

## TÌNH HÌNH PHÁT TRIỂN MÔ HÌNH SINH THÁI Ở CÁC VỰC NƯỚC VÙNG THÊM LỤC ĐỊA

NGUYỄN HỮU HUÂN

Viện Hải dương học

*Tóm tắt:* Tình hình phát triển mô hình sinh thái ở các vực nước vùng thêm lục địa được trình bày tóm tắt. Theo đó, mô hình sinh thái đã có bước phát triển qua 6 giai đoạn, kể từ khi mô hình Lotka-Volterra và mô hình Streeter-Phelps ra đời vào những năm 1920 cho đến những mô hình sinh thái 3 chiều tích hợp hiện đại như hiện nay. Sự phát triển của mô hình sinh thái theo sau các mô hình hoàn lưu thêm lục địa và đại dương, bởi vì chúng được dùng như hàm lực ngoài trong mô hình sinh thái. Một số mô hình sinh thái 3 chiều (3D) tiêu biểu cũng như khả năng dự báo của chúng cũng đã được thảo luận. Trong tương lai, với những cải tiến của mô hình 3D tích hợp, sự hiểu biết sâu sắc hơn về tương tác vật lý - sinh học cùng với những tiến bộ hơn nữa trong công nghệ máy tính, những vấn đề đặt ra như: các yếu tố điều khiển trạng thái sinh - địa - hóa trong biển theo thời gian, đáp ứng của đại dương trước biến đổi khí hậu toàn cầu, tương tác giữa chuỗi thức ăn trong biển với thay đổi toàn cầu, ảnh hưởng đến tích lũy các bon cũng như giải phóng các bon nít và mê tan do thay đổi toàn cầu sẽ có thể được giải quyết bởi các mô hình sinh thái hiện đại.

### I. MỞ ĐẦU

Mô hình sinh thái có thể xem như một bức tranh mô phỏng về cấu trúc, chức năng, các quá trình cơ bản của hệ sinh thái. Mô hình nói chung hay mô hình sinh thái nói riêng được xem là công cụ hiệu quả vì nó dễ được tiếp cận, mô phỏng,... để nghiên cứu hơn là trên hệ thống (*hay hệ sinh thái*) thực vốn dĩ thường rất phức tạp. Do vậy, ngày nay, mô hình sinh thái ngày càng trở nên phổ biến và không ngừng phát triển.

Mô hình sinh thái có ưu thế trong việc kiểm tra, đánh giá các giả thuyết khoa học về các phản ứng của hệ sinh thái. Vì hệ sinh thái, nhất là hệ sinh thái biển, là hệ thống phức tạp nên thường không thể thực hiện các thực nghiệm trực tiếp trên toàn bộ hệ. Vì thế, có thể tạo ra những thay đổi trên hàm lực để hiểu hơn các phản ứng của hệ sinh thái thông qua các biến trạng thái. Khả năng này giúp cho mô hình sinh thái được sử dụng rộng rãi trong sinh thái học, đặc biệt đối với các hệ sinh thái biển, trong hiện tại và tương lai, khi mà khả năng máy tính ngày càng đáp ứng được yêu cầu tính toán tốc độ cao và dung lượng lưu trữ lớn.

### II. TÌNH HÌNH PHÁT TRIỂN MÔ HÌNH SINH THÁI Ở CÁC VỰC NƯỚC VÙNG THÊM LỤC ĐỊA

#### 1. Khái quát về lịch sử phát triển mô hình sinh thái

Cho đến nay, mô hình sinh thái đã trải qua 6 giai đoạn với sự mở đầu là mô hình sinh thái ứng dụng Lotka-Volterra và mô hình Streeter-Phelps trong những năm 1920 [55], phát triển đến hiện tại là các mô hình sinh thái 3D tích hợp (*coupled 3D ecological models*). Mô

hình Streeter-Phelps do H. W. Streeter và E. B. Phelps xây dựng năm 1925 [55] dùng để miêu tả quá trình tiêu thụ oxy trong các phản ứng sinh hoá của chất ô nhiễm hữu cơ và quá trình gia tăng oxy trong các phản ứng tái tạo khí. Trong khi đó, mô hình Lotka-Volterra (*mô hình biến động quần thể*) là mô hình đơn giản nhất về tương tác giữa vật săn mồi và vật mồi, được phát triển độc lập bởi Lotka năm 1925 và Volterra năm 1926 [55]. Nhìn chung, những công trình về mô hình sinh thái trong giai đoạn này chỉ tập trung vào việc tìm các hệ số cho các mô hình thực nghiệm choa các quá trình sinh, hóa học.

