

Bài báo khoa học

Quản lý hoạt động dự báo, cảnh báo khí tượng thủy văn trong bối cảnh chuyển đổi số và công nghệ 4.0: Thực trạng và giải pháp

Vũ Đức Long^{1*}, Nguyễn Thị Thu Loan¹, Trần Quang Năng¹, Phạm Hoàng Hùng¹

¹ Vụ Quản lý dự báo khí tượng thủy văn, Tổng cục Khí tượng Thủy văn;
longkttv@gmail.com; loanthunguyen268@gmail.com; trannang030984@gmail.com;
phhung@gmail.com

*Tác giả liên hệ: longkttv@gmail.com; Tel: +84-914081981

Ban Biên tập nhận bài: 8/4/2023; Ngày phản biện xong: 12/6/2023; Ngày đăng bài: 25/6/2023

Tóm tắt: Trong bối cảnh chuyển đổi số và công nghệ 4.0 đang diễn ra mạnh mẽ ở tất cả các ngành, nghề, lĩnh vực tại các nước trên thế giới, trong đó có Việt Nam, việc thực hiện chuyển đổi số trong hoạt động dự báo, cảnh báo khí tượng thủy văn (KTTV) là một xu hướng tất yếu. Điều này đòi hỏi công tác quản lý về hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV cũng cần phải có những điều chỉnh, thay đổi căn bản để có thể làm tốt vai trò của mình. Đó là điều chỉnh, thay đổi từ tư duy quản lý đến phương thức điều hành, tổ chức thực hiện hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV một cách thống nhất, đồng bộ, hiệu quả. Khi đó, công tác quản lý hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV sẽ trở lên dễ dàng hơn, hiệu quả và tiết kiệm chi phí hơn. Phương pháp phân tích, tổng hợp, thống kê được sử dụng trong bài báo này để đánh giá và đề xuất được các giải pháp cụ thể trong quản lý hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV khi thực hiện ứng dụng công nghệ thông tin và chuyển đổi số. Những kết quả nghiên cứu này là một trong những cơ sở để đề xuất sửa đổi, bổ sung các quy trình, quy định pháp lý nhằm nâng cao hiệu quả quản lý, giám sát hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV trên phạm vi cả nước trong bối cảnh chuyển đổi số và công nghệ 4.0.

Từ khóa: Quản lý dự báo, cảnh báo KTTV; Chuyển đổi số; Công nghệ 4.0.

1. Mở đầu

Chuyển đổi số là quá trình thay đổi tổng thể và toàn diện của các cá nhân, tổ chức về cách sống, cách làm việc và phương thức sản xuất dựa trên các công nghệ số [1]. Chuyển đổi số là xu thế tất yếu và đang trở lên phổ biến, lan tỏa mọi ngành nghề, lĩnh vực trên toàn cầu. Không nằm ngoài xu hướng đó, chuyển đổi số trong lĩnh vực KTTV cũng đang diễn ra mạnh mẽ tại các nước trên thế giới, trong đó có Việt Nam trên cả ba trụ cột chính: quan trắc; lưu trữ và xử lý thông tin; dự báo, cảnh báo KTTV. Công nghệ số và thông tin kỹ thuật số đã cung cấp khả năng thu thập dữ liệu chính xác, liên tục từ các cảm biến tự động và hệ thống giám sát từ xa. Các trạm quan trắc KTTV truyền thống cũng đã được nâng cấp để thu nhận và truyền dữ liệu theo thời gian thực đến người dùng. Mô hình thời tiết số (NWP) phát triển cho phép phân tích dữ liệu và dự báo thời tiết với độ chính xác cao hơn.

Trên thế giới, sự tích lũy các tiến bộ trong khoa học máy tính, thiết kế phần cứng, truyền thông và công nghệ pin trong hai thập kỷ qua đã hình thành một hệ sinh thái không giới hạn thiết bị công nghệ thông tin được kết nối với nhau, có khả năng tự động trao đổi thông tin qua hạ tầng mạng Internet (Internet vạn vật-IoT), đó là một hệ sinh thái công nghệ mới của các thiết bị kết nối với nhau và nó sẽ cho phép kích hoạt hàng tỷ thiết bị thông

minh ở tất cả các tầng của mạng máy tính. Ngoài ra, với sự phát triển vượt bậc của công nghệ điện toán đám mây (*Cloud Computing*), đã và đang làm thay đổi cách tổ chức thông tin, dữ liệu hiện nay. Với mô hình tích hợp điện toán đám mây điển hình của, một bên là Data Producer (người tạo ra dữ liệu và cung cấp cho điện toán đám mây), ở giữa là Hệ thống điện toán đám mây (hệ thống tính toán mạnh mẽ và thông minh), và ở phía bên kia là Data Consumer (tương tác với một hệ thống đám mây để sử dụng dữ liệu) [2]. Trong bài toán quan trắc KTTV, có hai kịch bản khả thi cho hệ thống trạm KTTV tự động (AWS) trong tương lai: (i) Edged IoT AWS (trạm tự động sử dụng công nghệ internet vạn vật lớp biên) và (ii) AWS (trạm quan trắc tự động) ảo dựa trên đám mây. Trong kịch bản đầu tiên, công nghệ IoT cùng với các thiết bị thông minh sẽ thay đổi các đặc tính của các hệ thống quan trắc bề mặt truyền thống, các công nghệ mới sẽ biến AWS thành một thành phần quan trọng trong hệ thống quan trắc KTTV. Các thiết bị Edged IoT AWS sẽ đóng vai trò quan trọng trong việc thu thập, xử lý, lưu trữ và cung cấp dữ liệu cho người dùng cuối hoặc phục vụ các bài toán tính toán cao hơn và hoạt động như các Hệ thống xử lý biên (*Edge Processing Systems*) [3–4].

Cũng theo báo cáo của WMO, trong tương lai gần, các công nghệ đột phá trong viễn thông và tính toán có thể loại bỏ nhu cầu sử dụng các hệ thống AWS hiện nay [4]. Trong trường hợp này, nếu triển khai mạng lưới quan trắc trên các khu vực rộng lớn với hàng trăm, hàng ngàn nút và sử dụng thiết bị đo ứng dụng công nghệ mạng không dây (LPWAN) mới như các công nghệ truyền thông không dây (*LoRa hoặc Narrow Band-IoT*), sẽ có khả năng tạo ra các trạm KTTV ảo dựa trên nhu cầu cụ thể hoặc sở thích nghiên cứu của mỗi đơn vị, cá nhân. Với kịch bản này, bản đồ số hóa các vị trí của thiết bị đầu cuối cũng sẽ hiển thị tất cả các thông tin về trạng thái của thiết bị đầu cuối, số lượng và loại cảm biến được kết nối với các nút và tần suất đo của mỗi cảm biến.

Đối với hệ thống thu thập và xử lý số liệu KTTV: Theo xu hướng phát triển, thông tin, dữ liệu KTTV đang dần trở thành yếu tố quan trọng nhất đối với hoạt động của mọi ngành nghề, lĩnh vực. Mọi quyết định đều cần dựa trên kết quả phân tích dữ liệu. Do đó, việc xây dựng một hệ thống công nghệ thông tin (bao gồm phần cứng, phần mềm) có khả năng thu thập, xử lý dữ liệu ngày càng đa dạng, dung lượng và tần suất trao đổi lớn nhưng vẫn đảm bảo tính chính xác, kịp thời, ổn định để phục vụ các công tác chuyên môn là yêu cầu thiết yếu. Hiện tại, các nước phát triển trên thế giới đều đã và đang đầu tư, xây dựng, hoàn thiện hệ thống quản trị dữ liệu KTTV tập trung trên nền tảng phân tích dữ liệu lớn (*Big Data*).

