần quan trọng đối với hệ thống khí hậu, mô hình hoàn lưu chung đại dương (*Atmosphere - Ocean General Circulation Model - OGCM*) được ghép với mô hình hoàn lưu chung khí quyển (*General Circulation Models of the Atmosphere - AGCM*) để thành hệ thống mô hình kết hợp khí quyển - đại dương (*Atmosphere - Ocean General Circulation Model - AOGCM*).

Mặc dù đã đạt được nhiều tiến bộ về mô phỏng khí hậu trong quá khứ và dự tính khí hậu trong tương lai, tuy nhiên, hầu hết các GCM đều có độ phân giải thấp (thường khoảng từ 2,5°-3,7° kinh vĩ) nên không thể mô tả tốt các đặc trưng khu vực như khí hậu gió mùa, địa hình, hệ sinh thái phức tạp và hơn nữa là tác động của con người.

Vì vậy, các mô hình khí hậu khu vực (*Regional Climate Model - RCM*) được xây dựng nhằm nghiên cứu chi tiết hơn khí hậu khu vực. Phương pháp lồng ghép giữa GCM và RCM được gọi là chi tiết hóa động lực (*Dynamical Downscaling*). **Hình 2.8** minh họa phương pháp sử dụng RCM để chi tiết hóa cho khu vực, với trường đầu vào là từ GCM.



Hình 2.8. Sơ đồ minh họa phương pháp lồng RCM vào GCM
(Nguồn: https://www.wmo.int)

2.2.3. Tổ hợp mô hình khí hậu của IPCC

Đáp ứng đề xuất của Nhóm công tác về mô hình hóa kết hợp - WGCM (*Working Group on Coupled Modelling*) thuộc Chương trình Nghiên cứu Khí hậu Thế giới - WCRP (*World Climate Research Programme*), Dự án Đối chứng các Mô hình Khí hậu (*Couple Model Intercomparison Project - CMIP*) được triển khai nhằm nghiên cứu thử nghiệm đầu ra của các mô hình (AOGCM). Chương trình Đối chứng và Chẩn đoán Mô hình Khí hậu (*Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison - PCMDI*) lưu trữ các dữ liệu CMIP và cung cấp các hỗ trợ khác cho CMIP. Kết quả tính toán của các mô hình khí hậu, gồm khí hậu giai đoạn quá khứ, hiện tại và tương lai, được PCMDI tổ chức thành bộ dữ liệu lần 3 của CMIP. CMIP3 bao gồm tổ hợp của 24 mô hình từ 17 nhóm của 12 quốc gia khác nhau và được sử dụng trong báo cáo đánh giá lần thứ 4 (AR4) của IPCC (Meehl và nnk, 2007).

CMIP5 (*Couple Model Intercomparison Project Phase 5*) là dự án được xây dựng tiếp nối trên sự thành công của các pha CMIP trước đó, thay thế cho CMIP3 trong AR5 của IPCC (Meehl và nnk, 2000, 2005). Mặc dù CMIP5 chưa tập hợp được đầy đủ các mô hình khí hậu toàn cầu hiện nay, nhưng đã cho những kết quả mô phỏng và dự tính khí hậu tương đối tốt. Các mô hình khí hậu của dự án CMIP5 vẫn đang được tiếp tục hoàn thiện nhằm cung cấp những thông tin có giá trị cho cả ba nhóm công tác của IPCC.

CMIP5 được thực hiện với tổ hợp của hơn 50 mô hình toàn cầu từ hơn 20 nhóm mô hình khác nhau, trong đó có khoảng 47 mô hình có sẵn số liệu (**Bảng 2.2**) (CSIRO, 2015). Điểm khác biệt quan trọng của CMIP5 so với CMIP3 là các mô hình trong CMIP5 được tính toán theo các kịch bản nồng độ khí nhà kính RCP. Về mặt khoa học, CMIP5 tập trung vào ba khía cạnh chính mà CMIP3 còn hạn chế, cụ thể là: (i) Đánh giá cơ chế quyết định sự khác biệt trong mô phỏng của các mô hình đối với chu trình các-bon và mây; (ii) Đánh giá khả năng mô phỏng của mô hình đối với các hiện tượng có quy mô thập kỷ; và (iii) Tìm nguyên nhân dẫn tới việc các mô hình mô phỏng rất khác nhau đối với cùng một kịch bản (http://cmip-pcmdi.llnl.gov).

Bảng 2.2. Các mô hình toàn cầu được sử dụng trong báo cáo AR5

(Nguồn: IPCC, 2013)

STT	Mô hình	Cơ quan	Độ phân giải - Đại dương (º)	Độ phân giải - Khí quyển (º)	Kích thước ô lưới khu vực xích đạo (km)
1	ACCESS-1.0	CSIRO-BOM, Úc	1,0 x 1,0	1,9 x 1,2	210 x 130
2	ACCESS-1.3	CSIRO-BOM, Úc	1,0 x 1,0	1,9 x 1,2	210 x 130
3	BCC- CSM1-1	BCC, CMA, Trung Quốc	1,0 x 1,0	2,8 x 2,8	310 x 310
4	BCC-CSM1-1-M	BCC, CMA, Trung Quốc	1,0 x 1,0	1,1 x 1,1	120 x 120
5	BNU-ESM	BNU, Trung Quốc	0,9 x 1,0	2,8 x 2,8	310 x 310
6	CanCM4	CCCMA, Canada	1,4 x 0,9	2,8 x 2,8	310 x 310
7	CanESM2	CCCMA, Canada	1,4 x 0,9	2,8 x 2,8	310 x 310
8	CCSM4	NCAR, Mỹ	1,1 x 0,6	1,2 x 0,9	130 x 100
9	CESM1-BGC	NSF-DOE-NCAR, Mỹ	1,1 x 0,6	1,2 x 0,9	130 x 100
10	CESM1-CAMS	NSF-DOE-NCAR, Mỹ	1,1 x 0,6	1,2 x 0,9	130 x 100
11	CESM1-FASTCHEM	NSF-DOE-NCAR, Mỹ	1,1 x 0,6	1,2 x 0,9	130 x 100
12	CESM1-WACCM	NSF-DOE-NCAR, Mỹ	1,1 x 0,6	2,5 x 1,9	275 x 210
13	CMCC-CESM	CMCC, Italy	2,0 x 1,9	3,7 x 3,7	410 x 410
14	CMCC-CM	CMCC, Italy	2,0 x 1,9	0,7 x 0,7	78 x 78
15	CMCC-CMS	CMCC, Italy	2,0 x 2,0	1,9 x 1,9	210 x 210
16	CNRM-CMS	CNRM- CERFACS, Pháp	1,0 x 0,8	1,4 x 1,4	155 x 155
17	CNRM-CMS-2	CNRM- CERFACS, Pháp	1,0 x 0,8	1,4 x 1,4	155 x 155
18	CSIRO-Mk3-6-0	CSIRO- QCCCE, Úc	1,9 x 0,9	1,9 x 1,9	210 x 210
19	EC-EARTH	EC-EARTH, Úc	1,0 x 0,8	1,1 x 1,1	120 x 120
20	FIO-ESM	FIO, SOA, Trung Quốc	1,1 x 0,6	2,8 x 2,8	310 x 310
21	GFDL-CM2p1	NOAA, GFDL, Mỹ	1,0 x 1,0	2,5 x 2,0	275 x 220
22	GFDL-CM3	NOAA, GFDL, Mỹ	1,0 x 1,0	2,5 x 2,0	275 x 220
23	GFDL-ESM2G	NOAA, GFDL, Mỹ	1,0 x 1,0	2,5 x 2,0	275 x 220
24	GFDL-ESM2M	NOAA, GFDL, Mỹ	1,0 x 1,0	2,5 x 2,0	275 x 220
25	GISS-E2-H	NASA/GISS, NY, Mỹ	2,5 x 2,0	2,5 x 2,0	275 x 220
26	GISS-E2-H-CC	NASA/GISS, NY, Mỹ	1,0 x 1,0	1,0 x 1,0	110 x 110
27	GISS-E2-R	NASA/GISS, NY, Mỹ	2,5 x 2,0	2,5 x 2,0	275 x 220
28	GISS-E2-R-CC	NASA/GISS, NY, Mỹ	1,0 x 1,0	1,0 x 1,0	110 x 110
29	HadCM3	MOHC, UK	1,2 x 1,2	3,7 x 2,5	410 x 280
30	HadGEM2-AO	NIMR-KMA, Hàn Quốc	1,0 x 1,0	1,9 x 1,2	210 x 130
31	HadGEM2-CC	MOHC, Anh	1,0 x 1,0	1,9 x 1,2	210 x 130
32	HadGEM2-ES	MOHC, Anh	1,0 x 1,0	1,9 x 1,2	210 x 130
33	INMCM4	INM, Nga	0,8 x 0,4	2,0 x 1,5	220 x 165
34	IPSL-CMSA-LR	IPSL, Pháp	2,0 x 1,9	3,7 x 1,9	410 x 210
35	IPSL-CMSA-MR	IPSL, Pháp	1,6 x 1,4	2,5 x 1,3	275 x 145
36	IPSL-CMSB-LR	IPSL, Pháp	2,0 x 1,9	3,7 x 1,9	410 x 210
37	MIROC4h	JAMSTEC, Nhật Bản	0,3 x 0,2	0,56 x 0,56	60 x 60
38	MIROCS	JAMSTEC, Nhật Bản	1,6 x 1,4	1,4 x 1,4	155 x 155
39	MIROC-ESM	JAMSTEC, Nhật Bản	1,4 x 0,9	2,8 x 2,8	310 x 310
40	MIROC-ESM-CHEM	JAMSTEC, Nhật Bản	1,4 x 0,9	2,8 x 2,8	310 x 310
41	MPI-ESM-LR	MPI-N, Đức	1,5 x 1,5	1,9 x 1,9	210 x 210
42	MPI-ESM-MR	MPI-N, Đức	0,4 x 0,4	1,9 x 1,9	210 x 210
43	MPI-ESM-P	MPI-N, Đức	1,5 x 1,5	1,9 x 1,9	210 x 210
44	MRI-CGCM3	MRI, Nhật Bản	1,0 x 0,5	1,1 x 1,1	120 x 120
45	MRI-ESM1	MRI, Nhật Bản	1,0 x 0,5	1,1 x 1,1	120 x 120
46	NorESM1-M	NCC, Nauy	1,1 x 0,6	2,5 x 1,9	275 x 210
47	NorESM1-ME	NCC, Nauy	1,1 x 0,6	2,5 x 1,9	275 x 210

Thông tin về số lượng các mô hình trong CMIP5 có sẵn số liệu có thể khai thác đối với mô phỏng thời kỳ lịch sử và dự tính tương lai theo các kịch bản RCP cho từng biến khác nhau được trình bày trong **Bảng 2.3**. Tùy thuộc khả năng lưu trữ mỗi mô hình có thể cung cấp dữ liệu với các quy mô thời gian khác nhau, bao gồm:

- Đối với số liệu tháng bao gồm 9 biến: **hurs** (độ ẩm tương đối bề mặt), **pr** (lượng mưa), **psl** (áp suất bề mặt), **rsds** (năng lượng bức xạ đi xuống bề mặt), **tas** (nhiệt độ không khí bề mặt), **tasmin** và **tasmax** (nhiệt độ không khí bề mặt cực tiểu và cực đại), **uas** và **vas** (gió kinh hướng và vĩ hướng).
- Đối với số liệu ngày cho các biến cực trị bao gồm 8 biến: **rx1day** (lượng mưa ngày lớn nhất), **rx1day-RV20** (giá trị lượng mưa ngày lớn nhất trong 20 năm trở lại), **txx** (cực trị năm của nhiệt độ cực đại ngày), **txx-RV20** (giá trị txx trong 20 năm trở lại), **tnn** (cực trị năm của nhiệt độ cực tiểu ngày), **tnn-RV20** (giá trị tnn trong 20 năm trở lại), **sfcWindmax** (tốc độ gió bề mặt cực đại hàng năm), **sfcWindmax-RV20** (giá trị sfcWindmax trong 20 trở lại).

Bảng 2.3 cho thấy, không phải tất cả các mô hình của các trung tâm trên thế giới đều tạo ra dữ liệu có sẵn theo tháng và ngày như nhau. Ví dụ như dữ liệu mưa tháng có sẵn ở 48 mô hình, trong khi đó dữ liệu mưa ngày cực đại chỉ có sẵn ở 31 mô hình.

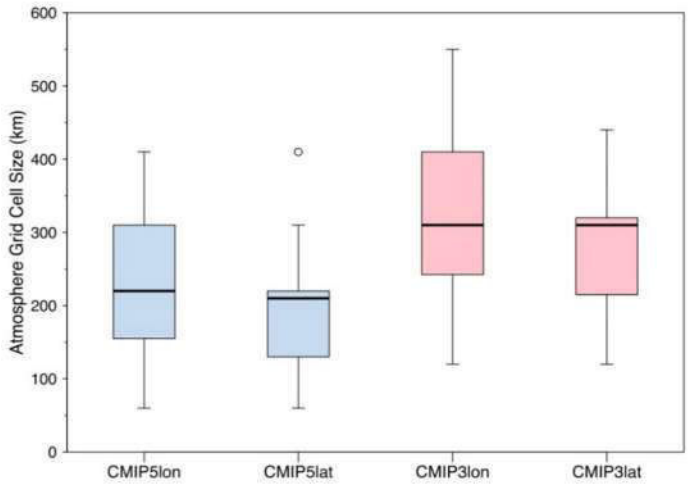
Độ phân giải của các mô hình đã được cải thiện đáng kể từ CMIP3 đến CMIP5. Tính trung bình tất cả các mô hình, độ phân giải tăng thể hiện qua sự giảm kích thước ô lưới từ 300×300km (CMIP3) xuống còn 200×200km (CMIP5) và hiện nay một số mô hình toàn cầu có độ phân giải nhỏ hơn 100km (**Hình 2.9**).