Thời kỳ thứ 2 kéo dài trong khoảng 30 năm tiếp theo, thể hiện bước phát triển cao hơn bằng sự xuất hiện các phương trình vi phân được thiết lập trên cơ sở định luật bảo toàn khối lượng và năng lượng. Mô hình Streeter-Phelps được ứng dụng cho các hệ sinh thái thủy sinh khác nhau và được kết hợp với mô hình thủy văn. Nhiều sửa đổi và phân tích toán học trên mô hình Lotka-Volterra cũng được thực hiện trong giai đoạn những năm 1950-1960 để dự báo thay đổi quần đàn trong hệ sinh thái [55]. Trong thời kỳ này, các mô hình toán dùng trong hệ sinh thái biển ven bờ cũng được phát triển, điển hình như: mô hình của Riley và cộng sự (1946) để mô phỏng ảnh hưởng của các yếu tố môi trường lên biến động của thực vật và động vật nổi [51-53], mô hình của Steele (1962) nghiên cứu mối quan hệ giữa quang hợp và ánh sáng [64], mô hình của Dugdale (1967) để mô phỏng quá trình động học hấp thu dinh dưỡng của Dugdale [22],... Nhìn chung, các mô hình này đã sử dụng công thức mô tả các yếu tố và quá trình cơ bản điều khiển sinh trưởng và chết của sinh vật nổi - các yếu tố mà đều có mặt trong các mô hình phức tạp ngày nay [44].

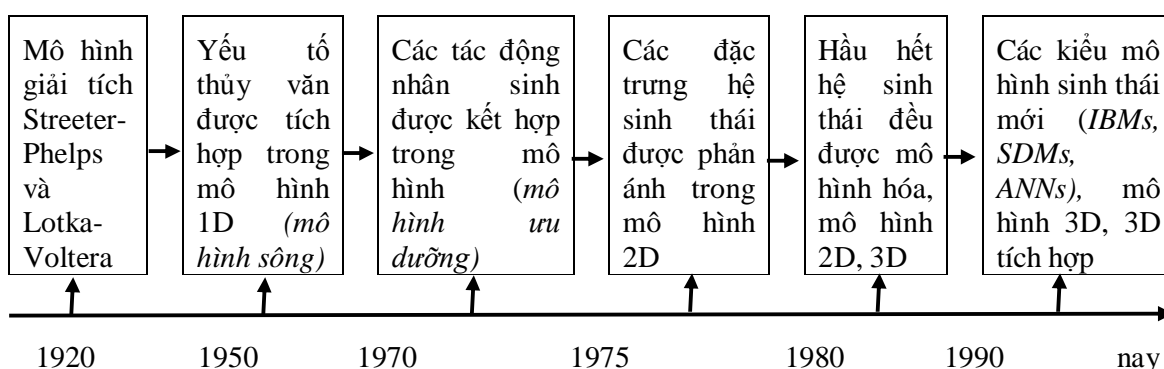
Sự phát triển thực sự về mô hình sinh thái được thể hiện trong giai đoạn 3 (1970-1975). Nhờ có sự hỗ trợ đắc lực của máy tính nên việc phát triển các mô hình phức tạp hơn trở nên khả thi và mô hình sinh thái được sử dụng làm công cụ giải quyết các vấn đề quản lý môi trường. Thời gian này, mô hình sinh thái đã được sử dụng rộng rãi hơn, nó có thể chỉ ra mối quan hệ giữa tác động và những thay đổi theo sau trong hệ sinh thái. Khi thiết lập những kịch bản thay đổi (*trong khoảng có thể chịu đựng*) thì mô hình có thể chỉ ra những tác động có thể chấp nhận tương ứng. Mô hình ưu dưỡng đầu tiên cũng được xuất bản trong giai đoạn này [12].