Với sự phát triển mạnh mẽ về công nghệ quan trắc, công nghệ lưu trữ và truyền thông tin tốc độ cao đã giúp đa dạng hóa nguồn dữ liệu về môi trường trái đất, bao gồm từ khảo sát thực địa, quan trắc tự động trên mặt đất, quan trắc dựa trên IoT, từ các cảm biến tự động trên tàu, máy bay không người lái (UAV) và từ các hệ thống vệ tinh giám sát Trái đất (*Earth Observation Satellite - EOS*). Bên cạnh các nguồn dữ liệu rất lớn trên không gian lưới của các hệ thống mô hình số khí tượng, hải dương ở độ phân giải ngày càng tinh hơn (do năng lực tính toán được tăng lên vượt bậc của các hệ thống tính song song hiệu năng cao, các siêu máy tính). Do đó, dung lượng dữ liệu quan trắc, dự báo trong các lĩnh vực khoa học Trái Đất được tăng cấp số mũ sau mỗi năm [5].

Dữ liệu về ra đa thời tiết và vệ tinh thời tiết cũng là một xu thế mới của số liệu KTTV. Hệ thống mạng lưới ra đa và vệ tinh thời tiết ngày càng tinh vi sẽ hỗ trợ rất lớn trong theo dõi thiên tai và dự báo, cảnh báo sớm các hiện tượng thời tiết, thủy văn nguy hiểm. Để đảm bảo chất lượng của dữ liệu ra đa và vệ tinh thời tiết, thông thường, các dữ liệu này sẽ được truyền đến trung tâm dữ liệu điện toán đám mây tập trung qua mạng để kiểm soát. Tuy nhiên, nguồn dữ liệu quét liên tục từ radar thời tiết thế hệ mới khiến cho dung lượng dữ liệu tăng theo cấp số nhân, trong khi mô hình dịch vụ điện toán đám mây không thể đáp ứng yêu cầu về kiểm soát, xử lý chất lượng dữ liệu này [6]. Vì vậy, để kiểm soát, đảm bảo chất lượng dữ liệu ra đa thời tiết, cung cấp kịp thời cho hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV, phương pháp kết hợp điện toán đám mây và điện toán biên (*edge*) trong đó cho phép ra đa

thời tiết trở thành một thiết bị biên với khả năng tính toán và lưu trữ đã được áp dụng [7]. Điều này đã mở rộng các nguồn lực tính toán và lưu trữ tập trung đến biên, giảm đáng kể áp lực lên băng thông mạng. Mặt khác, việc sử dụng điện toán đám mây như một bổ sung cho năng lực tính toán hạn chế hiện nay.

Trong hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV, những năm gần đây, chất lượng dự báo, cảnh báo KTTV đã được cải thiện đáng kể nhờ hệ thống quan trắc hiện đại, năng lực tính toán nhảy vọt khi có sự xuất hiện của các siêu máy tính. Nhìn chung, không gian để tăng cường chất lượng dự báo vẫn còn rất lớn và có thể cải tiến. Nhờ ứng dụng trí tuệ nhân tạo (AI) và các công nghệ khoa học dữ liệu, nhất là học máy và khai thác dữ liệu đã nâng cao độ chính xác, thu hẹp khoảng cách giữa dự báo mô hình số và dự báo nghiệp vụ. Các kỹ thuật AI cũng trích xuất thông tin không thể có được từ mô hình dự báo bằng cách kết hợp kết quả mô hình với số liệu quan trắc để cung cấp hỗ trợ quyết định bổ sung cho nhà dự báo và người dùng.

Yêu cầu tổng quát thường định hướng đến kết quả chính là phân loại được các hiện tượng với những đặc trưng cụ thể (có mưa hay không mưa,...) và định lượng hóa thông tin về những yếu tố KTTV (diễn biến của nhiệt độ, độ ẩm, gió, mưa,... theo thời gian, không gian hoặc cho một địa điểm cụ thể). Các thuật toán Học máy (*Machine Learning - ML*), Học sâu (*Deep Learning- DL*) là cách thức thực hiện cụ thể của khái niệm trí tuệ nhân tạo. Việc ứng dụng ML/DL là quá trình lựa chọn phù hợp cho từng dạng bài toán dự báo KTTV cụ thể, thông qua tiếp cận theo chức năng phân nhóm/lựa chọn đặc trưng hoặc theo chức năng cách hiểu của mô hình thống kê hồi quy thông thường [8].

Để nâng cao chất lượng dự báo, cảnh báo KTTV, nhiều nước thế giới đã chuyển sang hướng sang tiếp cận liên ngành, trong đó ưu tiên ứng dụng những thành tựu đột phá trong công nghệ thông tin nói chung và trong lĩnh vực dữ liệu lớn, trí tuệ nhân tạo nói riêng. Bởi khả năng tập hợp thông tin tổng hợp đa dạng và kịp thời cho dự báo viên thông qua việc bổ sung các công cụ trong nghiệp vụ với tính chất trực quan, kịp thời dựa trên nền tảng dữ liệu lớn và hệ thống trí tuệ nhân tạo. Các hệ thống này ngoài việc cho phép truy cập đa dạng các nguồn dữ liệu, còn cho phép đưa ra các “thông tin” kịp thời cho các dự báo viên về những nguy cơ, hệ quả khác nhau trong công tác dự báo, cảnh báo KTTV, giảm thiểu việc bỏ sót quá trình giám sát dự báo. Có thể kể đến như Chương trình Phát triển của Liên Hợp Quốc (UNDP) đã tạo ra một hệ thống cảnh báo sớm đa nguy cơ (MHEWS), áp dụng Big data, công nghệ Học máy ML và AI dựa trên dữ liệu do các nước cung cấp để hỗ trợ Georgia dự báo chính xác và cảnh báo sớm cho người dân, giúp giảm 30% thiệt hại nhân sự và tài chính. Hay tại Mỹ, Tập đoàn công nghệ đa quốc gia IBM đã phát triển Big Data, xử lý Dữ liệu có cấu trúc và phi cấu trúc, được xử lý bởi Operations Risk Insight (ORI), một nền tảng Big data áp dụng AI và ML để trực quan hóa và hỗ trợ quá trình ra quyết định, đưa ra tới 26 triệu dự báo hàng ngày [9].

Ở trong nước, Tổng cục KTTV cũng đã và đang thực hiện nghiên cứu, ứng dụng các công nghệ cao và chuyển đổi số trong hoạt động quan trắc, thu thập, lưu trữ thông tin, dữ liệu và dự báo, cảnh báo KTTV. Điển hình như việc xây dựng hệ thống quản lý dữ liệu dùng chung (CDH), xây dựng hệ thống hỗ trợ dự báo SmartMET để tạo ra các bản tin dự báo điểm,... đặc biệt phải kể đến việc Trung tâm Dự báo KTTV quốc gia trực thuộc Tổng cục KTTV đã ứng dụng công nghệ WEB-GIS để tạo ra các bản tin cảnh báo cho Trung tâm hỗ trợ dự báo thời tiết nguy hiểm khu vực Đông Nam Á, hay việc thiết lập bổ sung các dự báo điểm và cho phép lựa chọn linh hoạt trên tảng web cho lãnh thổ nước Lào trong phạm vi của biên bản ghi nhớ giữa Việt Nam và Lào từ năm 2021 đến nay [10].