Bảng 2.3. Số lượng các mô hình có sẵn số liệu của CMIP5

Trường dữ liệu tháng	hurs	pr	psl	rsds	tas	tasmax	tasmin	uas	vas
Dữ liệu quá khứ	37	47	46	45	46	42	42	19	19
RCP4.5	31	38	38	37	38	36	36	23	23
RCP8.5	30	39	39	39	37	37	36	24	24
RCP6.0	18	21	21	21	21	20	19	13	13
RCP2.6	20	28	27	26	28	24	24	18	18
Trường dữ liệu ngày (cực trị)	**rxlday**	**rxlday-RV20**	**txx**	**txx-RV20**	**tnn**	**tnn-RV20**	**sfcWind max**	**sfcWind max-RV20**	
Dữ liệu quá khứ	25	25	27	27	27	27	22	22	
RCP4.5	21	22	23	24	23	23	18	15	
RCP8.5	24	24	25	26	26	26	18	17	
RCP6.0	-	-	-	-	-	-	3	3	
RCP2.6	-	-	-	-	-	-	12	12	

Ghi chú: "-" thể hiện không có mô hình nào

Như vậy, so với CMIP3, các tính toán trong CMIP5 bao gồm cả thành phần hóa sinh cho chu trình các-bon trong đất, khí quyển và đại dương. Các kịch bản phát thải khí nhà kính trong CMIP3 được thay thế bởi kịch bản nồng độ khí nhà kính mới (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 và RCP8.5) trong CMIP5. Số lượng mô hình trong CMIP5 tăng lên gần gấp đôi so với CMIP3 với độ phân giải cao hơn. Lưới hệ thống trái đất (Earth System Grid) cho phép người dùng truy cập và khai thác dữ liệu CMIP của các trung tâm trên thế giới, thông tin chi tiết có thể tham khảo tại www. earthsystemgrid.org/about/overview.htm.



Hình 2.9. Kích thước ô lưới GCM (km) của các mô hình trong CMIP5

(Nguồn: Climate Change in Australia, 2015)

Chú thích: Phần diện tích hộp thể hiện khoảng độ phân giải của 50% các mô hình, đường ngang ở giữa là kích thước ô lưới trung bình; Chấm tròn thể hiện trường hợp có mô hình có độ phân giải cao hơn hoặc thấp hơn nhiều so với các mô hình khác

2.3. Biến đổi khí hậu và nước biển dâng quy mô toàn cầu

2.3.1. Xu thế biến đổi khí hậu và nước biển dâng theo số liệu quá khứ

1) Xu thế biến đổi khí hậu quy mô toàn cầu

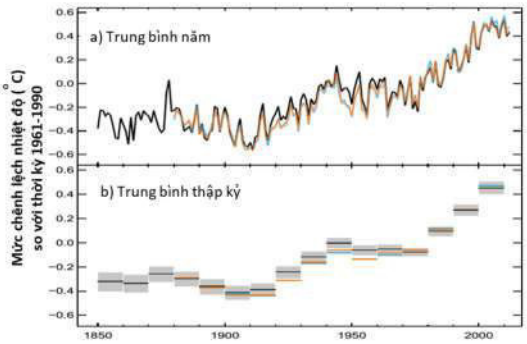
a) Nhiệt độ

Theo báo cáo AR5, nhiệt độ trung bình toàn cầu có xu thế tăng lên rõ rệt kể từ những năm 1950, nhiều kỷ lục thời tiết và khí hậu cực đoan đã được xác lập trong vài thập kỷ qua. Khí quyển và đại dương ấm lên, lượng tuyết và băng giảm, mực nước biển tăng, nồng độ các khí nhà kính tăng (IPCC, 2013).

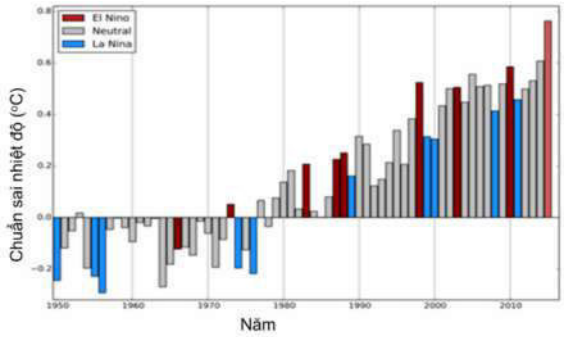
Biến đổi của nhiệt độ có xu thế chung là tăng nhanh hơn ở vùng vĩ độ cao so với vùng vĩ độ thấp; tăng nhanh hơn ở các vùng sâu trong lục địa so với vùng ven biển và hải đảo; nhiệt độ tối thấp tăng nhanh hơn so với nhiệt độ tối cao. Báo cáo AR5 (IPCC, 2013) tiếp tục khẳng định số ngày và số đêm lạnh có xu thế giảm; số ngày và số đêm nóng, số đợt nắng nóng có xu thế tăng trên quy mô toàn cầu. Cùng với sự tăng nhanh của nhiệt độ, diện tích băng cũng có xu thế giảm, giảm đáng kể nhất trong những năm gần đây.

Hộp 1. Tóm tắt các biểu hiện chính của biến đổi khí hậu toàn cầu (IPCC, 2013)

- Nhiệt độ trung bình toàn cầu tăng khoảng 0,89°C (dao động từ 0,69 đến 1,08°C) trong thời kỳ 1901-2012.
- Nhiệt độ trung bình toàn cầu có chiều hướng tăng nhanh đáng kể từ giữa thế kỷ 20 với mức tăng khoảng 0,12°C/thập kỷ trong thời kỳ 1951-2012.
- Giáng thủy trung bình toàn cầu kể từ năm 1901 có xu thế tăng ở vùng lục địa vĩ độ trung bình thuộc bắc bán cầu.
- Số ngày và số đêm lạnh có xu thế giảm, số ngày và số đêm nóng cùng với hiện tượng nắng nóng có xu thế tăng rõ rệt trên quy mô toàn cầu từ khoảng năm 1950. Mưa lớn có xu thế tăng trên nhiều khu vực, nhưng lại giảm ở một số ít khu vực.

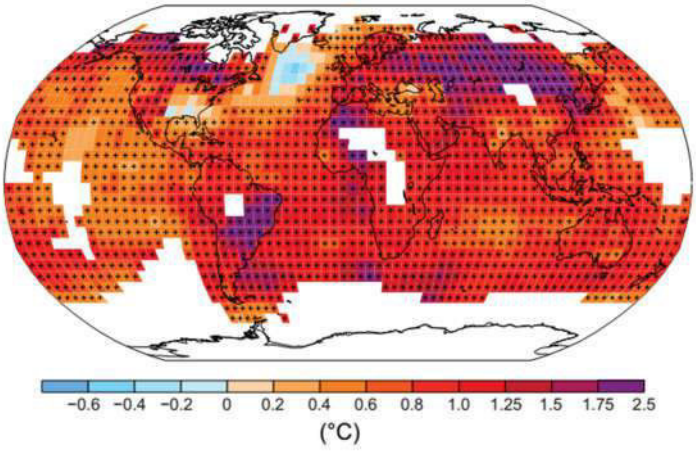


Hình 2.10. Chuẩn sai nhiệt độ trung bình toàn cầu thời kỳ 1850-2012 (so với thời kỳ 1961-1990)
(Nguồn: IPCC, 2013)



Hình 2.11. Chuẩn sai nhiệt độ trung bình toàn cầu (°C) thời kỳ 1950-2015
(Nguồn: WMO, 2016)

Theo thông báo của Tổ chức Khí tượng Thế giới (WMO, 2016), những năm nóng kỷ lục đều được ghi nhận là xảy ra trong những năm gần đây, đặc biệt là những năm đầu của thế kỷ 21. Trong đó, năm 2015 được ghi nhận là năm nóng nhất theo lịch sử quan trắc, với chuẩn sai nhiệt độ trung bình năm toàn cầu đạt giá trị khoảng 0,76°C.



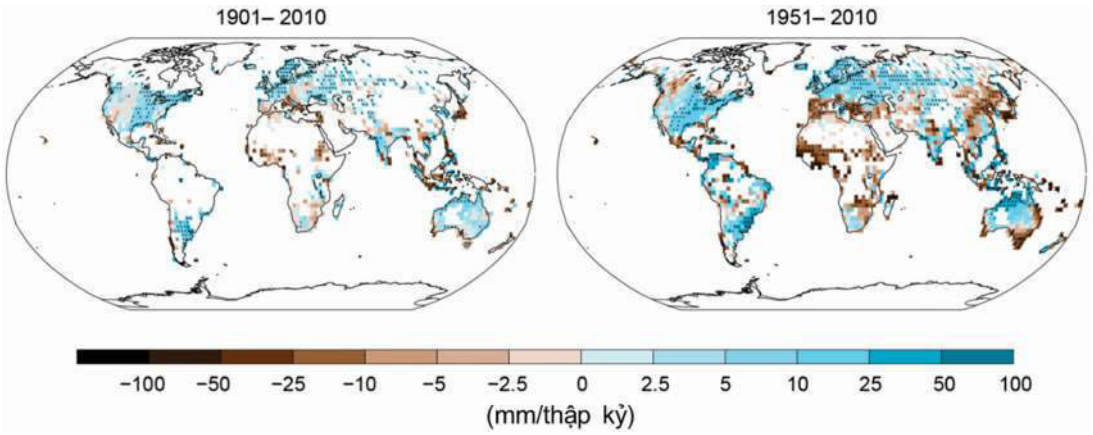
Hình 2.12. Biến đổi của nhiệt độ trung bình năm thời kỳ 1901-2012
(Nguồn: IPCC, 2013)

Chú thích: Các ô lưới được thể hiện (được tô màu) nếu đảm bảo điều kiện: có đủ tối thiểu 70% số liệu trong thời kỳ 1901-2012; trong đó, tối thiểu giai đoạn đầu chỉ được thiếu 20% số liệu và giai đoạn cuối thiếu 10% số liệu. Những ô lưới màu trắng (không được tô màu) là những ô không đảm bảo điều kiện tính toán. Những ô được đánh dấu + là những ô lưới có xu thế biến đổi ở mức ý nghĩa 10% (hay mức tin cậy 90%) trở lên.

b) Lượng mưa

Lượng mưa có xu thế tăng ở đa phần các khu vực trên quy mô toàn cầu trong thời kỳ 1901-2010. Trong đó, xu thế tăng rõ ràng nhất ở các vùng vĩ độ trung bình và cao; ngược lại, nhiều khu vực nhiệt đới có xu thế giảm. Xu thế tăng/giảm của lượng mưa phản ánh rõ ràng hơn trong giai đoạn 1951-2010 so với giai đoạn 1901-2010. Trong đó, xu thế tăng rõ ràng nhất ở khu vực Châu Mỹ, Tây Âu, Úc; xu thế giảm rõ ràng nhất ở khu vực Châu Phi và Trung Quốc.

IPCC cũng tiếp tục khẳng định số vùng có số đợt mưa lớn tăng nhiều hơn số vùng có số đợt mưa lớn giảm. Hạn hán không có xu thế rõ ràng do hạn chế về số liệu quan trắc và đánh giá hạn. Xu thế về tần số bão là chưa rõ ràng, tuy nhiên gần như chắc chắn rằng số cơn bão mạnh cũng như cường độ của các cơn bão mạnh đã tăng lên (IPCC, 2013).



Hình 2.13. Biến đổi của lượng mưa năm thời kỳ 1901-2010 và thời kỳ 1951-2010
(được tính toán và hiển thị tương tự như Hình 2.12)
(Nguồn: IPCC, 2013)

2) Xu thế biến đổi mực nước biển quy mô toàn cầu

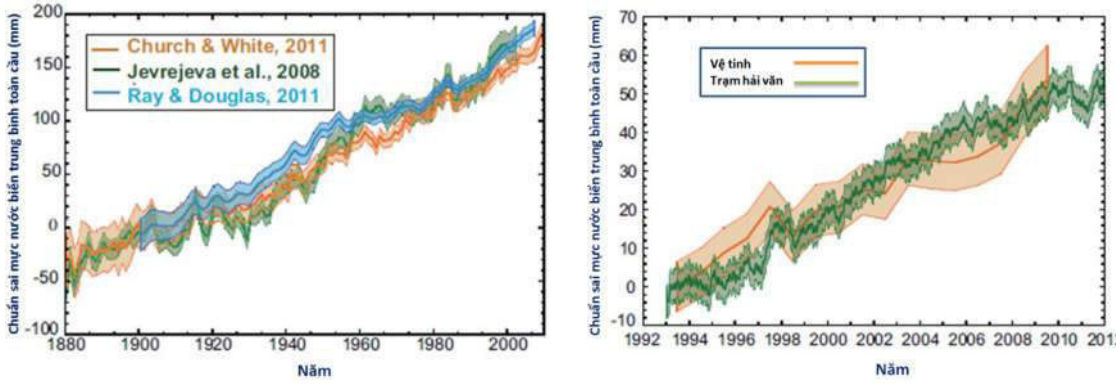
Trong quá khứ, mực nước biển trên thế giới đã có những thay đổi với quy mô thời gian khoảng vài trăm đến vài ngàn năm. Mực nước biển đã thay đổi hơn 100m do sự biến động của lượng băng trên trái đất qua các thời kỳ băng hà (Foster và Rohling, 2013, Rohling và nnk, 2009).

Từ sau thời kỳ băng hà cuối cùng, khoảng 2000 đến 6000 năm trước, mực nước biển đã tăng lên hơn 120m (Lambeck và nnk, 2002), sau đó giảm dần. Khoảng 1000 năm trở lại đây, mực nước biển trung bình toàn cầu biến động không quá 0,25m (Woodroffe và nnk, 2012, Masson-Delmotte và nnk, 2010).

Hộp 2. Tóm tắt xu thế biến đổi mực nước biển quy mô toàn cầu (IPCC, 2013)

- Giai đoạn 1901 - 2010, mực nước biển trung bình toàn cầu tăng khoảng 19cm với tốc độ tăng trung bình là 1,7mm/năm.
- Trong giai đoạn 1993 -2010, mực nước biển trung bình toàn cầu tăng 3,2mm/năm.

Số liệu quan trắc mực nước biển tại các trạm đo mực nước ven biển (Jevrejeva và nnk, 2008, Woodworth, 1999) và các vùng ngập ven biển (Gehrels và Woodworth, 2013) cho thấy mực nước biển có xu thế thay đổi từ khoảng 0,1 đến 0,25mm/thập kỷ trong giai đoạn từ cuối thế kỷ 19 đến đầu thế kỷ 20.



(a) giai đoạn từ 1880 đến 2010 *(b) giai đoạn 1993 đến 2010*

Hình 2.14. Xu thế biến đổi mực nước biển trung bình toàn cầu
(Nguồn: IPCC, 2013)

Mực nước biển tại các trạm quan trắc toàn cầu trong giai đoạn 1900 - 2010 đã tăng khoảng 1,7 ± 0,2mm/năm (Church và White, 2006; Church và White, 2011, Jevrejeva và nnk, 2012a, Ray và Douglas, 2011), với xu thế tăng rõ nét trong giai đoạn 1920 - 1950 và đặc biệt tăng mạnh từ năm 1993 trở lại đây. Xu thế mực nước biển tăng mạnh trong giai đoạn 1993 trở lại đây cũng được khẳng định trong các đánh giá về xu thế biến động mực nước biển từ số liệu vệ tinh (**Hình 2.14** a và b).