Mô hình sinh thái đã trưởng thành trong giai đoạn 4 (1975-1980). Từ kinh nghiệm phát triển nhiều mô hình mới cho thấy, hệ sinh thái khác xa các hệ thống vật lý và các đặc trưng cơ bản của hệ sinh thái cần phải được phản ánh trong mô hình [13]. Giai đoạn này mô hình sinh thái đã thực sự phát triển theo chiều sâu. Trong lĩnh vực hải dương, giai đoạn này cũng có những tiến bộ lớn khi dòng chảy được đưa vào như một thành phần bắt buộc trong các mô hình sinh thái [76, 81]. Thời kỳ này là giai đoạn phát triển chủ yếu của các mô hình sinh thái 2 chiều, với một số đại diện tiêu biểu như: mô hình của Walsh nghiên cứu nguồn dinh dưỡng ở hệ sinh thái nước trời Peru [76]; mô hình của Wroblewski nghiên cứu các quá trình điều khiển năng suất sinh học sơ cấp ở vùng nước trời Oregon [81]; mô hình của Kremer và Nixon nghiên cứu biến động muối dinh dưỡng và sinh vật phù du ở vịnh Narraganset [37]; mô hình biến động thực vật nổi và ưu dưỡng vực nước ở Sacramento San Joaquin Delta, California [17]; mô hình của Steele và Frost để xác định và dự báo cấu trúc quần xã sinh vật nổi theo mùa vùng ven bờ biển Loch Striven (*Scotland*) [65].

Giai đoạn 5 kéo dài trong khoảng 10 năm (1980-1990), với sự hình thành và phát triển một số lượng lớn các loại mô hình sinh thái trên rất nhiều lĩnh vực khác nhau. Trong thời kỳ này, mô hình Lagrange được phát triển mạnh trong hải dương học để mô phỏng phân bố và lan truyền vật chất, thủy sinh vật, tiêu biểu như: 2 mô hình của Wroblewski mô phỏng phân bố động vật nổi ở vùng nước trời Oregon [82]; mô hình của Ishizaka và cộng sự mô phỏng lan truyền vật chất, biến động muối dinh dưỡng, phân bố chlorophyll,... vùng thềm lục địa Đông

Nam Hoa Kỳ [31]; mô hình của Rothlisberg và cộng sự mô phỏng di chuyển thẳng đứng của ấu trùng tôm he [54]; mô hình của Smith và cộng sự mô phỏng phân bố quần xã thực vật nổi vùng nước trôi Peru [61]. Ngoài một số mô hình 3D bắt đầu được phát triển, phổ biến trong thời kỳ này vẫn là mô hình 2 chiều.

Giai đoạn 6 bắt đầu từ năm 1990 đến nay. Có thể nói đây là thời kỳ phát triển rực rỡ của mô hình sinh thái cả chiều rộng lẫn chiều sâu. Trong thời kỳ này, một số kiểu mô hình mới được ứng dụng rộng rãi, tiêu biểu như: mô hình dựa vào cá thể (*IBMs*), mạng lưới trí tuệ nhân tạo (*ANNs*) và mô hình động học cấu trúc (*SDMs*), ... [55]. Với khả năng máy tính ngày càng mạnh, có thể phát triển những mô hình ngày càng phức tạp. Những năm 1970, mô hình hiếm khi xem xét phân bố không gian của những thành phần trong hệ nhưng ngày nay, nhiều mô hình 3D về hệ sinh thái thủy sinh được phát triển. Trong quản lý môi trường, phát triển các mô hình kinh tế-xã hội-sinh thái cũng trở nên cần thiết vì mối quan hệ kinh tế-xã hội của các quyết định quản lý môi trường cần được quan tâm.