Trong những năm vừa qua, việc ứng dụng trí tuệ nhân tạo để nhận dạng, hỗ trợ dự báo và dự báo, cảnh báo các hiện tượng khí tượng, thủy văn, hải văn nguy hiểm như cảnh báo đông cực ngắn, nhận dạng bão, áp thấp nhiệt đới hoạt động trên Biển Đông, mưa lớn diện rộng, không khí lạnh, dự báo dị thường dòng chảy thủy văn, dự báo nước biển dâng, sóng lớn,... cũng được các đơn vị trực thuộc Tổng cục KTTV nghiên cứu thực hiện [11–14]. Một

trong những nghiên cứu được công bố ở quốc tế có tính thực tiễn cao đó là đề xuất một phương pháp nâng cao năng lực dự báo mưa, lũ của một cặp mô hình KTTV bằng cách tạo ra lượng mưa tổ hợp kết hợp với lượng mưa dự báo dựa trên ra đa và sai số không gian của lượng mưa dự báo [15].

Tại các đơn vị dự báo thuộc hệ thống dự báo, cảnh báo KTTV quốc gia cũng đã có những nghiên cứu bước đầu về ứng dụng công nghệ AI trong việc thu thập dữ liệu phục vụ dự báo thời tiết, dự báo mặn như Đài KTTV khu vực Trung Trung Bộ [9, 16] và Đài KTTV khu vực Nam Bộ [9, 17]... để nâng cao chất lượng, hiệu quả phục vụ.

Để có thể thực hiện tốt các bài toán dự báo, cảnh báo KTTV, việc sử dụng các siêu máy tính với tốc độ tính toán lớn và nhanh cũng là thành phần quan trọng không thể thiếu trong việc ứng dụng công nghệ cao và chuyên đổi số. Trước đây, Tổng cục KTTV sử dụng các máy tính bó song song còn một số hạn chế, thì nay đã được thay bằng hệ thống siêu máy tính CrayXC40 - hệ thống tính toán dành cho bài toán dự báo khí tượng mạnh trong khu vực Đông Nam Á. Hệ thống này được đánh giá tương đương với hệ thống CrayXC40 của Cơ quan khí tượng Singapore. Hệ thống CrayXC40 của Việt Nam được trang bị 56 máy chủ tính toán với trên 2.100 bộ vi xử lý, cho phép đạt năng lực tính toán đạt xấp xỉ 80TFLOPS và thực hiện bài toán dự báo thời tiết ở quy mô 2-3 km cho toàn bộ lãnh thổ Việt Nam và Biển Đông, dự báo 3 ngày trong thời gian 30-40 phút. Với hệ thống siêu máy tính này, ngành KTTV đã và đang thực hiện đồng hóa số liệu, tích hợp toàn bộ các hệ thống quan trắc thời gian thực, bao gồm vệ tinh, radar, quan trắc bề mặt, đo mưa tự động,... trên cơ sở đó đưa ra các tính toán, phân tích dự báo các hiện tượng thời tiết cực đoan trong tương lai, từ ngày, tuần đến tháng [18]. Bên cạnh đó, Tổng cục KTTV cũng đã phối hợp với các viện nghiên cứu, các trung tâm nghiên cứu toán, AI cập nhật, đưa vào các công cụ mới để tăng cường được tính tự động hóa, số hóa trong việc thiết lập các loại hình bản tin dự báo KTTV và đã bước đầu mang lại hiệu quả nhất định.

Nhờ ứng dụng kịp thời và hiệu quả các thành tựu tiến bộ khoa học, công tác dự báo, cảnh báo của Ngành KTTV đã có những chuyển biến rõ rệt cả về lượng và chất cũng như đa dạng hóa hình thức thông tin hướng đến từng đối tượng sử dụng. Cụ thể như: Mở rộng thời hạn dự báo thời tiết, cảnh báo sớm thiên tai tới 10 ngày; nội dung và hình thức bản tin đã có nhiều thay đổi, tập trung cung cấp các thông tin dự báo ở quy mô nhỏ hơn (cấp huyện, cấp xã) và thời gian dài hơn. Dự báo, cảnh báo các thiên tai KTTV nguy hiểm cũng có nhiều cải tiến như mưa lớn diện rộng đã được cảnh báo trước 2-3 ngày với độ tin cậy khoảng 75%; đối với mưa lớn cục bộ hoặc mưa lớn trong cơn dông, cảnh báo trước từ 30 phút đến 03 giờ; dự báo, cảnh báo rét đậm, rét hại gây ra bởi không khí lạnh trước 02-03 ngày với độ tin cậy 80-90%; dự báo, cảnh báo các đợt nắng nóng diện rộng trước từ 02-03 ngày với độ tin cậy từ 70-80%, thời điểm kết thúc các đợt nắng nóng diện rộng chính xác từ 80-90%;...[19-20].

Đánh giá chung, việc ứng dụng các kỹ thuật tiên tiến trong thời kỳ chuyển đổi số như IoT, AI, dữ liệu lớn, điện toán đám mây,... trong lĩnh vực quan trắc, xử lý thông tin dữ liệu và dự báo KTTV trên thế giới và ở nước ta mang lại nhiều lợi ích, nhưng cũng đi kèm với một số hạn chế, tồn tại và phụ thuộc vào từng khu vực, từng cơ quan KTTV mỗi nước. Cụ thể: (i) để triển khai các công nghệ mới như IoT và big data, yêu cầu một hạ tầng mạng phức tạp và băng thông cao, do đó rất khó triển khai ở các quốc gia hoặc các vùng chưa đủ điều kiện; (ii) sự thành công của IoT và big data cũng như các công nghệ 4.0 phụ thuộc vào khả năng thu thập dữ liệu chính xác và liên tục. Việc triển khai các thiết bị cảm biến và hệ thống quan trắc đòi hỏi đầu tư và phát triển phức tạp, đặc biệt là trong các khu vực khó tiếp cận và thiên tai khắc nghiệt. Việc xử lý và phân tích một khối lượng dữ liệu khổng lồ từ các thiết bị quan trắc hiện đại. Các kỹ thuật và công nghệ phức tạp như AI được sử dụng để xử lý dữ liệu, dự báo, cảnh báo KTTV chưa giải quyết được các bài toán dự báo lớn và vẫn phải có những hướng phát triển mạnh hơn, đặc biệt là các khu vực nhiệt đới như Việt Nam có sự biến động lớn về mặt động lực khí quyển.