Hình 2.15. Xu thế biến đổi mực nước biển trung bình theo số liệu quan trắc

(Nguồn: http://tidesandcurrents.noaa.gov/sltrends/sltrends.html)

Số liệu tại các trạm quan trắc mực nước biển cho thấy mực nước biển có xu thế tăng toàn cầu. Tuy nhiên sự gia tăng mực nước biển là không đồng nhất giữa các khu vực, cá biệt tại một số trạm mực nước có xu thế giảm. Nguyên nhân là do quá trình khối băng tan vào đại dương làm thay đổi lực tải lên lớp vỏ trái đất, dẫn đến sự phản ứng lại của lớp vỏ trái đất đến lớp chất lỏng trên đại dương làm mực nước biển tương đối giảm mạnh ngay tại các khu vực có băng tan như Alaska, Scandinavia nhưng lại gây tăng tại hầu hết các khu vực khác trên toàn cầu (**Hình 2.15**).

2.3.2. Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng của IPCC

Năm 2013, IPCC đã công bố Báo cáo của Nhóm 1 (*Working Group 1 - WG1*), một trong 3 báo cáo chính của Báo cáo AR5. Báo cáo AR5-WG1 được xây dựng trên nền Báo cáo AR4 có bổ sung những kết quả nghiên cứu mới. Những kết quả cơ bản được nêu trong AR5 là: biểu hiện của biến đổi khí hậu và nước biển dâng; các kịch bản khí nhà kính; phương pháp xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng; kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng trong các thời kỳ, đầu, giữa và cuối thế kỷ 21; tính chưa chắc chắn của các kịch bản; Atlas biến đổi khí hậu toàn cầu và khu vực.

Phương pháp xây dựng kịch bản trong AR5 là sử dụng mô hình hoàn lưu chung khí quyển GCM, mô hình khí hậu khu vực, mô hình đại dương toàn cầu (25 - 42 mô hình) và các phương pháp chi tiết hóa thống kê. Thời kỳ cơ sở được lựa chọn để so sánh là thời kỳ 1986 - 2005. Kịch bản được xây dựng cho các thời kỳ trong tương lai: (1) Thời kỳ đầu thế kỷ 21 (tương lai gần, 2016 - 2035); (2) Thời kỳ giữa thế kỷ (tương lai vừa, 2046 - 2065); (3) Thời kỳ cuối thế kỷ (tương lai xa, 2081 - 2100).

Các yếu tố chính được dự xét đến là nhiệt độ, lượng mưa trung bình, các cực trị khí hậu, mực nước biển dâng, diện tích băng, các thành phần hóa khí quyển, hoạt động của gió mùa, ENSO, bão và áp thấp nhiệt đới,…

Kịch bản nước biển dâng trong AR5 được xây dựng dựa trên kết quả mô phỏng từ 21 mô hình AOGCM. AOGCM có các thành phần đại diện cho đại dương, khí quyển, đất, băng quyển, và mô phỏng thay đổi độ cao bề mặt tương đối so với mặt nước biển tĩnh từ các lực cưỡng bức tự nhiên như hoạt động phun trào núi lửa và thay đổi bức xạ mặt trời, và do các hoạt động của con người làm tăng nồng độ khí nhà kính cũng như sol khí. AOGCM cũng xét đến những biến thiên khí hậu có nguồn gốc nội sinh, bao gồm El Nino và Dao động Nam (ENSO), Dao động thập kỷ Thái Bình Dương (PDO), Dao động Bắc Đại Tây Dương (NAO) và các dao động khác tác động lên mực nước biển (White và nnk, 2005; Zhang và Church, 2012). Các thành phần quan trọng của thay đổi mực nước biển toàn cầu và khu vực là những thay đổi áp lực gió bề mặt, nhiệt lượng không khí - biển và thông lượng nước ngọt (Lowe và Gregory, 2006; Timmermann và nnk, 2010; Suzuki và Ishii, 2011) và những thay đổi trong mật độ và hoàn lưu đại dương, ví dụ trong cường độ của Hoàn lưu đảo ngược kinh tuyến Đại Tây Dương (AMOC) (Yin và nnk, 2009; Lorbacher và nnk, 2010; Pardaens và nnk, 2011a). Các mô hình động lực tải địa chất bề mặt được sử dụng để mô phỏng phản hồi mực nước biển dâng tương đối (RSL) đối với những thay đổi của mực nước bề mặt và tái phân bố của khối lượng băng đất liền và các thay đổi áp lực khí quyển gần đây. Các thành phần độ cao mực nước biển được dựa vào nguyên lý bảo toàn khối lượng nước và sự thay đổi trọng lực, không xét đến các hiệu ứng động lực đại dương. Việc áp dụng các mô hình này chỉ tập trung vào các biến thiên theo năm và nhiều năm do những thay đổi gần đây của chu trình thủy văn và ảnh hưởng của khí quyển (Clarke và nnk, 2005; Tamisiea và nnk, 2010), và vào các xu thế khu vực liên quan đến những thay đổi băng đất liền và thuỷ văn trong quá khứ cũng như gần đây (Lambeck và nnk, 1998; Mitrovica và nnk, 2001; Peltier, 2004; Riva và nnk, 2010).

Hộp 3. Tóm tắt kết quả dự tính biến đổi khí hậu toàn cầu trong thế kỷ 21 (IPCC, 2013)

- Nhiệt độ trung bình toàn cầu vào cuối thế kỷ 21 tăng 1,1÷2,6°C (RCP4.5) và 2,6°C÷4,8°C (RCP8.5) so với trung bình thời kỳ 1986-2005.
- Lượng mưa tăng ở vùng vĩ độ cao và trung bình, giảm ở vùng nhiệt đới và cận nhiệt đới.
- Cực đoan nhiệt độ có xu thế tăng, theo kịch bản RCP8.5, đến cuối thế kỷ 21, nhiệt độ ngày lạnh nhất tăng 5÷10°C; nhiệt độ ngày nóng nhất tăng 5÷7°C; số ngày sương giá giảm; số đêm nóng tăng mạnh.
- Mưa cực trị có xu thế tăng. Dự tính lượng mưa 1 ngày lớn nhất trong năm (tính trung bình 20 năm) tăng 5,3% ứng với mức tăng 1°C của nhiệt độ trung bình.
- Theo kịch bản RCP8.5, đến năm 2100 có thể không còn băng ở Bắc Cực.
- Khu vực chịu ảnh hưởng của các hệ thống gió mùa tăng lên trong thế kỷ 21. Thời điểm bắt đầu của gió mùa mùa hè Châu Á xảy ra sớm hơn và kết thúc muộn hơn, kết quả là thời kỳ gió mùa sẽ kéo dài hơn. Mưa trong thời kỳ hoạt động của gió mùa có xu hướng tăng do hàm lượng ẩm trong khí quyển tăng.
- Bão mạnh có chiều hướng gia tăng, mưa lớn do bão gia tăng.

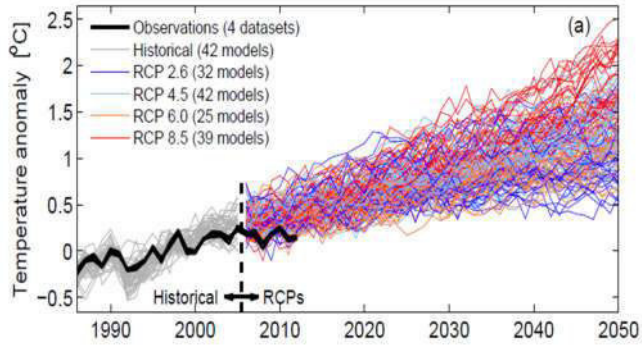
1) Kịch bản biến đổi khí hậu quy mô toàn cầu

a. Kịch bản về nhiệt độ

Thời kỳ đầu thế kỷ, 2016-2035, nhiệt độ trung bình toàn cầu tăng khoảng 0,3÷0,7^{o}C. Khu vực Việt Nam có mức độ tăng tương đương với trung bình toàn cầu.

Nhiệt độ đất liền tăng nhanh hơn nhiệt độ trên biển và nhiệt độ vùng cực tăng nhanh hơn nhiệt độ vùng nhiệt đới (**Hình 2.16**).

Thời kỳ cuối thế kỷ (2081-2100) nhiệt độ trung bình toàn cầu tăng khoảng 0,3°C÷1,7°C đối với kịch bản RCP2.6; 1,1°C÷2,6°C đối với kịch bản RCP4.5; 1,4°C÷3,1°C đối với kịch bản RCP6.0 và 2,6°C÷4,8°C đối với kịch bản RCP8.5.

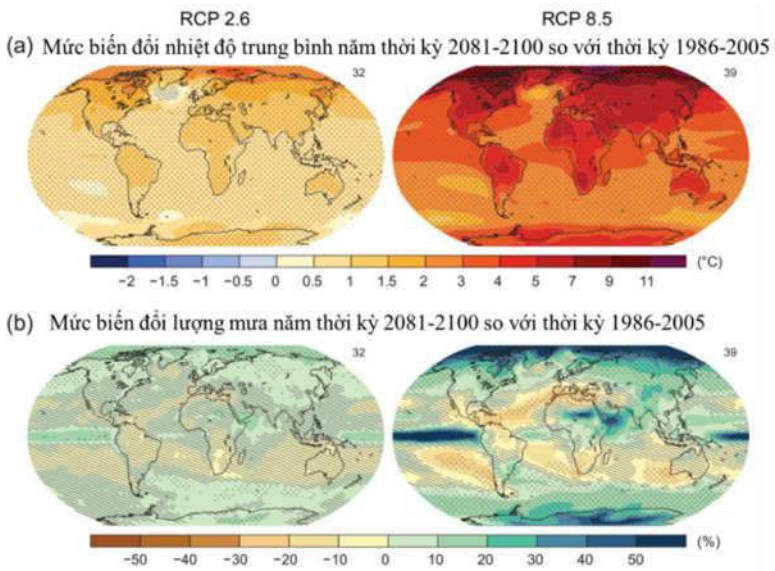


Hình 2.16. Biến đổi của nhiệt độ trung bình năm so với thời kỳ 1986-2005 mô phỏng bởi các mô hình CMIP5
(Nguồn: IPCC, 2013)

Nhìn chung nhiệt độ tăng không đồng nhất theo các khu vực. Gần như chắc chắn rằng nhiệt độ trung bình thời kỳ 2081-2100 có thể tăng trên 2°C so với thời kỳ 1986-2005 theo kịch bản RCP8.5.

Tuy nhiên, cần lưu ý rằng, mức biến đổi của nhiệt độ có thể lớn hơn so với mô tả trong **Hình 2.16**. Ví dụ như nồng độ khí nhà kính có thể lớn hơn so với giả định trong kịch bản RCP8.5. Các giá trị tăng lên này có thể do sự giải phóng CO_2 và CH_4 vào khí quyển từ quá trình tan băng ở Bắc Cực và các bãi than bùn ngoài Bắc Cực. Một số khu vực khác cũng có thể xảy ra sự tan băng là Alaska, Canada và phía bắc Liên bang Nga. Mặc dù vậy, mức độ tăng của lượng phát thải do băng tan trong thế kỷ 21 là rất không chắc chắn. Báo cáo mới nhất của IPCC đưa ra lượng phát thải từ 50 đến 250 GtC theo kịch bản RCP8.5 nhưng mức độ tin cậy của khoảng giá trị này là rất thấp. Đại dương toàn cầu sẽ vẫn tiếp tục hấp thụ CO_2 của khí quyển do con người phát thải, dẫn đến sự axit hóa đại dương. Đại dương cũng sẽ tiếp tục hấp thụ nhiệt lượng từ không khí ở các lớp sâu hơn - đây là một quá trình kéo dài sẽ dẫn đến sự ấm lên của đại dương (IPCC, 2013, Chương 6).

Sự nóng lên toàn cầu là không đồng nhất về không gian, nhiệt độ trên đất liền tăng nhiều hơn so với trên biển; Bắc Cực là nơi có mức độ tăng lớn nhất (**Hình 2.17**a).



Hình 2.17. Dự tính biến đổi khí hậu toàn cầu
(Nguồn: IPCC, 2013)

b. Kịch bản về lượng mưa

Hình 2.17b trình bày mức độ biến đổi của lượng mưa toàn cầu dự tính theo hai kịch bản RCP2.6 và RCP8.5. Theo cả hai kịch bản, lượng mưa có thay đổi đáng kể khi nhiệt độ tăng. Một số khu vực có lượng mưa tăng, trong khi đó một số khu vực có lượng mưa giảm. Xu thế chung là lượng mưa mùa mưa tăng, lượng mưa mùa khô giảm. Lượng mưa có xu thế tăng ở vùng vĩ độ cao và gần xích đạo, xu thế giảm của lượng mưa diễn ra ở Tây Nam Úc, Nam Mỹ, châu Phi, và khu vực giữa Đại Tây Dương đến Địa Trung Hải.

c. Kịch bản về một số yếu tố khí hậu khác

Sự nóng lên toàn cầu sẽ làm tăng số ngày/mùa nắng nóng và làm giảm số ngày/mùa lạnh trên hầu hết vùng đất liền. Do vậy, các đợt nắng nóng sẽ xảy ra thường xuyên hơn và cũng kéo dài hơn. Các đợt lạnh kỷ lục mùa đông cũng vẫn thỉnh thoảng xảy ra. Thêm vào đó, các hiện tượng cực đoan liên quan đến mưa ở phần lớn khu vực vĩ độ trung bình và vùng nhiệt đới ẩm sẽ trở nên khắc nghiệt và thường xuyên hơn vào cuối thế kỷ do sự tăng lên của nhiệt độ trung bình toàn cầu (IPCC, 2013). Nguồn gốc của sự thay đổi này chủ yếu do tăng khả năng giữ ẩm của không khí nóng (IPCC, 2013) cũng như tăng độ xoáy tiềm năng của các khối khí do tăng cường hiệu ứng làm ấm của khí nhà kính (O'Gorman và Schneider, 2009).

Hệ thống gió mùa toàn cầu có vai trò rất quan trọng trong chu trình nước của trái đất. Ở quy mô toàn cầu, các ảnh hưởng của gió mùa đến các khu vực được cho là sẽ tăng cùng với sự tăng của lượng mưa và cường độ gió mùa. Sự tăng lên này có thể được hiểu là liên quan đến sự tăng của độ ẩm không khí do xu thế nóng lên toàn cầu. Tại thời điểm hiện tại, gió mùa được cho là suy yếu do sự chậm lại của các hoàn lưu vùng nhiệt đới toàn cầu (IPCC, 2013, Chương 12). Kết quả dự tính cho thấy, ngày bắt đầu gió mùa sẽ đến sớm hơn hoặc không thay đổi nhiều, trong khi đó ngày kết thúc gió mùa sẽ muộn hơn, kết quả là thời kỳ gió mùa sẽ kéo dài hơn ở nhiều khu vực (IPCC, 2013, Chương 12).