**Hình 1:** Các giai đoạn phát triển của mô hình sinh thái

## 2. Tình hình phát triển mô hình sinh thái 3D ở các vùng thềm lục địa trên thế giới

Mô hình sinh thái 3D chỉ thực sự phát triển kể từ khi máy tính đủ mạnh để đáp ứng nhu cầu của mô hình về sự phối hợp giải pháp dinh dưỡng cần thiết với giải pháp không gian và thời gian. Sự phát triển loại mô hình này theo sau các mô hình hoàn lưu thềm lục địa và đại dương, bởi vì chúng sẽ được dùng như hàm lực ngoài trong mô hình sinh thái. Tính ưu việt của mô hình 3D là nó bao hàm tất cả các quá trình vận chuyển, kể cả quá trình khuếch tán rối và bình lưu. Có thể nói, mô hình sinh thái 3D đầu tiên trên thế giới bắt đầu xuất hiện vào những năm cuối của thập niên 1980, chính xác là vào năm 1986 ở Nhật và Mỹ. Sau đó, đến năm 1993, chúng bắt đầu được phát triển ở Biển Bắc với mô hình NORWECOM [47]. Hiện nay, mô hình hóa các hệ sinh thái biển đã và đang được phát triển mạnh mẽ, điển hình nhất là vùng thềm lục địa biển Bắc và biển Baltic, với rất nhiều mô hình sinh thái 3D đã được công bố như: NORWECOM, GHER, ECOHAM, COHERENS, ERSEM, POLCOMS-ERSEM, ECOSMO,... NORWECOM là mô hình sinh thái 3D đầu tiên được phát triển cho vùng biển Bắc, đến năm 1995, Aksnes và cộng sự đã ứng dụng mô hình để mô phỏng biến động thực vật nổi trong vùng. Sau đó, Skogen và cộng sự cũng đã kiểm tra khả năng dự báo của mô hình và đã phát hiện rằng, nhiều bức tranh “nở hoa” có thể được tái hiện cùng với các quá trình dinh dưỡng và bùng nổ tảo si líc và tảo giáp [59]. Sau mấy năm, mô hình phát triển thành NORWECOM2 để bổ sung thêm 3 thành phần: o xy, si li cát và vật lơ lửng [58]. Soiland và Skogen cũng đã tiếp tục xác nhận mô hình NORWECOM2, dùng dữ liệu dinh dưỡng khảo sát

vùng biển Bắc trong thời kỳ 1980-1989 để đánh giá độ lệch giữa dữ liệu mô hình và dữ liệu quan sát [63].

Một năm sau khi NORWECOM ra đời, các mô hình khác lần lượt xuất hiện và phát triển như: mô hình GHER vào năm 1994, ECOHAM và ERSEM trong năm 1995,... [47]. GHER được Delhez và Martin phát triển đầu tiên cho vùng thềm lục địa Tây Bắc châu Âu, bằng cách tích hợp mô hình hoàn lưu cỡ trung bình (*độ phân giải 1/6 độ*) với mô hình hệ sinh thái đơn giản chứa các biến trạng thái dinh dưỡng ni tơ, thực vật nổi, động vật nổi và chất rắn [16]. Sau đó, một phiên bản phức tạp hơn về sinh học, hoá học cũng được Delhez phát triển năm 1998, mô phỏng chu trình các bon và ni tơ với 17 biến trạng thái đại diện cho 9 thành phần: ni trát, a môn, thực vật nổi cỡ nhỏ, thực vật nổi cỡ lớn, tảo roi dị dưỡng, động vật nổi, vi khuẩn, chất rắn và chất hữu cơ hoà tan [47]. Còn ECOHAM được Moll A. sử dụng để mô phỏng năng suất sơ cấp hàng năm trong vùng biển Bắc [46], nó được mở rộng từ mô hình cột nước 1 chiều bởi Radash và Moll [47]. Hệ sinh vật nổi được đại diện bằng biến sinh khối thực vật nổi, được phát triển bởi một nguồn dinh dưỡng (phốt phát hoặc ni tơ vô cơ). Cơ chế tái sinh dinh dưỡng được thể hiện bởi quá trình tái sinh ngay lập tức một phần chất hữu cơ chết trong nước và quá trình tái sinh tuyến tính đối với chất rắn ở đáy. Tích hợp nguồn dinh dưỡng đáy đến cột nước đạt được nhờ quá trình tái sinh dinh dưỡng vô cơ từ chất rắn và chuyển vào trong cột nước bởi điều kiện biên đáy - nước. Năm 2004, Wei Hao và cộng sự đã ứng dụng mô hình ECOHAM để nghiên cứu biến động thực vật nổi cho vùng biển Bohai (Trung Quốc) [77]. Sau đó 4 năm, Pätsch and Kühn đã phát triển thành ECOHAM3 để mô hình hóa nguồn và thông lượng ni tơ ở vùng thềm lục địa Tây Bắc châu Âu [47]. Năm 2010, Bente Tiedje, Andreas Moll, Lars Kaleschke đã công bố công trình nghiên cứu về ECOHAM3 và so sánh biến động của chlorophyll a giữa mô hình với ảnh vệ tinh và kết quả khảo sát tại chỗ [72]. ECOHAM3 cũng đã được sử dụng để mô phỏng chu kỳ mùa của động vật nổi ở vùng Bight (Đức) [66]. Hiện nay ECOHAM4 cũng đã phát triển bằng cách thêm vào chu trình các bon và một số thành phần khác [80].