Việc ứng dụng các nghiên cứu lỗi trong thời kì 4.0 như Big-Data, AI vào ngành khoa học trái đất nói chung và trong lĩnh vực KTTV trên thực tế đang ở giai đoạn bắt đầu nhưng có tiềm năng phát triển mạnh mẽ. Việc thiếu hụt dữ liệu quan trắc, giám sát trái đất và đặc thù, bản chất là một bài toán dự báo, khác với những thế mạnh trong phân tích dữ liệu, tổng hợp dữ liệu và nhận dạng đặc điểm mà công nghệ Big-Data và AI đang đạt được. Do đó, việc thay đổi, cập nhật phương pháp dự báo cần có những nghiên cứu, đặt bài toán một cách phù hợp để có được những kết quả trong thời gian tới. Như vậy có thể thấy, việc chuyển đổi số trong ngành KTTV cần tập trung chính vào phương thức sản xuất ra các bản tin dự báo KTTV ở hai vấn đề bao gồm: ứng dụng được phát triển mạnh của thời kì 4.0 trong quá trình tạo ra bản tin dự báo KTTV (ví dụ như các công cụ mới dựa trên Big-data, AI) và cả việc tiếp cận cập nhật, hỗ trợ các sản phẩm cốt lõi để dự báo viên tạo ra các sản phẩm dự báo - là dữ liệu dự báo từ các mô hình số trị, dữ liệu viễn thám trong giám sát và cảnh báo, dự báo cực ngắn. Sản phẩm cuối cùng của những sự thay đổi này chính là một cơ sở dữ liệu dự báo KTTV dạng số sẵn sàng ứng dụng một cách linh hoạt cho mọi nền tảng và làm đầu vào cho các loại mô hình cảnh báo dự báo khác (dự báo tác động, dự báo dựa trên thiệt hại tài chính..) [10].

Mục đích của việc nghiên cứu thực trạng về ứng dụng chuyển đổi số và công nghệ 4.0 trong hoạt động dự báo và cảnh báo KTTV nhằm tổng quan các tiềm năng, lợi ích của việc áp dụng chuyển đổi số và công nghệ 4.0 trong lĩnh vực KTTV. Trên cơ sở đó đưa ra các định hướng về quản lý hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV trong bối cảnh chuyển đổi số đảm bảo hiệu lực, hiệu quả.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là thực trạng công tác chuyển đổi số và ứng dụng công nghệ 4.0 trong hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV và việc định hướng quản lý các hoạt động này trong bối cảnh ứng dụng tiến bộ công nghệ nhằm nâng cao hiệu quả phục vụ phát triển kinh tế - xã hội, bảo đảm quốc phòng, an ninh, nhất là trong công tác phòng chống thiên tai; phạm vi nghiên cứu được thực hiện đối với Ngành KTTV.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp phân tích, tổng hợp các tài liệu tham khảo

Nghiên cứu thực hiện: (i) Thu thập các tài liệu sẵn có, bao gồm các quy định pháp luật hiện có về dự báo, cảnh báo KTTV ở Việt Nam; các nghiên cứu, giới thiệu về chuyển đổi số trong lĩnh vực KTTV đã được công bố chính thức, có độ tin cậy; các nghiên cứu, định hướng của Đảng, Nhà nước và của Ngành về công tác dự báo, cảnh báo KTTV trong bối cảnh ứng dụng chuyển đổi số; (ii) Tổng hợp, phân loại, đánh giá, phân tích, lựa chọn các thông tin, dữ liệu thu thập được để đảm bảo phù hợp với các yêu cầu, từ đó đề xuất các giải pháp quản lý trong hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV phù hợp với định hướng phát triển.

2.2.2. Phương pháp chuyên gia

Cùng với tác động của BĐKH, công tác dự báo, cảnh báo KTTV còn đứng trước thách thức rất lớn của nền cách mạng công nghiệp số 4.0, trong đó những công nghệ cũ sẽ được thay thế bằng các tiến bộ mới. Vì vậy, việc ứng dụng chuyển đổi số trong công tác chuyên môn cũng như trong công tác quản lý dự báo, cảnh báo KTTV đã và đang trở thành yêu cầu cấp thiết nhưng thực tế hiện chưa có các quy định chi tiết về khái niệm, tiêu chí, phân loại, đánh giá khả năng áp dụng các tiến bộ này. Do đó, để tìm ra cách tiếp cận, phương pháp đánh giá phù hợp với vấn đề mới này, nhóm tác giả đã tiến hành tham vấn kinh nghiệm của các chuyên gia về KTTV trong quá trình nghiên cứu này.

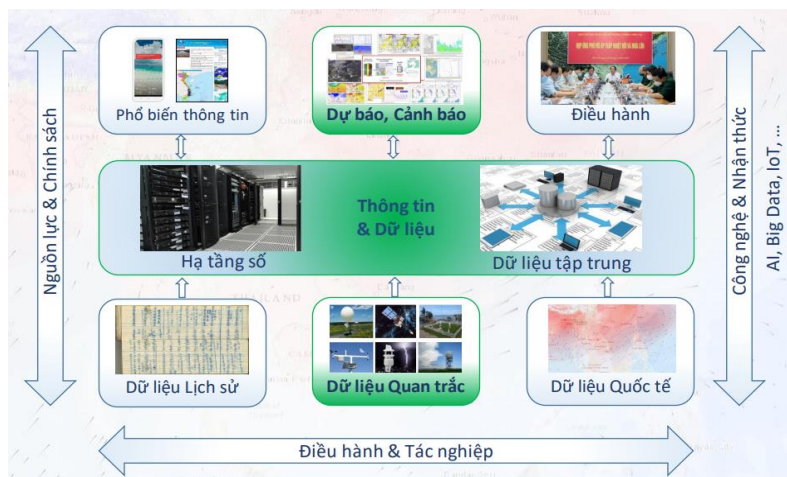
2.2.3. Phương pháp lấy phiếu điều tra, khảo sát

Nhằm có được các kết quả đánh giá tổng thể về hệ thống quản lý dự báo, cảnh báo KTTV và khả năng ứng dụng chuyển đổi số trong lĩnh vực này, nhóm tác giả đã thực hiện thu thập thông tin thông qua các phiếu điều tra, khảo sát bao gồm: phiếu lấy ý kiến các đơn vị thuộc hệ thống dự báo, cảnh báo KTTV quốc gia, phiếu lấy ý kiến các đơn vị quản lý nhà nước về KTTV ở địa phương và các bộ, ban, ngành ở trung ương và địa phương có liên quan, phiếu lấy ý kiến các tổ chức đã được cấp có thẩm quyền cấp giấy phép hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV. Đây là một trong những cơ sở để đưa ra các định hướng đề xuất sửa đổi các quy định pháp lý về dự báo, cảnh báo KTTV trong bối cảnh chuyển đổi số và ứng dụng công nghệ 4.0 cho phù hợp.