Báo cáo của IPCC cũng cho rằng có nhiều khả năng ENSO sẽ duy trì ảnh hưởng quan trọng trong dao động theo năm ở khu vực nhiệt đới Thái Bình Dương và ảnh hưởng toàn cầu trong thế kỷ 21. Do sự tăng lên của lượng ẩm tiềm năng, biến động của lượng mưa liên quan đến ENSO ở các khu vực nhỏ sẽ được tăng cường. Dao động tự nhiên của độ lớn và phân bố không gian của ENSO là rất lớn và do vậy độ tin cậy trong bất cứ dự tính khoa học nào về mức biến đổi của ENSO và các hiện tượng liên quan ở quy mô khu vực cho thế kỷ 21 vẫn ở mức thấp. Thêm vào đó, các nghiên cứu gần đây chỉ ra rằng sự ấm lên toàn cầu sẽ làm tăng cường ảnh hưởng khô hạn của El Nino ở phía Tây Thái Bình Dương và tăng lượng mưa do El Nino ở trung tâm và phía đông Thái Bình Dương (Power và nnk, 2012, Cai và nnk, 2014).

Hiện tượng IOD (*Indian Ocean Dipole*), đặc trưng bởi điều kiện nhiệt độ ở bờ Tây nóng hơn hoặc lạnh hơn bờ Đông Ấn Độ Dương, liên quan chặt chẽ đến hạn hán ở Indonesia, thiếu hụt mưa ở Úc, tăng cường độ gió mùa mùa hè Ấn Độ và lũ lụt ở Đông châu Phi, nắng nóng ở Nhật Bản, và các hiện tượng khí hậu ở vùng ngoại nhiệt đới Nam Bán cầu (IPCC, 2013). Khi IOD dương (pha nóng), lượng mưa mùa đông và mùa xuân ở giữa và phía Nam Úc thường thấp hơn trung bình nhiều năm. Các kết quả dự tính cho thấy hiện tượng IOD (cả pha nóng và pha lạnh) không có sự biến đổi trong tương lai (Ihara và nnk, 2008, IPCC, 2013, Cai và nnk, 2014).

Hiện tượng SAM (*The Southern Annular Mode*), đặc trưng bởi sự dịch chuyển theo chiều Bắc - Nam của đới gió tây bao quanh Nam Cực chi phối điều kiện khí hậu vùng Nam Cực, Châu Đại Dương, phía nam Nam Mỹ và nam Châu Phi (Watter son, 2009, Thompson và nnk, 2011). Trong một vài thập kỷ qua, chỉ số SAM có xu thế tăng trong mùa hè và mùa thu Nam bán cầu (Marshall, 2007, Jones và nnk, 2009b), nguyên nhân chính là do sự suy giảm O_3 tầng bình lưu (Thompson và nnk, 2011, IPCC, 2013).

2) Kịch bản nước biển dâng quy mô toàn cầu

Hộp 4. Tóm tắt kịch bản nước biển dâng quy mô toàn cầu (IPCC, 2013)

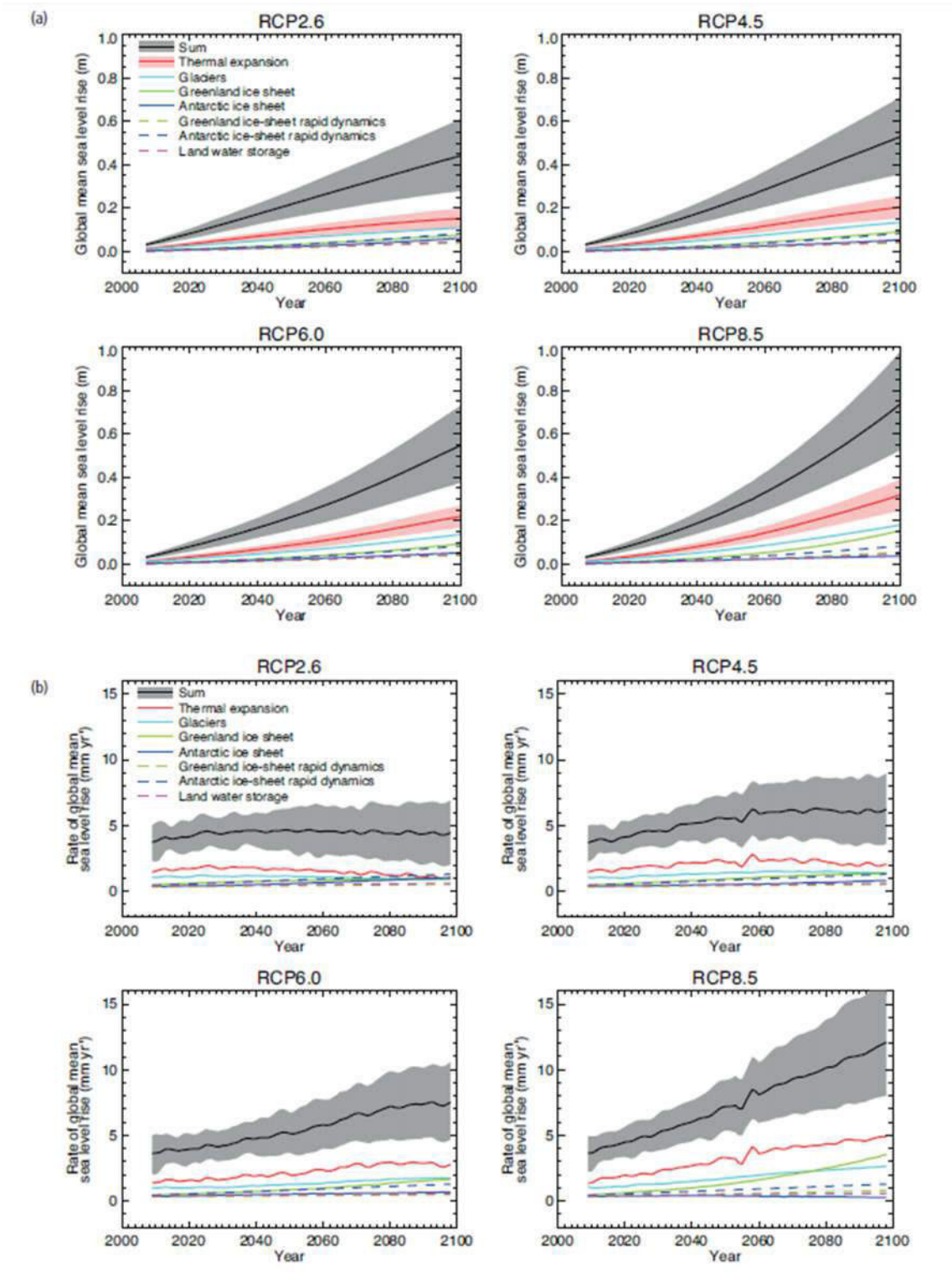
- Mực nước biển toàn cầu tiếp tục tăng trong thế kỷ 21 với tốc độ lớn hơn 2,0mm/năm, chủ yếu do quá trình giãn nở nhiệt và tan băng từ các sông băng và băng trên đỉnh núi.
- Vào giữa thế kỷ, mực nước biển tăng 19 ÷ 33cm theo kịch bản RCP4.5 và 22 ÷38cm theo kịch bản RCP8.5.
- Vào cuối thế kỷ, mực nước biển tăng 32 ÷63cm theo kịch bản RCP4.5 và 45 ÷ 82cm theo kịch bản RCP8.5.
- Đến năm 2100, mực nước biển tăng 36 ÷ 71cm theo kịch bản RCP4.5 và 52 ÷ 98cm theo kịch bản RCP8.5.

Theo kịch bản nước biển dâng toàn cầu (IPCC, 2013), thành phần giãn nở nhiệt đóng góp lớn nhất vào mực nước biển dâng tổng cộng, chiếm khoảng 30 ÷ 55%; thành phần băng tan từ các sông băng và núi băng ở đất liền, chiếm khoảng 15 ÷ 35%. Các thành phần khác có mức độ đóng góp ít hơn, thậm chí làm mực nước biển giảm, thành phần cân bằng khối lượng bề mặt băng (*SMB - Surface mass balance*) ở Greenland làm mực nước biển tăng, trong khi đó thành phần cân bằng khối lượng bề mặt băng ở Nam Cực làm mực nước biển giảm. Sự thay đổi do động lực băng tại Greenland và Nam Cực đều làm mực nước biển dâng với mức độ đóng góp khoảng từ 0,03 ÷ 0,2m vào cuối thế kỷ theo từng kịch bản RCP khác nhau. Hoạt động của con người về sử dụng và lưu trữ nước trên lục địa có thể làm mực nước biển tăng một ít, chủ yếu do khai thác nước ngầm (**Hình 2.18**).

- Theo kịch bản RCP4.5, mực nước biển trung bình toàn cầu dâng 26cm (19cm ÷ 33cm) trong giai đoạn giữa thế kỷ; dâng 47m (32cm ÷ 63cm) trong giai đoạn cuối thế kỷ; dâng 53cm (36cm ÷ 71cm) vào năm 2100.

- Theo kịch bản RCP8.5, mực nước biển trung bình toàn cầu dâng 30cm (22cm ÷ 38cm) trong giai đoạn giữa thế kỷ; dâng 63cm (45cm ÷ 82cm) trong giai đoạn cuối thế kỷ; dâng 74cm (52cm ÷ 98cm) vào năm 2100.

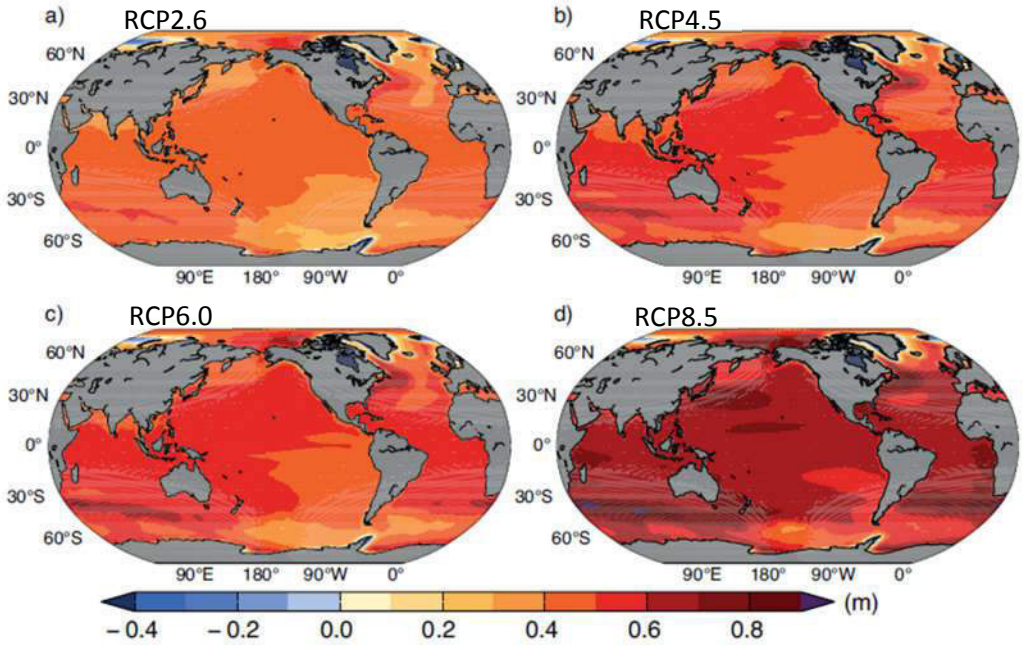
Báo cáo AR5 của IPCC cũng đánh giá rằng sự thay đổi mực nước biển tại từng khu vực có thể khác biệt đáng kể so với trung bình toàn cầu. Nguyên nhân là do các quá trình động lực đại dương, sự dịch chuyển của đáy biển hay những thay đổi trọng lực do phân bố lại khối lượng nước trên đất liền (băng và lưu trữ nước). Về mặt không gian, trong một vài thập kỷ tới, thay đổi mực nước biển trên phần lớn các khu vực trên thế giới sẽ chủ yếu là do những thay đổi về động lực (tái phân bố khối lượng nước và các thành phần do thay đổi nhiệt độ và độ mặn).



Hình 2.18. Kịch bản mực nước biển dâng toàn cầu

(Nguồn: IPCC, 2013)

Hình 2.19 cho thấy, theo kịch bản RCP4.5, khu vực phía Tây và giữa Thái Bình Dương, phía nam Đại Tây Dương và Ấn Độ Dương mực nước biển có xu thế tăng cao rõ rệt so với trung bình toàn cầu. Ngược lại, tại khu vực đông nam Thái Bình Dương, bắc Đại Tây Dương và đặc biệt là xung quanh các cực, mực nước biển có xu thế tăng ít hơn so với trung bình toàn cầu. Theo kịch bản RCP8.5, mực nước biển nhiều khu vực có xu thế tăng mạnh hơn so với trung bình toàn cầu, ngoại trừ một số khu vực nhỏ gần các cực có xu hướng tăng ít hơn.