Mô hình ERSEM là một trong những mô hình sinh thái tương đối phức tạp đã được phát triển để khảo sát nhiều khía cạnh của hệ sinh thái [47]. Năm 1995, Blackford và Radford đã thảo luận về phương pháp luận và cấu trúc của ERSEM, sau đó Lenhart và cộng sự đã ứng dụng để mô phỏng biến động dinh dưỡng cho vùng biển Bắc [38]. Một số đóng góp giá trị của ERSEM gồm có: tính toán tổng năng suất sơ cấp, mô phỏng biến động vi sinh vật với việc tách đồng hoá các bon và hấp thu dinh dưỡng (*bảng ERSEMII*), mô hình hoá biến động động vật nổi cỡ lớn và mô hình 3D về phát triển cấu trúc quần xã động vật nổi Calanus. Dùng ERSEM, Radach và Pätsch đã mô phỏng hậu quả ưu dưỡng hoá vùng biển Bắc và đã chứng minh rằng mô hình này có khả năng mô phỏng chuỗi thức ăn liên tục [47]. Nhiều công trình sau đó đã dùng ERSEM cải tiến để nghiên cứu suy giảm tải lượng dinh dưỡng từ một số sông chính trong vùng biển Bắc dưới những điều kiện khác nhau. Phiên bản mới nhất của mô hình này là POL3dERSEM. Allen và cộng sự đã bổ sung phần sinh học của ERSEM vào trong sơ đồ hoàn lưu 3D cho vùng biển Bắc ở độ phân giải không gian 12 km [8]. Mô hình đã được ứng dụng vào vùng thềm lục địa Tây Bắc châu Âu để chứng minh biến thiên theo không gian và thời gian của các yếu tố môi trường quyết định đến bùng nổ sinh khối. POL3dERSEM thực sự đã khác hẳn với ERSEM và đã thiết lập các tiêu chuẩn mới đối với mô hình hệ sinh thái 3D cho vùng biển Bắc, vì quan hệ dinh dưỡng phức tạp của mô hình đã được tích hợp trong một mô hình hoàn lưu 3D đầy đủ với độ phân giải không gian tốt nhất trong số các mô hình quan tâm.

Cũng theo kiểu mô hình tích hợp như POL3dERSEM, còn có mô hình COHERENS, ECOSMO. COHERENS cho phép thiết lập một hệ thống mô hình từ một khối kiến trúc cơ

bản như: mô đun vật lý để mô phỏng hoàn lưu chung của vùng biển, một mô đun sinh học, một mô đun trầm tích và một mô đun vận chuyển chất nhiễm bẩn. Mô đun sinh học có 8 biến trạng thái: các bon và ni tơ trong sinh vật nổi cỡ nhỏ, các bon và ni tơ trong chất vẩn, ni trát, a môn, oxy và nitơ trong động vật nổi nhưng không có biến trạng thái ở đáy [69-70]. Năm 2009, Lopes và cộng sự đã thực hiện mô hình này cho vùng Aveiro, Bồ Đào Nha để nghiên cứu sự phân bố của nhiệt độ và sinh khối thực vật nổi trong hệ sinh thái ven bờ [41]. Gần đây nhất, năm 2006, Schrum và cộng sự đã thành công trong việc phát triển mô hình sinh thái tích hợp ECOSMO cho vùng biển Bắc và vùng Baltic [57]. Từ đó đến nay, ECOSMO liên tục được phát triển tại các vùng khác nhau cho các mục đích khác nhau như: nghiên cứu tái cấu trúc lịch sử biển Aral (*Trung Á*) [6], mô phỏng nguồn nước và động học nguồn nước ngầm - nước biển ở vùng biển Aral [7]; tích hợp ECOSMO và mô hình phát triển cá thể (*IBM*) để mô phỏng ảnh hưởng của biến đổi môi trường vùng biển Bắc lên tăng trưởng tiềm năng và tỷ lệ sống các giai đoạn đầu của loài cá cơm châu Âu (*S. sprattus L.*) [15],...