3. Kết quả và thảo luận

Trong bối cảnh ứng dụng chuyển đổi số và công nghệ 4.0 phát triển mạnh mẽ, nhằm đáp ứng yêu cầu ngày càng cao của xã hội thì công tác dự báo, cảnh báo KTTV cũng ngày càng phải được cải tiến, đa dạng hơn, hướng tới dự báo tác động của các yếu tố KTTV đến đời sống, kinh tế - xã hội, đảm bảo phục vụ đa mục đích, nhiều đối tượng, nhiều ngành nghề khác nhau và đòi hỏi số hóa cao. Theo mục tiêu đặt ra đến năm 2030 tại Chiến lược phát triển ngành KTTV đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045, công tác dự báo KTTV hàng ngày trong điều kiện bình thường có độ tin cậy đạt 80-85%. Dự báo đủ độ tin cậy quỹ đạo và cường độ áp thấp nhiệt đới trước 02-03 ngày; tăng thời hạn cảnh báo quỹ đạo và cường độ bão trước 03-05 ngày. Dự báo, cảnh báo lũ đủ độ tin cậy cho các hệ thống sông lớn ở Bắc Bộ trước 02-03 ngày, ở Trung Bộ trước 01-02 ngày, ở Nam Bộ trước 10 ngày; tăng chất lượng dự báo định lượng mưa lớn trước 02-03 ngày lên thêm 5-10% so với năm 2020; cảnh báo đủ độ tin cậy lũ quét, sạt lở đất trước 06-24 giờ; tăng thời hạn dự báo thời tiết đến 10 ngày, dự báo xu thế diễn biến các hiện tượng KTTV nguy hiểm đến 1 tháng, cảnh báo hiện tượng ENSO và tác động đến Việt Nam, dự báo hạn hán, xâm nhập mặn từ 03 tháng đến 01 năm. Cung cấp 100% thông tin phân vùng thiên tai, rủi ro thiên tai, giám sát biến đổi khí hậu, tài nguyên khí hậu, tài nguyên nước phục vụ xây dựng, thực hiện các chiến lược, quy hoạch, kế hoạch phát triển kinh tế - xã hội, dự án trọng điểm quốc gia [21].

Để đạt được các mục tiêu trên cùng với việc ứng dụng chuyển đổi số và công nghệ 4.0, Ngành KTTV cần ưu tiên thực hiện ba nhóm công việc chính phục vụ công tác KTTV, bao gồm: (i) Điều hành, tác nghiệp; (ii) Nguồn lực, chính sách; (iii) Công nghệ và Nhận thức. Ba nhóm nội dung này có mối quan hệ tương hỗ lẫn nhau trong quá trình triển khai thực hiện nên cần được quan tâm phát triển đồng thời. Trong đó, hệ thống điều hành tác nghiệp phải đảm bảo hệ thống thông tin dữ liệu được tập trung, số hóa, chia sẻ trong nước và quốc tế phục vụ công tác dự báo, cảnh báo và truyền tin thiên tai KTTV (Hình 1).



Hình 1. Mối quan hệ tương hỗ trong chiến lược ưu tiên chuyển đổi số lĩnh vực KTTV.

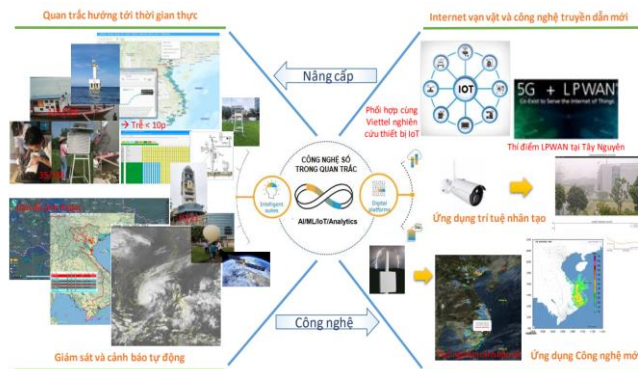
Trên cơ sở các mục tiêu phát triển chung của ngành, công tác quản lý hoạt động KTTV nói chung và hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV nói riêng cũng cần thay đổi, điều chỉnh theo các nhóm nhiệm vụ sau:

3.1. Thay đổi về tư duy quản lý

Xu hướng quản lý trên nền tảng chia sẻ đang là một trong những ưu tiên trong ứng dụng công nghệ mới hiện nay. Do đó việc thay đổi tư duy trong công tác quản lý và vận hành từ thực hiện quan trắc, thu thập, xử lý, quản lý các nguồn thông tin, dữ liệu phục vụ dự báo, cảnh báo đến thực hiện các quy trình, quy định chuyên môn về dự báo, cảnh báo KTTV cũng không nằm ngoài xu hướng đó. Cụ thể:

3.1.1. Thay đổi về thực hiện quan trắc KTTV phục vụ dự báo, cảnh báo

Để giảm bớt chi phí trong vận hành, việc quan trắc KTTV bằng công nghệ thủ công sẽ dần được thay thế bằng công nghệ khi thực hiện chuyển đổi số. Theo xu hướng đó, hiện nay, các phương tiện đo thô sơ các yếu tố KTTV cũng đang từng bước được thay thế bằng các máy kỹ thuật số; các quan trắc, đo đạc từ đơn chỉ tiêu đang dần được thay thế bằng đa chỉ tiêu. Các hệ thống quan trắc tự động cũng đã và đang được đưa vào sử dụng ngày càng rộng rãi hơn. Đặc biệt, các công nghệ quan trắc từ xa bằng vệ tinh, camera, AI cũng đang được áp dụng, thử nghiệm trên mạng lưới. Phương pháp quan trắc mới bằng công nghệ viễn thám cũng đang dần chiếm vị trí đáng kể trong hoạt động quan trắc phục vụ giám sát, dự báo trên diện rộng về KTTV. Như vậy, việc thực hiện đo đạc, quan trắc KTTV hiện đã và đang có những chuyển biến mạnh mẽ. Tuy nhiên, trong kỷ nguyên số hóa, yêu cầu mạng lưới quan trắc cần phải hướng đến phục vụ bài toán dự báo thời gian thực với độ trễ thời gian chỉ từ vài phút; các thiết bị quan trắc sử dụng các cảm biến thông minh, thông tin quan trắc phải được hỗ trợ cảnh báo đến các dự báo viên theo các ngưỡng khác nhau và có thể được truyền, lưu trữ theo các công nghệ truyền dẫn mới và Internet vạn vật (Hình 2).



Hình 2. Sơ đồ minh họa chuyển đổi số trong lĩnh vực quan trắc KTTV.

3.1.2. Thay đổi về cung cấp thông tin, dữ liệu nhanh chóng phục vụ dự báo, cảnh báo

Với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ thông tin và truyền thông nói chung và sự phát triển của hạ tầng thông tin quốc gia nói riêng, việc thực hiện quan trắc thủ công không còn phù hợp. Các hệ thống quan trắc tự động dần được thay thế, thực hiện truyền tin theo thời gian thực hoàn toàn về trung tâm xử lý cách xa hàng trăm, thậm chí hàng nghìn km để phục vụ cho việc đưa ra các dự báo, cảnh báo KTTV kịp thời, chính xác hơn. Tuy nhiên, để đảm bảo việc thu nhận, quản lý các nguồn thông tin dữ liệu, đòi hỏi hạ tầng công nghệ thông tin của Tổng cục KTTV cần phải được hoàn thiện ở cả cấp trung ương và địa phương; trong đó, hệ thống quản lý, chia sẻ dữ liệu tập trung của ngành KTTV phải được tích hợp với cơ sở dữ liệu KTTV quốc gia trên nền tảng công nghệ xử lý dữ liệu lớn. Nhờ đó, các cơ quan, tổ chức trong Tổng cục KTTV, trong Bộ Tài nguyên và Môi trường, thậm

chí với các Bộ, ngành, địa phương sẽ tăng cường sự liên kết, trao đổi, cung cấp thông tin với nhau để phục vụ công tác dự báo, cảnh báo KTTV đảm bảo hiệu quả hơn; đồng thời qua đó, đều có thể dễ dàng nắm bắt được nhờ thông tin trên hệ thống. Điều này sẽ giúp tăng tính minh bạch trong tổ chức và tối ưu hiệu suất làm việc của tất cả các thành viên trong tổ chức.