Hình 2.19. Kịch bản nước biển dâng giai đoạn 2081-2100 so với thời kỳ cơ sở

Bảng 2.4. Kịch bản nước biển dâng toàn cầu giai đoạn 2081-2100 so với thời kỳ cơ sở (cm)

(giá trị trung bình 50%, khoảng có khả năng xảy ra 5% ÷ 95%)

Kịch bản / Yếu tố	SRES A1B	RCP2.6	RCP4.5	RCP6.0	RCP8.5
Giãn nở nhiệt	21 (16 ÷ 26)	14 (10 ÷ 18)	19 (14 ÷ 23)	19 (15 ÷ 24)	27 (21 ÷ 33)
Tan băng tại sông băng, núi băng trên lục địa	14 (8 ÷ 21)	10 (4 ÷ 16)	12 (6 ÷ 19)	12 (6 ÷ 19)	16 (9 ÷ 23)
SMB tại Greenland	5 (2 ÷ 12)	3 (1 ÷ 7)	4 (1 ÷ 9)	4 (1 ÷ 9)	7 (3 ÷ 16)
SMB tại Nam Cực	-3 (-6 ÷ -1)	-2 (-4 ÷ -0)	-2 (-5 ÷ -1)	-2 (-5 ÷ -1)	-4 (-7 ÷ -1)
Động lực băng Greenland	4 (1 ÷ 6)	4 (1 ÷ 6)	4 (1 ÷ 6)	4 (1 ÷ 6)	5 (2 ÷ 7)
Động lực băng Nam Cực	7 (-1 ÷ 16)	7 (-1 ÷ 16)	7 (-1 ÷ 16)	7 (-1 ÷ 16)	7 (-1 ÷ 16)
Thay đổi lượng trữ nước trên lục địa	4 (-1 ÷ 9)	4 (-1 ÷ 9)	4 (-1 ÷ 9)	4 (-1 ÷ 9)	4 (-1 ÷ 9)
Mực nước biển dâng trung bình toàn cầu (2081-2100)	52 (37 ÷ 15)	40 (26 ÷ 55)	47 (32 ÷ 63)	48 (33 ÷ 63)	63 (45 ÷ 82)
Mực nước biển dâng trung bình toàn cầu (2046-2065)	27 (19 ÷ 34)	24 (17 ÷ 32)	26 (19 ÷ 33)	25 (18 ÷ 32)	30 (22 ÷ 38)
Mực nước biển dâng trung bình toàn cầu đến năm 2100	60 (42 ÷ 80)	44 (28 ÷ 61)	53 (36 ÷ 71)	55 (38 ÷ 73)	74 (52 ÷ 98)

III. Biểu hiện của biến đổi khí hậu và nước biển dâng ở Việt Nam

3.1. Số liệu sử dụng trong phân tích xu thế và xây dựng kịch bản

3.1.1. Số liệu khí hậu

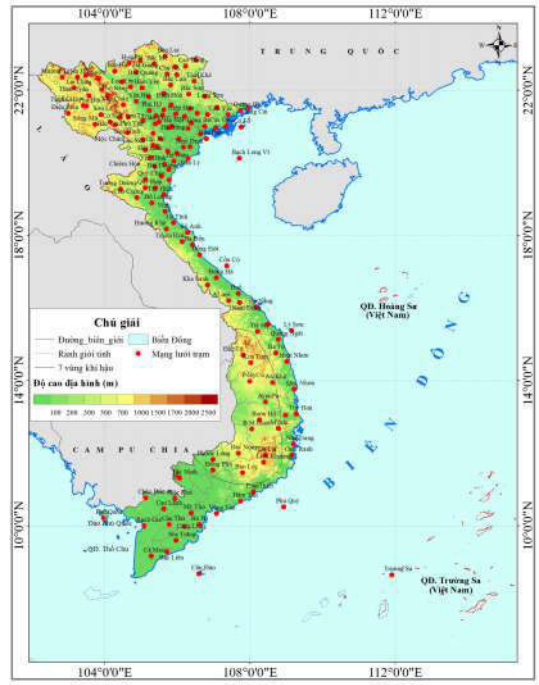
1) Số liệu tính toán từ các mô hình khí hậu khu vực

Mô hình khí hậu toàn cầu và khu vực là những công cụ chính được sử dụng để đánh giá xu thế và mức độ biến đổi của khí hậu tương lai, đặc biệt là các cực đoan khí hậu. Các mô hình được sử dụng trong tính toán xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu cho Việt Nam, gồm: (i) Mô hình AGCM/MRI của Viện Nghiên cứu Khí tượng Nhật Bản, (ii) Mô hình PRECIS của Trung tâm Hadley - Vương quốc Anh, (iii) Mô hình CCAM của Cơ quan Nghiên cứu Khoa học và Công nghiệp Liên bang Úc (CSIRO), (iv) Mô hình RegCM của Trung tâm quốc tế về Vật lý lý thuyết của Ý (ICTP), (v) Mô hình clWRF của Mỹ.

2) Số liệu quan trắc tại trạm

Tính đến năm 2015, trên toàn lãnh thổ Việt Nam có 180 trạm quan trắc khí tượng bề mặt. Chỉ những trạm quan trắc có số liệu đủ dài (từ 30 năm trở lên) mới được sử dụng trong đánh giá biểu hiện của biến đổi khí hậu và xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu. Sau khi kiểm tra và xử lý số liệu, xem xét về độ dài các chuỗi số liệu, đánh giá chất lượng của chuỗi số liệu theo các phương pháp kiểm nghiệm thống kê, số liệu về nhiệt độ và lượng mưa của 150 trạm khí tượng thủy văn được sử dụng trong đánh giá biểu hiện biến đổi khí hậu và xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu ở Việt Nam.

Các trạm khí tượng thủy văn dùng trong phân tích xu thế biến đổi của khí hậu và xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu được trình bày trong **Hình 3.1** và **Bảng 3.1.**



Hình 3.1. Các trạm khí tượng thủy văn được sử dụng trong xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu

Bảng 3.1. Danh sách các trạm khí tượng thủy văn được sử dụng trong xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu cho Việt Nam

TT	Tên trạm	Kinh độ (°E)	Vĩ độ (°N)	Độ cao (m)	Năm bắt đầu có số liệu	Ghi chú
			Khu vực Tây Bắc			
1	Tam Đường	103°29'	22°25'	964,8	1973	
2	Mường Tè	102°48'	22°23'	336,7	1961	*1 lần thay đổi vị trí trạm*
3	Sìn Hồ	103°14'	22°22'	1533,7	1961	
4	Mường Lay (Lai Châu cũ)	103°09'	22°04'	243,2	1956	*1 lần thay đổi vị trí trạm (1960)* *1 lần thay đổi vị trí trạm từ thấp lên cao (2013)*
5	Tuần Giáo	103°25'	21°35'	571,8	1961	
6	Pha Đin	103°31'	21°34'	1377,7	1964	*1 lần thay đổi vị trí trạm (2012)*

TT	Tên trạm	Kinh độ (°E)	Vĩ độ (°N)	Độ cao (m)	Năm bắt đầu có số liệu	Ghi chú
7	Điện Biên	103°00′	21°22′	475,1	1958	*Nâng cao vườn*
8	Phiêng Lang (Quỳnh Nhai)	103°38′	21°40′	155,3	1961	*1 lần thay đổi vị trí trạm (2011) Thay đổi tên Phiêng Lang*
9	Sơn La	103°54′	21°20′	675,3	1960	
10	Bắc Yên	104°25′	21°15′	643	1973	
11	Cò Nòi	104°09′	21°08′	670,8	1963	*1 lần xoay vị trí vườn*
12	Sông Mã	103°44′	21°04′	359,5	1962	
13	Yên Châu	104°17′	21°03′	314	1961	
14	Than Uyên	103°54′	21°01′	601,2	1961	
15	Phù Yên	104°38′	21°16′	169	1961	
16	Mộc Châu	104°41′	20°50′	972	1961	
17	Hòa Bình	105°20′	20°49′	22,7	1955	
18	Kim Bôi	105°32′	20°40′	61,1	1962	
19	Mai Châu	105°03′	20°39′	165,5	1961	
20	Chi Nê	105°47′	20°29′	11,3	1973	
21	Lạc Sơn	105°27′	20°27′	41,2	1961	
			Khu vực Việt Bắc			
22	Sa Pa	103°49′	22°21′	1584,3	1957	*1 lần thay đổi vị trí trạm từ thấp lên cao (1979)*
23	Hà Giang	104°58′	22°49′	117	1956	
24	Hoàng Su Phì	104°41′	22°45′	539,4	1961	
25	Bắc Mê	105°19′	22°44′	150	1964	*1 lần thay đổi vị trí trạm từ cao xuống thấp*
26	Bắc Quang	104°52′	22°30′	73	1961	
27	Bắc Hà	104°17′	22°32′	928,7	1961	
28	Lục Yên	104°43′	22°06′	105,5	1960	
29	Mù Cang Chải	104°05′	21°51′	955	1962	*1 lần thay đổi vị trí trạm (1991) Gián đoạn (T1,2,3/1966)*
30	Yên Bái	104°52′	21°42′	55,6	1955	
31	Nghĩa Lộ (Văn Chấn)	104°31'	21°35'	274,6	1961	
32	Chiêm Hóa	105°16′	22°09′	60,3	1961	
33	Hàm Yên	105°02′	22°04′	46,2	1961	
34	Tuyên Quang	105°13′	21°49′	40,8	1960	
35	Chợ Rã	105°43′	22°27′	182,6	1961	
36	Ngân Sơn	105°59′	22°26′	517,3	1961	
37	Bắc Cạn	105°50′	22°09′	174	1956	
38	Định Hóa	105°38′	21°55′	106,9	1961	
39	Tam Đảo	105°39′	21°28′	933,8	1961	*1 lần xoay lại vườn*
40	Phú Hộ	105°14′	21°27′	54,1	1960	
41	Việt Trì	105°24′	21°19′	30,5	1960	*5 lần thay đổi vị trí trạm (1965, 1973, 1992, 2001, 2003)*
42	Minh Đài	105°03′	21°10′	91,6	1972	
43	Thái Nguyên	105°50′	21°36′	35,3	1958	
44	Vĩnh Yên	105°35′	21°17′	10,1	1960	
			Khu vực Đông Bắc			
45	Bảo Lạc	105°40′	22°57′	209,7	1961	
46	Trùng Khánh	106°31′	22°50′	531,5	1961	
47	Cao Bằng	106°15′	22°40′	244,1	1956	
48	Nguyên Bình	105°57′	22°39′	491,4	1961	
49	Thất Khê	106°28′	22°15′	162,5	1959	
50	Bắc Sơn	106°19′	21°54′	392,6	1962	
51	Lạng Sơn	106°46′	21°52′	257,9	1955	
52	Đình Lập	107°06′	21°32′	190,6	1963	

TT	Tên trạm	Kinh độ (°E)	Vĩ độ (°N)	Độ cao (m)	Năm bắt đầu có số liệu	Ghi chú
53	Hữu Lũng	106°21'	21°30'	41,5	1961	*1 lần thay đổi vị trí trạm (1996)*
54	Quảng Hà	107°45''	21°27	6,284	1979	
55	Tiên Yên	107°24'	21°20'	13,6	1956	
56	Uông Bí	106°45'	21°02'	2,4	1965	
57	Cửa Ông	107°21'	21°01'	57,2	1960	
58	Cô Tô	107°46'	20°59'	70	1958	
59	Bãi Cháy	107°04'	20°57'	52,4	1960	*1 lần thay đổi vị trí trạm (1974)* *1 lần thay đổi vị trí trạm từ thấp lên cao (2003)*
60	Lục Ngạn	106°33'	21°23'	14,6	1961	*1 lần thay đổi vị trí trạm (2014)*
61	Sơn Động	106°50'	21°20'	58,5	1961	
62	Hiệp Hòa	105°58'	21°21'	20,565	1970	
63	Bắc Giang	106°12'	21°17'	7,5	1960	
64	Phù Liễn	106°38'	20°48'	113,4	1957	
65	Hòn Dấu	106°48'	20°40'	37,2	1955	
66	Bạch Long Vĩ	107°43'	20°08'	55,6	1958	
			Khu vực Đồng bằng Bắc Bộ			
67	Sơn Tây	105°30'	21°08'	16,8	1958	
68	Ba Vì	105°25'	21°09'	30,3	1969	
69	Hà Đông	105°46'	20°58'	5,6	1973	
70	Láng	105°48'	21°01'	6,0	1956	
71	Hưng Yên	106°03'	20°39'	3	1960	*2 lần thay đổi vị trí trạm (1962, 2013)*
72	Chí Linh	106°23'	21°07'	33,6	1960	
73	Hải Dương	106°18'	20°57'	2,2	1960	
74	Thái Bình	106°23'	20°25'	1,9	1960	
75	Hà Nam	105°55'	20°31'	2,8	1960	
76	Nam Định	106°09'	20°26'	1,9	1956	
77	Văn Lý	106°18'	20°07'	1,8	1959	*2 lần thay đổi vị trí trạm (1966, 1968)*
78	Nho Quan	105°45'	20°19'	3,6	1960	
79	Ninh Bình	105°59'	20°15'	3,0	1960	
			Khu vực Bắc Trung Bộ			
80	Hồi Xuân	105°06'	20°22'	102,3	1955	
81	Yên Định	105°39'	19°58'	9,2	1962	
82	Bái Thượng	105°23'	19°54'	20,7	1961	
83	Thanh Hóa	105°47'	19°45'	4,4	1957	*1 lần thay đổi vị trí trạm (1993)*
84	Như Xuân	105°34'	19°38'	12,6	1962	
85	Tĩnh Gia	105°47'	19°27'	4,4	1962	*1 lần thay đổi vị trí trạm (1984)*
86	Quỳ Châu	105°07'	19°34'	85,1	1962	
87	Quỳ Hợp	105°09'	19°19'	89,2	1968	*1 lần thay đổi vị trí trạm (1990)*
88	Tây Hiếu	105°24'	19°19'	47,9	1960	
89	Quỳnh Lưu	105°38'	19°10'	1,6	1962	
90	Tương Dương	104°26'	19°17'	96,1	1961	
91	Con Cuông	104°53'	19°03'	33	1961	
92	Đô Lương	105°18'	18°54'	11,3	1961	
92	Vinh	105°40'	18°40'	5,1	1955	*5 lần thay đổi vị trí trạm* *(1956, 1959, 1970, 1974, 1981)*
94	Hà Tĩnh	105°54'	18°21'	2,8	1958	
95	Hương Khê	105°43'	18°11'	17,0	1961	
96	Kỳ Anh	106°17'	18°05'	2,8	1961	
			Khu vực Trung Trung Bộ			
97	Tuyên Hóa	106°01'	17°53'	27,1	1961	
98	Ba Đồn	106°25'	17°45'	2,7	1960	*1 lần thay đổi vị trí trạm từ thấp lên cao (2008)*
99	Đồng Hới	106°36'	17°29'	5,7	1955	
100	Cồn Cỏ	107°20'	17°10'	3,4	1974	*1 lần thay đổi vị trí trạm (1978)*
101	Đông Hà	107°05'	16°51'	8	1973	*1 lần thay đổi vị trí trạm (1977)*