Ngoài một số mô hình tiêu biểu trên, khu vực châu Âu còn có một số mô hình sinh thái 3D khác được phát triển. Chẳng hạn: năm 2003, có mô hình của Sarmiento và cộng sự dùng để xác định năng suất sinh học sơ cấp ở vùng Bắc Đại Tây Dương [56]. Năm 2006, Gibson và cộng sự đã ứng dụng mô hình ELISE trong biển Măng sơ "*English Channel*", dùng ni tơ vô cơ hòa tan và si li cát như nguồn dinh dưỡng, không quan tâm đến động vật nổi và các bậc dinh dưỡng cao hơn [25]; Losa Svetlana và cộng sự đã phát triển mô hình số cấp tại biển Atlantic, trên cơ sở mô đun vật lý POP kết hợp với mô đun sinh học gồm 4 thành phần (*NPZD: dinh dưỡng, thực vật nổi, động vật nổi, chất vẩn*) [42]. Sau đó 1 năm có mô hình MIRO dùng để nghiên cứu mối liên hệ giữa sinh khối tảo (*si líc và tảo nâu*) với tải lượng dinh dưỡng và điều kiện khí tượng vực nước ven bờ Vương quốc Bỉ [26]; NEMURO và NEMURO.FISH dùng để mô phỏng sự phát triển theo thời gian và động học chuỗi thức ăn dinh dưỡng-thực vật nổi-động vật nổi, ảnh hưởng của khí hậu lên sinh trưởng và biến động quần thể một số loài cá, cũng như dự báo ảnh hưởng của quá trình ấm lên toàn cầu đối với động học hệ sinh thái và chu trình sinh- địa-hoá trong khu vực Bắc Thái Bình Dương [28, 78]. Năm 2009, có mô hình sinh thái 3D tích hợp giữa mô hình vận chuyển của sông GETM với mô hình sinh học 4 thành phần (*NPZD*) để nghiên cứu suy giảm ánh sáng do tái lơ lửng đến các quá trình trong hệ sinh thái vực nước Bight của Đức [71]. Cũng trong năm này, Ourmières và cộng sự đã nghiên cứu vai trò của nguồn dữ liệu dinh dưỡng đối với việc cải thiện kết quả mô phỏng năng suất sơ cấp trong mô hình sinh thái 3D CPBM (*tích hợp từ mô hình hoàn lưu OPA9 và mô hình sinh thái LOBSTER*) [49]; Maar và cộng sự đã dùng mô hình sinh thái 3D kích thước nhỏ để nghiên cứu sinh trưởng của hàu nuôi và ảnh hưởng của nó đến nền đáy tự nhiên và tại vị trí đặt tua bin trong trang trại nuôi [43]; Eilola và cộng sự đã dùng mô hình sinh thái SCOBİ tích hợp với mô hình hoàn lưu RCO để nghiên cứu biến động nguồn oxy, phốt pho và vi khuẩn ở biển Ban tích [23].

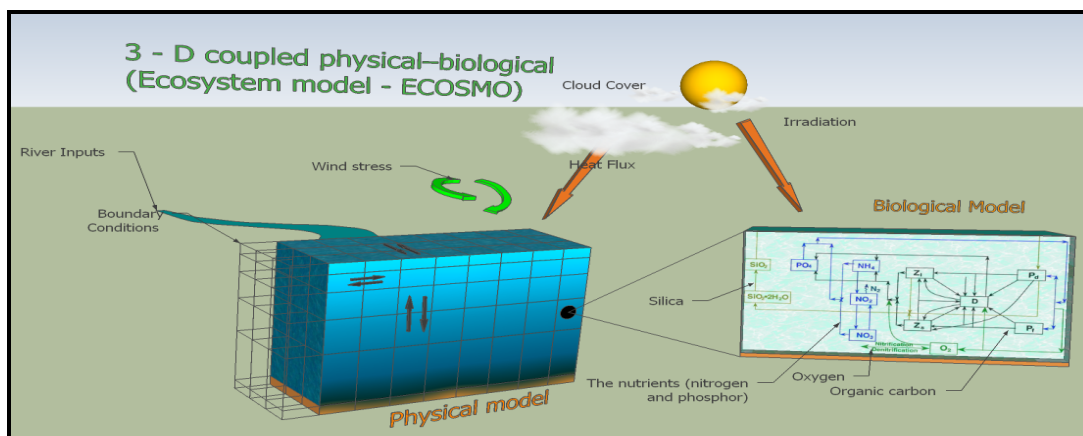
Tại châu Mỹ, vào năm 1986, mô hình sai phân 3D đầu tiên được phát triển cho vùng East Seto Inland Seas ở Thái Bình Dương [33], sau đó là vùng trung tâm vịnh Atlantic [75] và hệ thống hồ Okeechobee ở Florida [18]. Chỉ vài năm sau, mô hình sinh thái 3D (*được phát triển trên cơ sở mô hình hoàn lưu biển cơ bản*) đã phát triển ở nhiều nơi, nhất là đối với vùng phía Bắc. Trong khi mô hình sinh thái kích thước lớn hầu như chỉ dùng để khảo sát các vấn đề liên quan đến biến đổi khí hậu, đặc biệt là ảnh hưởng do thay đổi áp suất riêng phần của CO<sub>2</sub> tự nhiên và hấp thu CO<sub>2</sub> nhân tạo trong đại dương thì mô hình sinh thái vùng thềm lục địa hầu như chỉ quan tâm đến việc khảo sát chức năng của hệ sinh thái có liên quan đến các vấn đề môi trường, chẳng hạn vấn đề ưu dưỡng hoá vực nước [84]. Nếu năm 1996, Moisan và cộng sự đã xây dựng mô hình định lượng các quá trình đóng góp vào sự phát triển các chất dinh dưỡng và phân bố sinh vật phù du theo không gian và thời gian ở vùng chuyển tiếp ven bờ