Bên cạnh đó, do số liệu quan trắc KTTV có vai trò là thông tin đầu vào trong xây dựng các chiến lược, quy hoạch, kế hoạch, dự án phát triển kinh tế - xã hội; các thông tin dự báo, cảnh báo thiên tai KTTV cũng có vai trò vô cùng quan trọng trong đời sống kinh tế - xã hội, nhất là trong công tác phòng, tránh, giảm nhẹ thiệt hại do thiên tai gây ra. Vì vậy, việc chuyển đổi số trong lĩnh vực thông tin dữ liệu KTTV phải ưu tiên vào tập trung hóa số liệu, số hóa các tài liệu cũ bằng giấy, áp dụng công nghệ chia sẻ số liệu điện toán đám mây để tăng tối đa khả năng lưu trữ và giúp cho các dự báo viên dễ dàng truy cập, xử lý số liệu để xây dựng bản tin dự báo, cảnh báo KTTV mọi lúc, mọi nơi đáp ứng yêu cầu của các đối tượng sử dụng. Nhờ đó, các nhà quản lý cũng dễ dàng theo dõi và cập nhật thông tin để nhanh chóng đưa ra các quyết định chính xác trong dự báo, cảnh báo KTTV, nhất là trong điều kiện thời tiết, thủy văn nguy hiểm cần phải đưa ra những nhận định đòi hỏi có độ chính xác cao, kịp thời để các cấp, các ngành đưa ra các phương án chỉ đạo phòng chống thiên tai hiệu quả, giảm thiểu thiệt hại do thiên tai gây ra (Hình 3).



Hình 3. Sơ đồ minh họa chuyển đổi số trong lĩnh vực thông tin dữ liệu KTTV.

Việc quản lý thông tin dữ liệu KTTV bằng cơ sở dữ liệu tập trung CDH cũng có vai trò vô cùng quan trọng trong công tác chuyển đổi số nhằm đảm bảo tính đồng bộ, thống nhất toàn bộ dữ liệu thu nhận được từ mạng lưới quan trắc KTTV quốc gia đến các dữ liệu KTTV thu nhận được từ các trạm KTTV chuyên dùng của các bộ, ngành, tổ chức, cá nhân để phục vụ cho công tác dự báo, cảnh báo KTTV. Cơ sở dữ liệu này là tài sản của đơn vị thực hiện dự báo cũng như của đơn vị quản lý nhà nước về KTTV, nó giúp cho việc quản lý, khai thác và sử dụng dữ liệu được thuận lợi hơn.

3.1.3. Thay đổi về thực hiện công tác chuyên môn dự báo, cảnh báo KTTV

3.1.3.1. Xây dựng hệ thống hỗ trợ dự báo thông minh

Một trong những yêu cầu quan trọng nhất để tăng cường năng lực dự báo là cần phải xây dựng các hệ thống hỗ trợ kỹ thuật, phát triển công nghệ dự báo số; xây dựng hệ thống mô hình khu vực phân giải cao, đồng hóa số liệu từ nguồn số liệu radar thời tiết, vệ tinh, trạm thám không vô tuyến. Song song với đó là một cơ sở dữ liệu dự báo KTTV dạng số, sẵn sàng ứng dụng một cách linh hoạt cho mọi nền tảng và làm đầu vào cho các loại mô hình cảnh báo, dự báo khác. Tuy nhiên, để thực hiện được chuyển đổi số trong công tác dự báo, cảnh báo KTTV, cần phải tập trung vào việc xây dựng hệ thống tính toán hiệu năng cao hay các siêu máy tính, sử dụng các hệ thống hỗ trợ dự báo thông minh như Smartmet để có thể hiệu chỉnh và dự báo trên lưới; đồng thời cần tập trung phát triển các mô hình số phân giải rất cao có đồng hóa số liệu quan trắc địa phương nhằm nâng cao độ chính xác,

đổi mới sáng tạo, huy động hiệu quả mọi nguồn lực phát triển và tạo môi trường đầu tư kinh doanh về dự báo, cảnh báo KTTV thuận lợi, công bằng cho các tổ chức, cá nhân khi tham gia. Để thực hiện được chuyển đổi số trong hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV, các quy trình, quy định chuyên môn cũng phải được điều chỉnh theo hướng “mở”, đảm bảo có sự kết nối, chia sẻ để các tổ chức, cá nhân cùng tham gia thực hiện nhưng vẫn phải thực hiện theo nguyên tắc chung, đặc biệt là theo quy định về dự báo, cảnh báo KTTV của Tổ chức Khí tượng Thế giới.

Bên cạnh đó, để có các thông tin đầu vào cho các mô hình số dự báo, cảnh báo KTTV, bên cạnh các nguồn thông tin, dữ liệu thu thập được từ nguồn mạng lưới trạm KTTV quốc gia, mạng lưới trạm quan trắc KTTV chuyên dùng, nguồn thông tin về các hoạt động kinh tế - xã hội để làm đầu vào cho dự báo tác động, hướng tới từng đối tượng sử dụng cũng cần được cung cấp và Luật hóa nội dung này. Song hành với đó là những quy định về bảo mật thông tin, bảo vệ quyền và lợi ích của các đơn vị khi tham gia chia sẻ thông tin phục vụ dự báo, cảnh báo KTTV cũng như các đơn vị trực tiếp ban hành các bản tin dự báo, cảnh báo KTTV. Đây không chỉ tạo hành lang pháp lý mà còn là lá chắn bảo vệ hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV trên môi trường số cho tất cả các đơn vị tham gia thực hiện dự báo, cảnh báo KTTV và các đơn vị cũng cấp thông tin dữ liệu phục vụ dự báo, cảnh báo KTTV.

3.2.2. Số hóa hoạt động quản lý dự báo, cảnh báo KTTV

Để đảm bảo công tác chỉ đạo, kiểm tra, giám sát công tác dự báo, cảnh báo KTTV của các đơn vị thực hiện dự báo, cảnh báo KTTV trong bối cảnh chuyển đổi số và ứng dụng công nghệ 4.0, cần phải có các công cụ hỗ trợ, các phần mềm quản lý trên nền tảng số cho các cán bộ quản lý. Công tác dự báo, cảnh báo KTTV đã được số hóa, được thực hiện trên môi trường công nghệ tiên tiến từ số liệu đầu vào cho đến thực hiện công tác chuyên môn, đòi hỏi công tác quản lý cũng phải được chuyển đổi từ phương thức “quản lý thủ công” sang phương thức “quản lý tự động”. Một trong những yêu cầu tối thiểu nhất phục vụ quản lý nhà nước về dự báo, cảnh báo KTTV hiện nay đó là việc xây dựng công cụ thực hiện giám sát, kiểm tra, đánh giá chất lượng sản phẩm dự báo, cảnh báo KTTV nhằm đảm bảo minh bạch, công bằng giữa các đơn vị tham gia thực hiện dự báo, đồng thời tối ưu hiệu suất làm việc cho các cán bộ quản lý.