TT	Tên trạm	Kinh độ (°E)	Vĩ độ (°N)	Độ cao (m)	Năm bắt đầu có số liệu	Ghi chú
102	Khe Sanh	106°44'	16°38'	394,6	1975	
103	Huế	107°35'	16°26'	10,4	1976	*1 lần thay đổi vị trí trạm (1981)*
104	Nam Đông	107°43'	16°10'	59,7	1973	
105	A Lưới	107°17'	16°13'	572,2	1976	*1 lần thay đổi vị trí trạm (1977)*
106	Đà Nẵng	108°12'	16°02'	4,7	1975	
107	Tam Kỳ	108°28'	15°34'	23	1979	
108	Lý Sơn	109°09'	15°23'	4	1984	
109	Trà My	108°14'	15°21'	123,1	1973	
110	Quảng Ngãi	108°48'	15°07'	8,1	1976	
111	Ba Tơ	108°44'	14°46'	50,7	1979	
			Khu vực Nam Trung Bộ			
112	Hoài Nhơn	109°02'	14°31'	17,5	1977	
113	Quy Nhơn	109°13'	13°46'	7,8	1975	*1 lần thay đổi vị trí trạm từ thấp lên cao*
114	Tuy Hòa	109°17'	13°05'	11,6	1976	
115	Sơn Hòa	108°59'	13°03'	38,6	1976	
116	Nha Trang	109°12'	12°13'	3,2	1976	
117	Cam Ranh	109°09'	11°55'	15,9	1977	
118	Trường Sa	111°55'	8°39'	2	1977	
119	Phan Thiết	108°06'	10°56'	10	1978	
120	Hàm Tân	107°46'	10°41'	12	1977	
121	Phú Quý	108°56'	10°31'	5,2	1979	
			Khu vực Tây Nguyên			
122	An Khê	108°39'	13°57'	422,2	1978	
123	Aunpa	108°27'	13°23'	159,7	1977	
124	M'Đrắc	108°46'	12°44'	419	1977	
125	Đắc Tô	107°50'	14°39'	620,4	1981	
126	Kon Tum	108°00'	14°30'	537,6	1976	
127	Plâycu	108°01'	13°58'	778,9	1976	
128	Buôn Hồ	108°16'	12°55'	707,2	1982	
129	Buôn M Thuột	108°03'	12°40'	470,3	1976	
130	Đắc Nông	107°41'	12°00'	631	1978	*1 lần thay đổi vị trí trạm (1995)*
131	Đà Lạt	108°27'	11°56'	1508,6	1977	*1 lần thay đổi vị trí trạm (1992)*
132	Liên Khương	108°23'	11°45'	957,2	1975	*1 lần thay đổi vị trí trạm (1996)*
133	Bảo Lộc	107°49'	11°32'	840,4	1979	
			Khu vực Nam Bộ			
134	Phước Long	106°59'	11°50'	198,5	1977	
135	Đồng Xoài	106°54'	11°32'	88,6	1979	
136	Tây Ninh	106°07'	11°20'	9,4	1977	
137	Vũng Tàu	107°05'	10°22'	4	1978	
138	Côn Đảo	106°36'	8°41'	6,3	1978	
139	Mộc Hóa	105°56'	10°47'	1,9	1977	
140	Mỹ Tho	106°24'	10°21'	1,1	1976	
141	Ba Tri	106°36'	10°03'	0,9	1977	
142	Càng Long	106°12'	9°59'	1,6	1978	
143	Sóc Trăng	105°58'	9°36'	2,3	1978	
144	Cần Thơ	105°46'	10°02'	1	1976	
145	Cao Lãnh	105°38'	10°28'	1,8	1978	*1 lần thay đổi vị trí trạm (2009)*
156	Châu Đốc	105°08'	10°42'	4,2	1979	
147	Phú Quốc	103°58'	10°13	3,3	1957	*1 lần thay đổi vị trí trạm (1977)*
148	Rạch Giá	105°04'	10°00'	1,4	1979	
149	Bạc Liêu	105°43'	9°17'	1,2	1980	
150	Cà Mau	105°09'	9°11'	1,2	1978	

3.1.2. Số liệu mực nước biển

Mực nước biển ở Việt Nam được bắt đầu quan trắc tại trạm hải văn Hòn Dáu từ đầu năm 1938 sau đó bị gián đoạn do chiến tranh. Đến tháng 1 năm 1956, trạm hoạt động trở lại và bắt đầu đo đạc theo chế độ 4 lần/ngày từ năm 1957. Do nhiều lý do, số liệu tại trạm từ năm 1945 đến tháng 3 năm 1960 bị thiếu nhiều. Bên cạnh đó, trước năm 1956 số liệu quan trắc được đo bằng thiết bị khác nên có thể có sự chênh lệch hệ thống. Từ tháng 6 năm 1965, mốc cao độ của trạm được thay đổi.

Tại miền Bắc, còn có một số trạm hải văn khác như Cô Tô, Bạch Long Vỹ (1958), Cửa Ông, Bãi Cháy (1960), Hòn Ngư (1961), Cồn Cỏ (1974) và Sầm Sơn (1998). Trong đó có trạm Bạch Long Vỹ và Hòn Ngư bị tạm ngừng quan trắc nhiều lần do chiến tranh. Trạm Hòn Ngư chỉ đo đạc liên tục từ năm 1990 và trạm Bạch Long Vỹ từ năm 1998. Tại hầu hết các trạm, mực nước được đo bằng thủy chí và theo chế độ 4 lần/ngày.

Tại miền Nam, trạm hải văn Quy Nhơn được thành lập từ năm 1958 và bắt đầu quan trắc từ năm 1959. Do chiến tranh, trạm Quy Nhơn tạm ngừng quan trắc từ năm 1965 và quan trắc ổn định từ năm 1986. Từ tháng 4 năm 1986, mực nước được đo theo chế độ giờ. Mực nước được đo bằng thủy chí, triều ký Lapante (từ năm 1959), máy Sum, máy Stevens-A35 (từ năm 1992). Số liệu trước năm 1986 bị gián đoạn nhiều và vị trí quan trắc bị di chuyển. Số liệu từ tháng 4 năm 1986 tới nay là liên tục.

Bảng 3.2. Các trạm hải văn được dùng trong phân tích và tính toán

TT	Tên trạm	Chuỗi số liệu	Thiết bị đo	Ghi chú
1	Cửa Ông	1962 - 2014	Thủy chí	Trạm ven bờ
2	Cô Tô	1960 - 2014	Thủy chí	Đảo
3	Bãi Cháy	1962 - 2014	Thủy chí	Trạm ven bờ
4	Bạch Long Vỹ	1998 - 2014	Thủy chí	Đảo
5	Hòn Dáu	1960 - 2014	Máy CYM	Đảo
6	Sầm Sơn	1998 - 2014	Thủy chí	Trạm ven bờ
7	Hòn Ngư	1961 - 2014	Thủy chí, Máy CYM	Đảo
8	Cồn Cỏ	1981 - 2014	Thủy chí	Đảo
9	Sơn Trà	1978 - 2014	Thủy chí	Trạm ven bờ
10	Quy Nhơn	1986 - 2014	Thủy chí, Máy Steven	Trạm ven bờ
11	Phú Quý	1986 - 2014	Thủy chí	Đảo
12	Trường Sa	2002 - 2014	Thủy chí	Đảo
13	Vũng Tàu	1978 - 2014	Thủy chí, Máy đo mực nước	Trạm ven bờ
14	Côn Đảo	1986 - 2014	Thủy chí	Đảo
15	DK I-7	1992 - 2014	Máy Steven A-71	Giàn nổi
16	Thổ Chu	1995 - 2014	Thủy chí	Đảo
17	Phú Quốc	1986 - 2014	Máy Steven A-71	Đảo

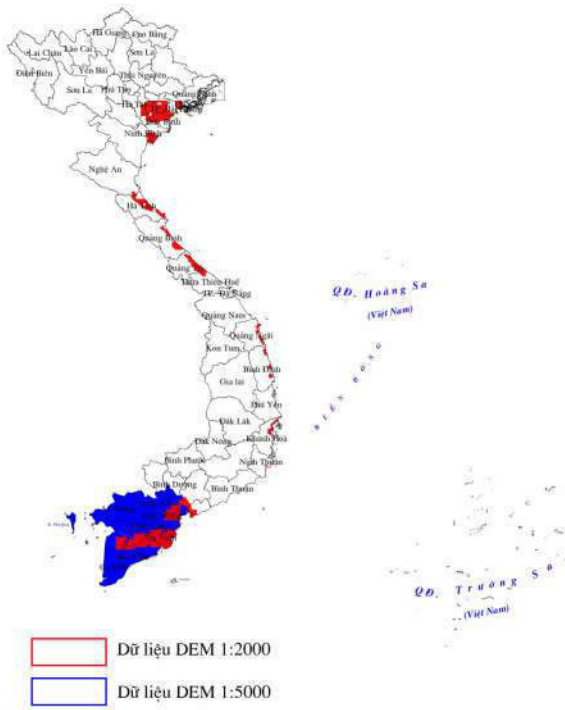
Sau năm 1975, tại miền Nam, nhiều trạm hải văn được xây dựng như Vũng Tàu (1978), Sơn Trà (1978), Phú Quý (1979), Côn Đảo (1986), Phú Quốc (1986), DK I-7 (1992), Thổ Chu (1993), Trường Sa (2002). Mực nước biển chủ yếu được quan trắc bằng thủy chí và theo chế độ 4 lần/ngày, một số ít trạm có lắp đặt triều ký. Hầu hết các trạm đều có số liệu đo đạc tương đối ổn định. Riêng trạm DK I-7 được đặt trên giàn nổi, có số liệu mực nước biển với chế độ đo đạc theo giờ bằng máy đo mực nước Steven A-71 từ năm 1992. Cột thủy chí của trạm sau khi thành lập hơn 1 năm đã bị lún và hỏng, thủy chí của trạm hiện đang được gắn

vào giàn nổi DK I-7 nên mực nước đo đạc những năm gần đây có xu thế biến động rất mạnh. Các trạm quan trắc mực nước biển được trình bày trong **Bảng 3.2**.

Như vậy, tính đến năm 2014, tại Việt Nam đã có 17 trạm quan trắc hải văn dọc bờ biển và các hải đảo. Trong số đó, trạm Trường Sa có chuỗi số liệu tương đối ngắn (13 năm), trạm DK I-7 có số liệu không ổn định do thủy chí được gắn vào giàn nổi.

Từ năm 1993, số liệu mực nước đo đạc từ vệ tinh cũng là nguồn số liệu đáng tin cậy trong đánh giá biến đổi mực nước biển tại Việt Nam. Bộ số liệu chuẩn sai mực nước biển của AVISO (*Archiving, Validation and Interpretation of the Satellite Oceanographic*) được tổ hợp từ các vệ tinh ERS-1/2, Topex/Poseidon (T/P), ENVISAT và Jason-1/2. Số liệu có độ phân giải thời gian là 7 ngày và không gian là 1/4 độ kinh vĩ. Các sai số của phép đo đã được hiệu chỉnh như sự trễ tín hiệu ở tầng đối lưu, tầng điện ly, thủy triều đại dương, áp suất nghịch đảo và sai số do thiết bị.

3.1.3. Số liệu bản đồ số địa hình



Hình 3.2. Sơ đồ dữ liệu bản đồ số địa hình tỷ lệ 1:2.000 và 1:5.000 các tỉnh đồng bằng và ven biển

Hình 3.3. Sơ đồ dữ liệu bản đồ số địa hình tỷ lệ 1:10.000 và 1:25.000 các tỉnh ven biển

Số liệu bản đồ địa hình được tập hợp và lựa chọn từ những bản đồ địa hình có tỷ lệ và chất lượng tốt nhất. Các dữ liệu bản đồ bao gồm:

+ Bản đồ số địa hình tỷ lệ 1:10.000, kích thước ô lưới 5mx5m, độ chính xác 2,5m - 5m của 19 tỉnh ven biển từ Quảng Ninh đến Bình Thuận (mô hình số địa hình, hành chính, thủy hệ) do Cục Đo đạc Bản đồ Việt Nam thực hiện năm 2012.

+ Mô hình số địa hình kích thước ô lưới là 2mx2m của 13 tỉnh đồng bằng sông Cửu Long, do Cục Viễn thám Quốc gia thực hiện năm 2008.

+ Bản đồ số địa hình tỷ lệ 1:2.000 do dự án bay chụp Lidar của Cục Đo đạc Bản đồ Việt Nam thực hiện năm 2016. Kích thước ô lưới 1mx1m, độ chính xác 0,2m-0,4m, diện tích bay chụp là 26.765 km^2 ứng với 21.535 mảnh bản đồ DEM, trong đó ở khu vực Bắc Bộ là 8.500km^2 (6.904 mảnh), Trung Bộ là 4.765 km^2 (4.179 mảnh) và Nam Bộ là 13.500 km^2

(10.452 mảnh).

+ Mô hình số địa hình tỷ lệ 1:2.000, kích thước ô lưới 2mx2m của khu vực thành phố Hồ Chí Minh do Cục Đo đạc và Bản đồ Việt Nam thực hiện năm 2010.

+ Bản đồ số địa hình tỷ lệ 1:25.000 được sử dụng cho các khu vực không có nguy cơ ngập thuộc các tỉnh đồng bằng sông Hồng và ven biển miền Trung.

Sơ đồ dữ liệu bản đồ số địa hình theo các tỷ lệ được trình bày trong **Hình 3.2** và **Hình 3.3**.