California [45] thì đến năm 2009, Hermann và cộng sự đã dùng mô hình sinh thái 3D đánh giá thông lượng dinh dưỡng thẳng đứng và ngang qua thềm lục địa vịnh Alaska [29]. Cũng tại đây, đặc trưng động lực học hệ sinh thái khu vực Tây Bắc vịnh đã được khảo sát bằng mô hình của Fiechter và cộng sự [24]. Mô hình đã mô phỏng thay đổi bên trong hệ sinh thái theo mùa, theo năm và giữa các năm cũng như phân biệt giữa điều kiện sinh trưởng giới hạn bởi sắt và ni trát. Nghiên cứu vịnh Chesapeake cũng đã được Xu Jiangtao và Hood Raleigh R. thực hiện trong năm 2006 bằng mô phỏng bức tranh phân bố và biến động các yếu tố dinh dưỡng, sinh khối thực vật nổi, hàm lượng oxy hoà tan và mức suy giảm ánh sáng trong nước [83]. Ngoài ra, tại Colombia, Tuchkovenko Yuri S. và Lonin Serguei A. đã dùng mô hình sinh thái 3D để đánh giá tình trạng ưu dưỡng và chế độ oxy ở vịnh Cartagena [73]. Mô hình đã chỉ ra chiến lược cơ bản để cải thiện chất lượng môi trường nước vịnh và triển khai ứng dụng mô hình cho các vùng biển tương tự khác.