3.2.3. Đẩy mạnh nền hành chính công nghệ số về dự báo, cảnh báo KTTV

Số hóa nền hành chính công về công tác dự báo, cảnh báo KTTV thông qua việc công khai, minh bạch các thủ tục hành chính; thực hiện cắt, giảm các điều kiện cấp giấy phép hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV; đẩy mạnh việc thực hiện cung cấp dịch vụ công trực tuyến, thủ tục hành chính số, tạo điều kiện thuận lợi, rút ngắn thời gian giải quyết việc cấp giấy phép hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV cho các tổ chức, cá nhân có nhu cầu. Đây cũng là điều kiện cần thiết để nâng cao năng lực cạnh tranh trong hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV, nhất là đối với các đơn vị dự báo, cảnh báo KTTV công lập, đang hoạt động dưới sự bảo trợ của nhà nước.

3.3. Thay đổi về tổ chức thực hiện

3.3.1. Nâng cao chất lượng đội ngũ cán bộ làm công tác quản lý

Đội ngũ cán bộ thực hiện công tác quản lý nhà nước về dự báo, cảnh báo KTTV cần phải có tư duy mới và tầm nhìn thời đại. Đó là khả năng nhận diện và giải quyết các vấn đề mới phát sinh cũng như những vấn đề cũ đã thay đổi trong quá trình quản lý do tác động của công tác chuyển đổi số. Đồng thời, đội ngũ cán bộ quản lý cần phải có khả năng tổng hợp thông tin, biết sử dụng, khai thác hệ thống cơ sở dữ liệu KTTV phục vụ công tác quản lý hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV.

3.3.2. Chuyển đổi nhận thức, quy trình làm việc

Việc thay đổi quy trình làm việc hay đơn giản chỉ là từng bước thay đổi thói quen công việc hàng ngày của các cơ quan, đơn vị và nhất là các cấp quản lý về hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV bằng ứng dụng, sử dụng công nghệ thông tin. Chuyển đổi sẽ giúp các nhà chức trách dễ dàng quản lý công việc, không cần phải đến tận từng đơn vị dự báo, cảnh báo KTTV để kiểm tra việc thực hiện. Nhờ hệ thống báo cáo thông suốt, kịp thời, các nhà lãnh đạo ra quyết định nhanh chóng và chính xác hơn. Qua đó, các nhà quản lý cũng sẽ đánh giá được hiệu suất làm việc của từng cơ quan, đơn vị thực hiện dự báo, thậm chí là hiệu suất làm việc của từng dự báo viên dựa trên chính các sản phẩm dự báo, cảnh báo KTTV mà họ làm ra; đồng thời phát hiện được các dự báo viên là các nhân lực quý để tập trung bồi dưỡng phát triển nhằm tạo ra được các bản tin dự báo, cảnh báo có độ chính xác cao hơn.

4. Kết luận và kiến nghị

Thời gian qua, việc ứng dụng chuyển đổi số và công nghệ 4.0 ở Tổng cục KTTV đã có nhiều thành tựu và đạt được những kết quả tích cực. Các bản tin dự báo, cảnh báo KTTV có độ tin cậy cao hơn, thời gian dự báo dài hơn giúp người dân, các tổ chức và các lĩnh vực chủ động hơn trong việc đưa ra quyết định các hoạt động ứng phó với thời tiết, thiên tai, giảm thiểu thiệt hại. Tuy nhiên, để đảm bảo công tác dự báo, cảnh báo KTTV hoạt động đồng bộ, hiệu lực, hiệu quả trên phạm vi cả nước trong bối cảnh ứng dụng các công nghệ mới, tiên tiến, việc điều chỉnh, thay đổi từ tư duy quản lý đến phương thức điều hành, tổ chức thực hiện trong hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV là vô cùng cần thiết.

Thứ nhất, thay đổi tư duy trong công tác quản lý và vận hành từ thực hiện quan trắc, thu thập, xử lý, quản lý các nguồn thông tin, dữ liệu phục vụ dự báo, cảnh báo đến thực hiện các quy trình, quy định chuyên môn về dự báo, cảnh báo KTTV đảm bảo các sản phẩm dự báo, cảnh báo KTTV phải đáp ứng được yêu cầu ngày càng cao của xã hội, hướng tới phục vụ đa mục đích, nhiều đối tượng, nhiều ngành nghề khác nhau; được truyền tải tới người sử dụng với thời gian nhanh nhất, đơn giản và dễ hiểu nhất và có thể truyền tải được nhiều thông tin cần thiết nhất, trực tiếp đến từng đối tượng sử dụng.

Thứ hai, thay đổi về phương thức quản lý, điều hành, trong đó việc hoàn thiện cơ chế, quy trình, quy định pháp lý về dự báo, cảnh báo KTTV là yếu tố cốt lõi của vấn đề. Các quy định pháp lý phải được điều chỉnh theo hướng “mở” nhưng vẫn phải đảm bảo thực hiện theo nguyên tắc chung, thông tin, dữ liệu được quản lý tập trung, chia sẻ nhưng vẫn phải có tính bảo mật cao, không chỉ là tạo hành lang pháp lý mà còn là lá chắn bảo vệ hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV trên môi trường số cho tất cả các đơn vị tham gia thực hiện dự báo, cảnh báo KTTV cũng như các đơn vị cung cấp thông tin dữ liệu làm đầu vào cho hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV.

Thứ ba, phải xây dựng được các công cụ hỗ trợ, các phần mềm quản lý trên nền tảng số cho các cán bộ quản lý. Thực hiện chuyển đổi phương thức quản lý sang quản lý tự động, quản lý tập trung; đẩy mạnh nền hành chính công nghệ số về dự báo, cảnh báo KTTV góp phần đẩy mạnh xã hội hóa công tác dự báo, cảnh báo KTTV, qua đó nâng cao năng lực cạnh tranh trong hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV hướng tới cung cấp các sản phẩm dự báo, cảnh báo KTTV ngày càng có độ tin cậy cao hơn, hướng tới nhiều đối tượng sử dụng hơn và được truyền tải nhanh chóng, kịp thời hơn trên các nền tảng số.

Cuối cùng, thay đổi về việc tổ chức thực hiện, trong đó đội ngũ cán bộ thực hiện công tác quản lý nhà nước về dự báo, cảnh báo KTTV cần phải có tư duy mới và tầm nhìn thời đại; từng bước thay đổi thói quen công việc hàng ngày của các cơ quan, đơn vị và nhất là các cấp quản lý về hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV bằng ứng dụng, sử dụng công nghệ thông tin.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: V.Đ.L., T.Q.N.; Xử lý số liệu: N.T.T.L., P.H.H.; Viết bản thảo bài báo: V.Đ.L., N.T.T.L.; Chỉnh sửa bài báo: T.Q.N.