3.2. Biến đổi của các yếu tố khí hậu

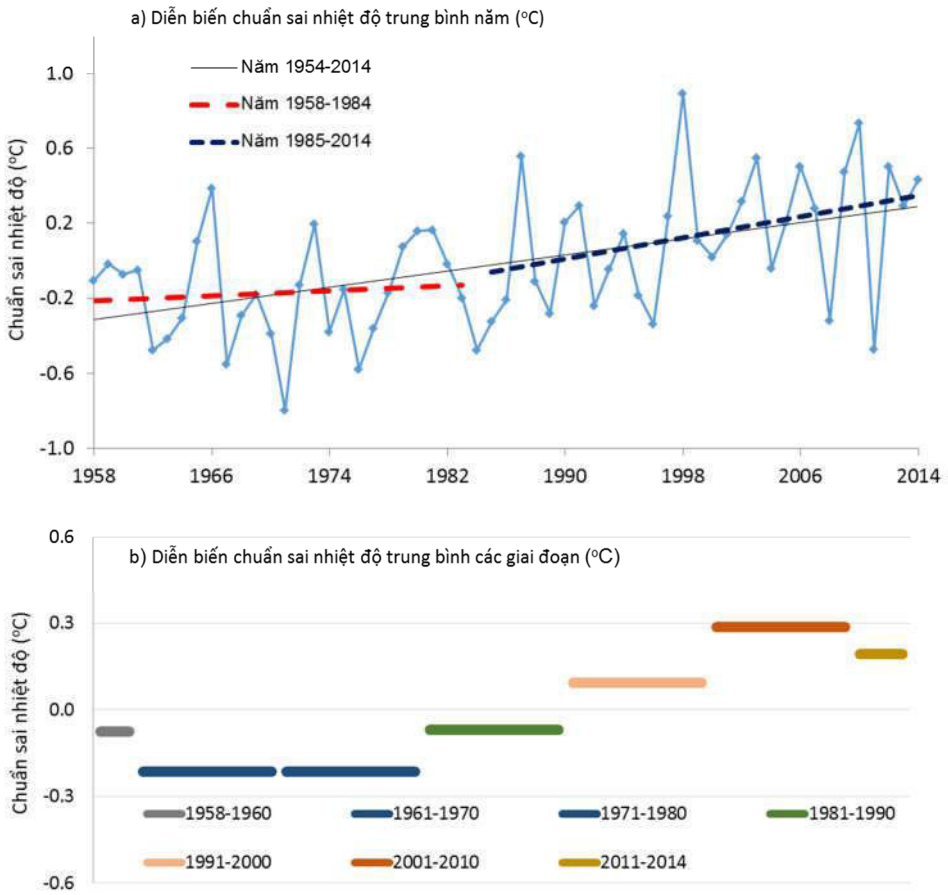
Hộp 5. Tóm tắt xu thế biến đổi khí hậu ở Việt Nam

- Nhiệt độ có xu thế tăng ở hầu hết các trạm quan trắc, tăng nhanh trong những thập kỷ gần đây. Trung bình cả nước, nhiệt độ trung bình năm thời kỳ 1958-2014 tăng khoảng 0,62^{o}C, riêng giai đoạn (1985-2014) nhiệt độ tăng khoảng 0,42^{o}C.
- Lượng mưa trung bình năm có xu thế giảm ở hầu hết các trạm phía Bắc; tăng ở hầu hết các trạm phía Nam.
- Cực trị nhiệt độ tăng ở hầu hết các vùng, ngoại trừ nhiệt độ tối cao có xu thế giảm ở một số trạm phía Nam.
- Hạn hán xuất hiện thường xuyên hơn trong mùa khô.
- Mưa cực đoan giảm đáng kể ở vùng Đồng Bằng Bắc Bộ, tăng mạnh ở Nam Trung Bộ và Tây Nguyên.
- Số lượng bão mạnh có xu hướng tăng.
- Số ngày rét đậm, rét hại có xu thế giảm nhưng xuất hiện những đợt rét dị thường.
- Ảnh hưởng của El Nino và La Nina có xu thế tăng.

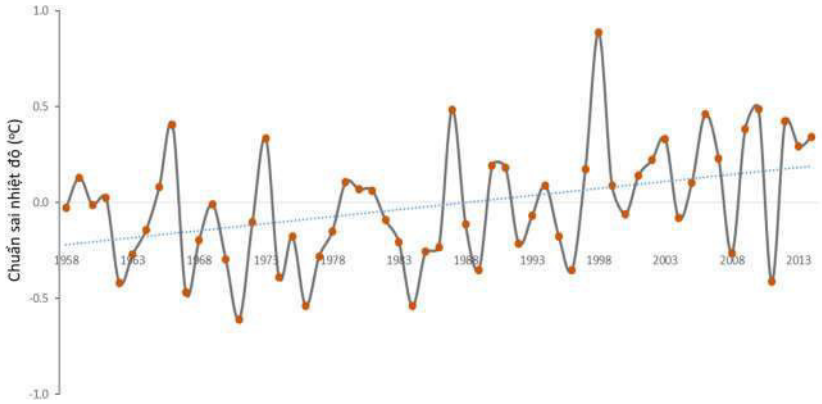
3.2.1. Nhiệt độ

Nhiệt độ có xu thế tăng ở hầu hết các trạm quan trắc, tăng nhanh trong những thập kỷ gần đây. Trung bình cả nước, nhiệt độ trung bình năm thời kỳ 1958-2014 tăng khoảng 0,62^{o}C, riêng giai đoạn (1985-2014) nhiệt độ tăng khoảng 0,42^{o}C (**Hình 3.4**). Tốc độ tăng trung bình mỗi thập kỷ khoảng 0,10^{o}C, thấp hơn giá trị trung bình toàn cầu (0,12^{o}C/thập kỷ, IPCC 2013).

Nhiệt độ tại các trạm ven biển và hải đảo có xu thế tăng ít hơn so với các trạm ở sâu trong đất liền (**Hình 3.5**). Có sự khác nhau về mức tăng nhiệt độ giữa các vùng và các mùa trong năm. Nhiệt độ tăng cao nhất vào mùa đông, thấp nhất vào mùa xuân. Trong 7 vùng khí hậu, khu vực Tây Nguyên có mức tăng nhiệt độ lớn nhất, khu vực Nam Trung Bộ có mức tăng thấp nhất (**Hình 3.6**).



Hình 3.4. Chuẩn sai nhiệt độ (°C) trung bình năm (a) và nhiều năm (b) trên quy mô cả nước



Hình 3.5. Chuẩn sai nhiệt độ trung bình năm (°C) đối với các trạm ven biển và hải đảo

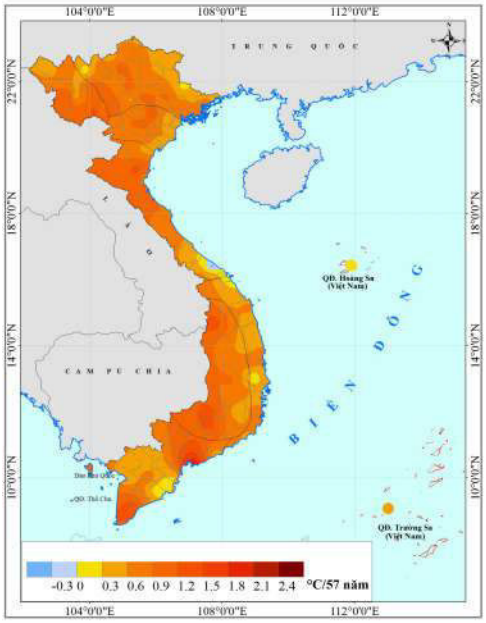
3.2.2. Lượng mưa

Trong thời kỳ 1958-2014, lượng mưa năm tính trung bình cả nước có xu thế tăng nhẹ. Trong đó, tăng nhiều nhất vào các tháng mùa đông và mùa xuân; giảm vào các tháng mùa thu. Nhìn chung, lượng mưa năm ở các khu vực phía Bắc có xu thế giảm (từ 5,8% ÷ 12,5%/57 năm); các khu vực phía Nam có xu thế tăng (từ 6,9% ÷ 19,8%/57 năm). Khu vực Nam Trung Bộ có mức tăng lớn nhất (19,8%/57 năm); khu vực đồng bằng Bắc Bộ có mức giảm lớn nhất (12,5%/57 năm).

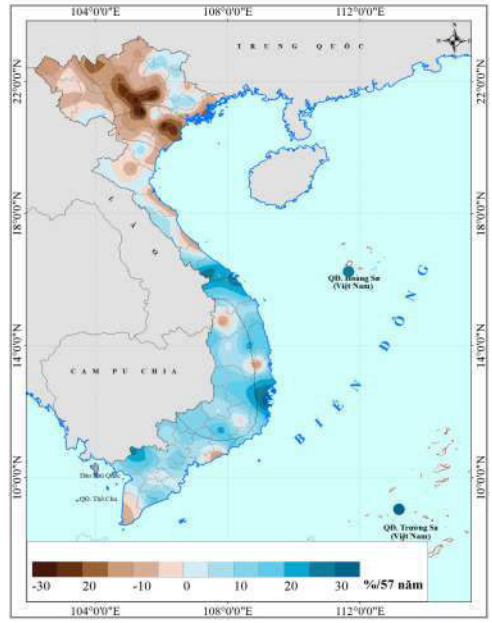
Đối với các khu vực phía Bắc, lượng mưa chủ yếu giảm rõ nhất vào các tháng mùa thu và tăng nhẹ vào các tháng mùa xuân. Đối với các khu vực phía Nam, lượng mưa các mùa ở các vùng khí hậu đều có xu thế tăng; tăng nhiều nhất vào các tháng mùa đông (từ 35,3% ÷ 80,5%/57 năm) và mùa xuân (từ 9,2% ÷ 37,6%/57 năm) (**Hình 3.7** và **Bảng 3.3**).

Bảng 3.3. Thay đổi lượng mưa (%) trong 57 năm qua (1958-2014) ở các vùng khí hậu

Khu vực	Xuân	Hè	Thu	Đông	Năm
Tây Bắc	19,5	-9,1	-40,1	-4,4	-5,8
Đông Bắc	3,6	-7,8	-41,6	10,7	-7,3
Đồng bằng Bắc Bộ	1,0	-14,1	-37,7	-2,9	-12,5
Bắc Trung Bộ	26,8	1,0	-20,7	12,4	0,1
Nam Trung Bộ	37,6	0,6	11,7	65,8	19,8
Tây Nguyên	11,5	4,3	10,9	35,3	8,6
Nam Bộ	9,2	14,4	4,7	80,5	6,9



Hình 3.6. Thay đổi nhiệt độ trung bình năm (°C) thời kỳ 1958-2014



Hình 3.7. Thay đổi lượng mưa năm (%) thời kỳ 1958-2014

3.2.3. Các hiện tượng cực đoan liên quan đến nhiệt độ

Theo số liệu quan trắc thời kỳ 1961-2014, nhiệt độ ngày cao nhất (Tx) và thấp nhất (Tm) có xu thế tăng rõ rệt, với mức tăng cao nhất lên tới 1°C/10 năm. Số ngày nóng (số ngày có Tx ≥35°C) có xu thế tăng ở hầu hết các khu vực của cả nước, đặc biệt là ở Đông Bắc, đồng bằng Bắc Bộ và Tây Nguyên với mức tăng phổ biến 2÷3 ngày/10 năm, nhưng giảm ở một số trạm thuộc Tây Bắc, Nam Trung Bộ và khu vực phía Nam. Các kỷ lục về nhiệt độ trung bình cũng như nhiệt độ tối cao liên tục được ghi nhận từ năm này qua năm khác. Một ví dụ điển hình như tại trạm Con Cuông (Nghệ An), nhiệt độ cao nhất quan trắc được trong đợt nắng nóng năm 1980 là 42°C, năm 2010 là 42,2°C và năm 2015 là 42,7°C.

Số lượng các đợt hạn hán, đặc biệt là hạn khắc nghiệt gia tăng trên phạm vi toàn quốc. Các giá trị kỷ lục liên tiếp được ghi nhận trong vài năm trở lại đây. Từ năm 2000 đến nay, khô hạn gay gắt hầu như năm nào cũng xảy ra. Vào năm 2010 mức độ thiếu hụt dòng chảy trên hệ thống sông, suối cả nước so với trung bình nhiều năm từ 60÷90%, mực nước ở nhiều nơi rất thấp, tương ứng với tần suất lặp lại 40÷100 năm. Năm 2015 mùa mưa kết thúc sớm, dẫn đến tổng lượng mưa thiếu hụt nhiều so với trung bình nhiều năm trên phạm vi cả nước, đặc biệt là ở Nam Bộ, Nam Trung Bộ và Tây Nguyên.

Số ngày rét đậm, rét hại ở miền Bắc có xu thế giảm, đặc biệt là trong hai thập kỷ gần đây, tuy nhiên có sự biến động mạnh từ năm này qua năm khác, xuất hiện những đợt rét

đậm kéo dài kỷ lục, những đợt rét hại có nhiệt độ khá thấp. Năm 2008 miền Bắc trải qua đợt rét đậm, rét hại kéo dài 38 ngày (từ 13/1 đến 20/2), băng tuyết xuất hiện trên đỉnh Mẫu Sơn (Lạng Sơn) và Hoàng Liên Sơn (Lào Cai), nhiệt độ có giá trị -2 và -3°C. Mùa đông 2015-2016, rét đậm, rét hại diện rộng ở miền Bắc, tuy không kéo dài nhưng nhiệt độ đạt giá trị thấp nhất trong 40 năm gần đây; tại các vùng núi cao như Pha Đin, Sa Pa hay Mẫu Sơn, nhiệt độ thấp nhất dao động từ -5 đến -4°C; băng tuyết xuất hiện nhiều nơi, đặc biệt là ở một số nơi như Ba Vì (Hà Nội) và Kỳ Sơn (Nghệ An) có mưa tuyết lần đầu tiên trong lịch sử.

3.2.4. Các hiện tượng cực đoan liên quan đến mưa

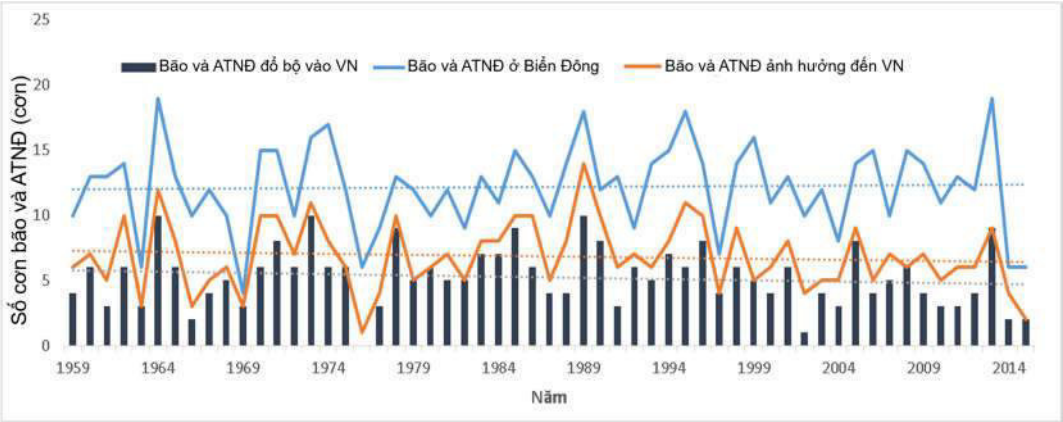
Mưa cực đoan có xu thế biến đổi khác nhau giữa các vùng khí hậu: giảm ở hầu hết các trạm thuộc Tây Bắc, Đông Bắc, đồng bằng Bắc Bộ và tăng ở phần lớn các trạm thuộc các vùng khí hậu khác. Số liệu quan trắc cho thấy mưa trái mùa và mưa lớn dị thường xảy ra nhiều hơn. Trong những năm gần đây, mưa lớn xảy ra bất thường hơn cả về thời gian, địa điểm, tần suất và cường độ. Ví dụ, mưa lớn kỷ lục năm 2008 ở Hà Nội và lân cận, với lượng mưa quan trắc được từ 19 giờ ngày 30/10/2008 đến 01 giờ ngày 1/11/2008 lên tới 408mm tại trạm Hà Nội. Mưa lớn vào tháng 10/2010 ở khu vực từ Nghệ An đến Quảng Bình với tổng lượng mưa 10 ngày dao động từ 700÷1600mm, chiếm trên 50% tổng lượng mưa năm. Trận mưa lớn ở Quảng Ninh vào cuối tháng 7 đầu tháng 8/2015 đã lập kỷ lục cường độ mưa tập trung trên phạm vi hẹp; cụ thể, trong cả đợt mưa từ 23/07 đến 04/08, tổng lượng mưa đo được dao động từ 1000÷1300mm, riêng tại Cửa Ông lượng mưa đo được gần 1600mm. Mưa lớn không chỉ xảy ra trong mùa mưa mà ngay cả trong mùa khô, đợt mưa trái mùa từ ngày 24 đến 27/3/2015 ở Thừa Thiên - Huế đến Quảng Ngãi có lượng mưa phổ biến từ 200÷500mm.