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của nhiệm vụ: “Nghiên cứu cơ sở lý luận và thực tiễn đề xuất hoàn thiện các quy định pháp luật về dự báo, cảnh báo khí tượng thủy văn phục vụ quản lý nhà nước”, mã số: TNMT.01.28 thuộc Chương trình khoa học và công nghệ trọng điểm cấp bộ “Nghiên cứu cơ sở lý luận và thực tiễn phục vụ xây dựng, hoàn thiện chính sách, pháp luật về tài nguyên và môi trường giai đoạn 2021-2025”, mã số chương trình: TNMT.01/21-25.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Bộ Thông tin và Truyền thông, Cẩm nang Chuyển đổi số, 2021.
2. Shi, W.; Cao, J.; Zhang, Q.; Li, Y.; Xu, L. Edge Computing: Vision and Challenges. *IEEE Internet Things J.* **2016**, *3*(5), 637–646. doi:10.1109/JIOT.2016.2579198.
3. Pietrosevoli, E.; Rainone, M.; Zennaro, M. On Extending the Wireless Communications Range of Weather Stations Using LoRaWAN. In Proceedings of the Proceedings of the 5th EAI International Conference on Smart Objects and Technologies for Social Good; Association for Computing Machinery: New York, NY, USA, 2019, pp. 78–83.
4. Guide to Instruments and Methods of Observation, Volume III – Observing Systems. World Meteorological Organization: Geneva, 2018.
5. Sugumaran, R.; Burnett, J.; Armstrong, M.P. Using a cloud computing environment to process large 3D spatial datasets. In H. Karimi, ed., *Big Data: Techniques and Technologies in Geoinformatics*, CRC Press, Boca Raton, FL, 2014, pp. 53–65.
6. Zhangwei, W.; Hao, C.; Han, W. Research on improving detection capability of small and medium scales based on dual polarization weather radar. Proceeding of the 2019 international conference on meteorology observations (ICMO), 2019, pp. 1-7.
7. Ramamurthy, M. Geoscience cyberinfrastructure in the cloud: Data-proximate computing to address big data and open science challenges. Proceeding of the 2017 IEEE 13th international conference on e-science (e-science), 2017, pp. 444–445.
8. Chen, R.; Zhang, W.; Wang, X. Machine Learning in Tropical Cyclone Forecast Modeling: A Review. *Atmosphere* **2020**, *11*, 676. <https://doi.org/10.3390/atmos11070676>.
9. Trục tuyến: <https://monre.gov.vn/Pages/ung-dung-khi-tue-nhan-tao-trong-hoat-dong-tac-nghiep-ve-khi-tuong-thuy-van.aspx> (Truy cập: 29/3/2023)
10. Trục tuyến: <https://baotainguyenmoitruong.vn/tien-toi-he-thong-du-bao-dinh-luong-so-phuc-vu-chuyen-doi-so-trong-linh-vuc-khi-tuong-thuy-van-348288.html> (Truy cập: 23/12/2012)
11. Mạnh, N.V. và cs. Nghiên cứu cơ sở khoa học và giải pháp ứng dụng trí tuệ nhân tạo để nhận dạng, hỗ trợ dự báo và cảnh báo một số hiện tượng khí tượng thủy văn nguy hiểm trong bối cảnh biến đổi khí hậu tại Việt Nam, Đề tài NCKH cấp Nhà nước của Bộ Tài nguyên và Môi trường, Mã số: BDKH.34/16-20, 2020.
12. Tiến, D.Đ. và cs. Nghiên cứu xây dựng hệ thống trí tuệ nhân tạo ứng dụng trong dự báo xoáy thuận nhiệt đới ở Biển Đông và ảnh hưởng đến Việt Nam hạn đến 3 ngày. Đề tài NCKH cấp Nhà nước của Bộ Tài nguyên và Môi trường, Mã số: KC-4.0/19-25, 2022.
13. Hà, B.M. và cs. Nghiên cứu đổi mới công nghệ dự báo sóng biển, nước dâng do bão thời hạn 24 giờ bằng kỹ thuật xử lý dữ liệu lớn và học máy, Đề tài NCKH cấp Bộ, Mã số: TNMT.2022.06.04.
14. Thành, N.H. và cs. Nghiên cứu ứng dụng công nghệ số mới để dự báo định lượng mưa hạn cực ngắn cho khu vực trung du, miền núi Việt Nam. Đề tài NCKH cấp Bộ, Mã số: TNMT.2022.06.06.

15. Nguyen, H.M.; Bae, D.H. An approach for improving the capability of a coupled meteorological and hydrological model for rainfall and flood forecasts. *J. Hydrol.* **2019**, 577(2), 124014.
16. Xây dựng công cụ ước lượng mưa từ độ phản hồi radar bằng công nghệ AI. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 747, 70-80.
17. Quyền, L.N.; Hung, N.V.; Long, Đ.T.; Quyết, L.Đ.; Đông, N.P.; Thanh, Đ.Q.; Dũng, L.M.; Thảo, N.T.T.; Trang, H.T.P.; Hoạt, Đ.H. Nghiên cứu, xây dựng và triển khai thử nghiệm hệ thống cảnh báo sớm ngập lụt đô thị dựa trên nền tảng trí tuệ nhân tạo tại Thành phố Hồ Chí Minh. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 747, 81-97.
18. Trục tuyến: <https://monre.gov.vn/Pages/chuyen-doi-so---cu-hich-cho-nganh-khi-tuong-thuy-van.aspx> (Truy cập: 08/2/2022)
19. Báo cáo số 762/TCKTTV-QLDB ngày 20 tháng 6 năm 2022 của Tổng cục Khí tượng Thủy văn về kết quả thực hiện Nghị quyết số 54-NQ/TW ngày 14 tháng 9 năm 2005 của Bộ Chính trị khóa IX về phát triển kinh tế - xã hội và bảo đảm quốc phòng an ninh vùng đồng bằng sông Hồng.
20. Báo cáo số 350/TCKTTV-QLDB ngày 31 tháng 3 năm 2023 của Tổng cục Khí tượng Thủy văn về tổng kết 10 năm thực hiện Nghị quyết số 24-NQ/TW khóa XI về chủ động ứng phó với biến đổi khí hậu, tăng cường quản lý tài nguyên và bảo vệ môi trường.
21. Quyết định số 1970/QĐ-TTg ngày 23 tháng 11 năm 2021 của Thủ tướng Chính phủ quy định Chiến lược phát triển Ngành Khí tượng Thủy văn đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045.

Management of hydro-meteorological forecasting activities in the context of digital transformation and the 4.0 technology: Current situation and solutions

Vu Duc Long^{1*}, Nguyen Thi Thu Loan¹, Tran Quang Nang¹, Pham Hoang Hung¹

¹ Department of Hydro-Meteorological Forecasting Management, Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration; longkttv@gmail.com; loanthunguyen268@gmail.com; trannang030984@gmail.com; phhung@gmail.com

Abstract: In the context of digital transformation and the 4.0 technology taking place across all sectors and industries worldwide, including Vietnam, the implementation of digital transformation in hydro-meteorological forecasting (HMF) activities is an essential trend. This requires fundamental adjustments and changes in the management of forecasting and HMF operations to effectively fulfill their roles. This includes adjustments and changes in management thinking, operational methods, and organizational implementation of forecasting and HMF activities in a unified, synchronized, and efficient manner. As a result, the management of forecasting and HMF activities will become easier, more efficient, and cost-effective. The analytical, synthesis, and statistical methods used in this study are employed to evaluate and propose specific solutions in the management of forecasting and HMF activities when applying information technology and digital transformation. These research findings serve as a basis for proposing modifications and additions to processes and legal regulations aimed at enhancing the effectiveness of forecasting and HMF management and supervision nationwide in the context of digital transformation and the 4.0 technology.

Keywords: Management of Hydro-Meteorological; Digital Transformation; The 4.0 Technology.