3.2.5. Bão và áp thấp nhiệt đới

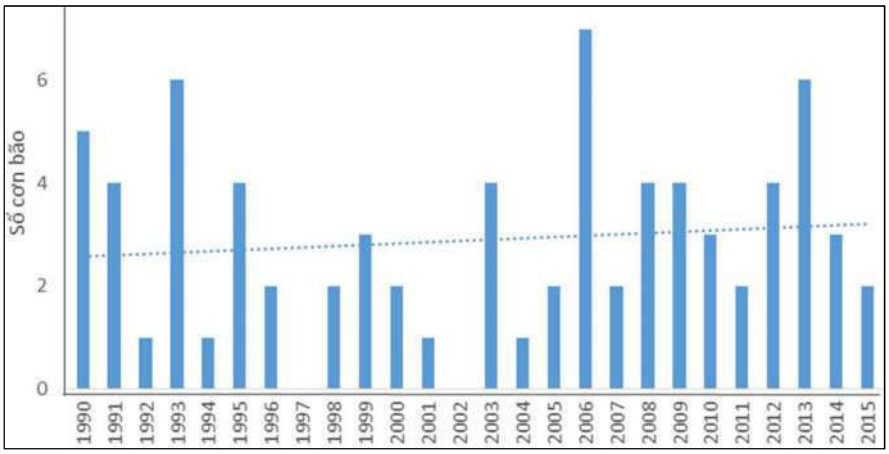
Theo số liệu thống kê thời kỳ 1959-2015, trung bình hàng năm có khoảng 12 cơn bão và áp thấp nhiệt đới (ATNĐ) hoạt động trên Biển Đông, trong đó khoảng 45% số cơn hình thành ngay trên Biển Đông và 55% số cơn hình thành từ Thái Bình Dương di chuyển vào. Mỗi năm có khoảng 7 cơn bão và áp thấp nhiệt đới ảnh hưởng đến Việt Nam, trong đó có 5 cơn đổ bộ hoặc ảnh hưởng trực tiếp đến đất liền nước ta. Nơi có tần suất hoạt động của bão và áp thấp nhiệt đới lớn nhất nằm ở phần giữa của khu vực Bắc Biển Đông. Khu vực bờ biển miền Trung từ 16°N đến 18°N và khu vực bờ biển Bắc Bộ (từ 20°N trở lên) có tần suất hoạt động của bão và áp thấp nhiệt đới cao nhất trong cả dải ven biển Việt Nam.

Theo số liệu thời kỳ 1959-2015, bão và áp thấp nhiệt đới hoạt động trên Biển Đông, ảnh hưởng và đổ bộ vào Việt Nam là ít biến đổi. Tuy nhiên, biến động của số lượng bão và áp thấp nhiệt đới là khá rõ; có năm lên tới 18÷19 cơn bão và áp thấp nhiệt đới hoạt động trên Biển Đông (19 cơn vào năm 1964, 2013; 18 cơn vào năm 1989, 1995); nhưng có năm chỉ có 4÷6 cơn (4 cơn vào năm 1969, 6 cơn vào năm 1963, 1976, 2014, 2015) (**Hình 3.8**). Theo số liệu thống kê trong những năm gần đây, những cơn bão mạnh (sức gió mạnh nhất từ cấp 12 trở lên) có xu thế tăng nhẹ (**Hình 3.9**). Mùa bão kết thúc muộn hơn và đường đi của bão có xu thế dịch chuyển về phía Nam với nhiều cơn bão đổ bộ vào khu vực phía Nam hơn trong những năm gần đây.

Hoạt động và ảnh hưởng của bão và áp thấp nhiệt đới đến nước ta trong những năm gần đây có những diễn biến bất thường. Tháng 3/2012, bão Pakhar đổ bộ vào miền Nam Việt Nam với cường độ gió mạnh nhất theo số liệu qua trắc được. Bão Sơn Tinh (10/2012) và Hai Yan (10/2012) có quỹ đạo khác thường khi đổ bộ vào miền Bắc vào cuối mùa bão. Năm 2013 có số lượng bão và áp thấp nhiệt đới đổ bộ vào Việt Nam nhiều nhất (8 cơn bão và 1 áp thấp nhiệt đới).



Hình 3.8. Diễn biến bão và áp thấp nhiệt đới thời kỳ 1959-2014



Hình 3.9. Diễn biến bão với cường độ gió từ cấp 12 trở lên ở Biển Đông (1990-2015)

3.3. Biến đổi của mực nước biển

Hộp 6. Tóm tắt xu thế biến đổi mực nước biển tại Việt Nam

- Theo số liệu mực nước quan trắc tại các trạm hải văn:
  - Mực nước tại hầu hết các trạm đều có xu thế tăng.
  - Trạm Phú Quý có xu thế tăng mạnh nhất (5,6mm/năm).
  - Trạm Hòn Ngư và Cô Tô có xu thế giảm (5,77 và 1,45mm/năm).
  - Trạm Cồn Cỏ và Quy Nhơn không có xu thế rõ rệt.
  - Mực nước trung bình tại tất cả các trạm có xu thế tăng khoảng 2,45mm/năm.
  - Giai đoạn 1993-2014, mực nước tại các trạm có xu thế tăng khoảng 3,34mm/năm.
- Theo số liệu vệ tinh giai đoạn 1993-2014:
  - Mực nước trung bình toàn Biển Đông có xu thế tăng (4,05±0,6mm/năm).
  - Mực nước trung bình khu vực ven biển Việt Nam có xu thế tăng (3,50±0,7mm/năm).
  - Mực nước khu vực ven biển Nam Trung Bộ tăng mạnh nhất (5,6mm).
  - Mực nước khu vực ven biển Vịnh Bắc Bộ có mức tăng thấp nhất (2,5mm/năm).

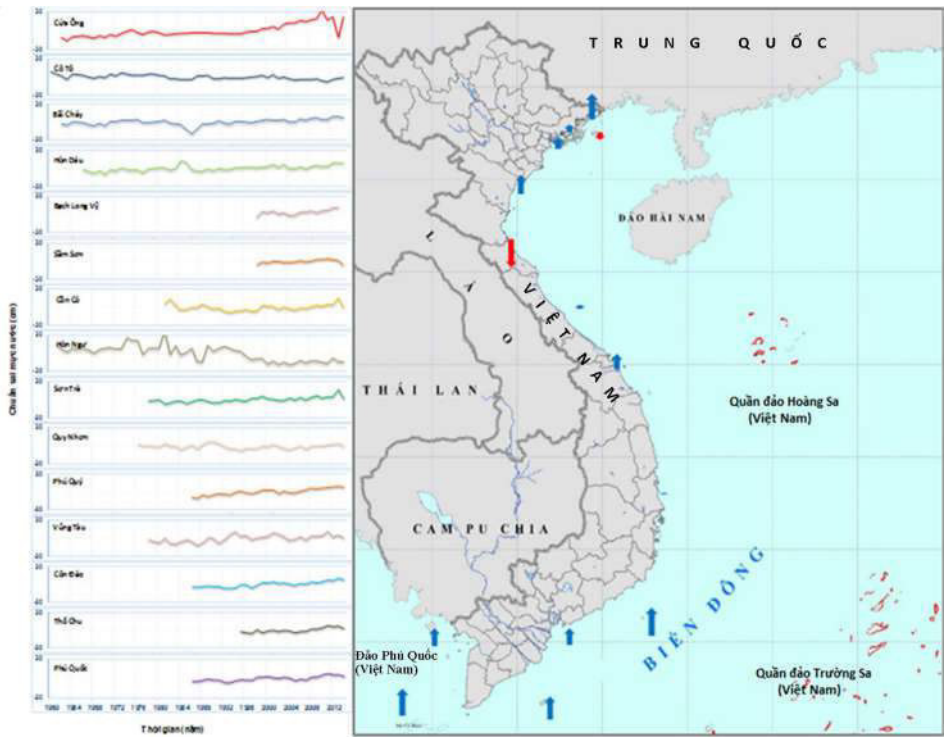
3.3.1. Biến đổi mực nước biển theo số liệu quan trắc tại các trạm hải văn

Phương pháp phân tích xu thế biến đổi mực nước theo thời gian và phương pháp kiểm nghiệm thống kê T-test đã được áp dụng để đánh giá xu thế biến đổi mực nước biển tại các trạm quan trắc. Kết quả tính toán cho thấy, ngoại trừ trạm Cồn Cỏ và trạm Quy Nhơn có

xu thế không rõ ràng, không thỏa mãn tiêu chuẩn kiểm nghiệm, số liệu tại hầu hết các trạm đều thỏa mãn tiêu chuẩn. Tại hầu hết các trạm, mực nước biển có xu thế tăng, với tốc độ mạnh nhất vào khoảng 5,58mm/năm tại Phú Quý và 5,28mm tại Thổ Chu. Tuy nhiên, mực nước tại trạm Cô Tô và Hòn Ngư lại có xu thế giảm với tốc độ lần lượt là 5,77 và 1,45mm/năm. Tính trung bình, mực nước tại các trạm hải văn của Việt Nam có xu hướng tăng rõ rệt với mức tăng khoảng 2,45mm/năm (**Bảng 3.4**, **Hình 3.10**). Nếu tính trong thời kỳ 1993-2014, mực nước biển trung bình tại các trạm hải văn đều có xu thế tăng với mức độ tăng trung bình khoảng 3,34mm/năm.

Bảng 3.4. Đánh giá và kiểm nghiệm thống kê xu thế biến đổi mực nước biển trung bình

TT	Tên trạm	Thời gian quan trắc	Xu thế biến đổi	Chỉ số kiểm nghiệm	Đánh giá
1	Cửa Ông	1962 - 2014	5,23	0,78	Tăng
2	Cô Tô	1960 - 2014	-1,39	0,60	Giảm
3	Bãi Cháy	1962 - 2014	1,54	0,50	Tăng
4	Bạch Long Vỹ	1998 - 2014	1,33	0,58	Tăng
5	Hòn Dáu	1960 - 2014	2,02	0,62	Tăng
6	Sầm Sơn	1998 - 2014	3,65	0,80	Tăng
7	Hòn Ngư	1961 - 2014	-5,77	0,71	Giảm
8	Cồn Cỏ	1981 - 2014	0,61	0,11	Không rõ xu thế
9	Sơn Trà	1978 - 2014	2,89	0,70	Tăng
10	Quy Nhơn	1986 - 2014	-0,01	0,09	Không rõ xu thế
11	Phú Quý	1986 - 2014	5,58	0,90	Tăng
12	Vũng Tàu	1978 - 2014	3,19	0,60	Tăng
13	Côn Đảo	1986 - 2014	4,79	0,86	Tăng
14	Thổ Chu	1995-2014	5,28	0,79	Tăng
15	Phú Quốc	1986-2014	3,40	0,76	Tăng
	Trung bình		**2,45**		

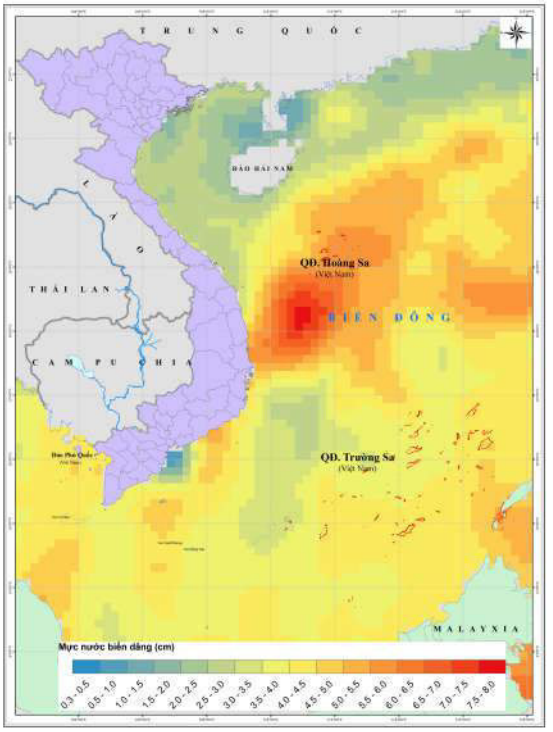


Hình 3.10. Xu thế biến đổi mực nước biển trung bình năm tại các trạm hải văn

3.3.2. Biến đổi mực nước biển theo số liệu vệ tinh

Tốc độ biến thiên mực nước biển trung bình theo số liệu vệ tinh được xác định theo phương pháp tương tự như số liệu tại trạm hải văn. Xu thế biến đổi được tính từ chuỗi số liệu chuẩn sai độ cao bề mặt biển từ năm 1993 đến 2014, kết quả cho thấy, mực nước trung bình toàn Biển Đông biến đổi với tốc độ khoảng 4,05±0,6mm/năm, cao hơn so với tốc độ tăng trung bình toàn cầu trong cùng giai đoạn (3,25 ± 0,08 mm/năm) (**Hình 3.11**).

Phân bố theo không gian của xu thế thay đổi mực nước biển ở Biển Đông được trình bày trong **Hình 3.11**. Mực nước ở vùng biển ngoài khơi miền Trung (từ bờ biển Việt Nam sang Philippine có xu thế tăng cao nhất (5,0÷5,5mm/năm). Khu vực phía bắc Biển Đông có tốc độ tăng thấp hơn (1,0÷2,0mm/năm).



Hình 3.11. Xu thế thay đổi mực nước biển toàn Biển Đông theo số liệu vệ tinh

Tính trung bình cho toàn dải ven biển Việt Nam, mực nước biển tăng khoảng 3,50±0,7mm/năm. Khu vực ven biển Trung Bộ tăng mạnh nhất với tốc độ tăng khoảng trên 4mm/năm, trong đó lớn nhất tại khu vực ven biển Nam Trung Bộ với tốc độ tăng đến trên 5,6mm/năm; khu vực ven biển vịnh Bắc Bộ có mức tăng thấp hơn, khoảng 2,5mm/năm (**Hình 3.11**).