Các khu vực còn lại trên thế giới phát triển mạnh mô hình 3D hiện đại cũng chủ yếu từ năm 2000 trở lại đây. Năm 2006, tại Nhật, Nakata Kisaburo và Doi Toshimasa đã dùng mô hình chu trình các bon để tính năng suất sơ cấp của biển, với kết quả cho thấy chiều hướng năng suất sơ cấp cao ở những vùng vĩ độ thấp [48]. Một năm sau, Kohlmeier và Ebenhöf đã dùng mô hình gồm 10 thành phần dựa trên mô hình NUMERO để nghiên cứu ảnh hưởng các quá trình bình lưu lên phân bố sinh vật nổi tại Kuroshio, vực nước phía Nam Nhật Bản [36]; Kittiwaniich và cộng sự đã dùng mô hình sinh thái để nghiên cứu chu trình ni tơ và phốt pho trong hệ sinh thái cửa sông vịnh Hiroshima [35]. Cũng tại Nhật, năm 2008, mô hình năng lượng sinh học 3D (*tích hợp từ mô hình năng lượng sinh học với mô hình sinh thái mức dinh dưỡng bậc thấp*) được ứng dụng để nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu tố môi trường đến sinh trưởng của loài mực (*todarodes pacificus*) ở vùng biển Nhật Bản [34]. Đặc biệt, trong năm này, một mô hình cho phép nghiên cứu động học và cơ chế yếm khí của vùng nước (*mô hình ECOHYM*) đã được Sohma và cộng sự ứng dụng cho vịnh Tokyo - một vực nước cửa sông yếm khí ở Tokyo [62]. Và mới đây, năm 2010, Sugimoto và cộng sự dùng mô hình gồm 5 hợp phần (*ni trát, a môn, thực vật nổi, động vật nổi và chất rắn*) để nghiên cứu năng suất sơ cấp và chu trình ni tơ ở vịnh Ise - một trong những vực nước ưu dưỡng nhất Nhật Bản [68]. Còn tại Trung Quốc, năm 2004, Wei Hao đã dùng ECOHAM để nghiên cứu biến động thực vật nổi vùng biển Bohai [77]. Sau đó 3 năm, Liu Hao và Yin Baoshu đã dùng mô hình dựa trên mô hình động lực POM kết hợp với phần sinh thái 4 thành phần (*NPZD*) để nghiên cứu động học mối quan hệ dinh dưỡng-thực vật nổi-động vật nổi cũng ở vùng biển này. Nghiên cứu cho thấy, chu kỳ mùa của dinh dưỡng và sinh vật nổi mô phỏng khá phù hợp với kết quả quan trắc [39]. Một năm sau, Zhao Q. và X. Lu đã dùng mô hình với 3 thành phần (*NPZ*) để mô phỏng chu kỳ mùa của phân bố thực vật nổi cũng như các yếu tố dinh dưỡng trong vùng biển Bohai và biển Vàng (*Trung Quốc*) [85]. Trên vùng biển Đông Trung Quốc, cũng đã có mô hình 3D để xác định yếu tố chính điều khiển năng suất sơ cấp vùng thềm lục địa này với 4 thành phần sinh thái (*NPZD*) [40]. Tại Hàn Quốc, Byun Do-Seong và cộng sự đã dùng mô hình tích hợp giữa mô hình thủy động lực POM và mô hình sinh thái ERSEM để nghiên cứu ảnh hưởng của trầm tích tái lơ lửng và xáo trộn thẳng đứng lên sinh khối thực vật nổi trong các vực nước ven bờ [11]. Ở New Zealand, năm 2009, một mô hình hệ sinh thái 3D phức tạp đã được phát triển để đánh giá sức tải nuôi động vật thân mềm. Mô hình định lượng sản lượng tiềm năng động vật thân mềm và ảnh hưởng của nó đến hệ sinh thái các vực nước ven bờ thông qua chuỗi thức ăn đơn giản, chu trình dinh dưỡng và sinh trưởng của động vật nuôi trong hệ. Động học hệ sinh thái và thủy động lực đã được tích hợp để dự báo đầy đủ ảnh hưởng của mật độ vật nuôi [50].

Ở các vùng biển nhiệt đới cũng có một số mô hình sinh thái 3D được phát triển. Năm 2003, Christian James R. và Murtugudde R. đã phát triển mô hình cho vùng biển nhiệt đới

Atlantic để mô phỏng thay đổi chu trình sinh-địa-hóa trong vùng qua 50 năm [14]. Mô hình cho kết quả khá phù hợp với nguồn dữ liệu quan sát và một số mô hình khác trong vùng nước trời xích đạo nhưng ước tính hơi thấp sinh khối sinh vật nổi trong điều kiện nước trời mạnh. Tại vùng biển A rập, Hood Raleigh và cộng sự đã dùng mô hình sinh thái tích hợp để mô phỏng các thành phần sinh thái biển (NPZD) [30]. Và cũng tại đây, Anderson Thomas và cộng sự đã dùng mô hình sinh thái 3D nghiên cứu quá trình khử ni trát trong hệ thống [9]. Tại vùng xích đạo Thái Bình Dương, mô hình tích hợp đã được phát triển để mô phỏng phân bố các nguồn ni trát và si li cát trong vùng cũng như xác định nguồn si li cát là yếu tố điều chỉnh sản lượng tảo si lic, năng suất bổ sung và chu trình các bon ở đây [32]. Năm 2006, một mô hình tích hợp được phát triển ở biển nhiệt đới Ấn Độ Dương để nghiên cứu bức tranh biến thiên dinh dưỡng và chlorophyll theo mùa [79]. Cũng trong năm này, Wiggert J. D. và cộng sự đã dùng mô hình sinh thái 3D nghiên cứu chu trình *sinh - địa - hoá* trong biển nhiệt đới Ấn Độ [79]. Năm 2008, Vichi và cộng sự đã dùng mô hình PELAGOS để nghiên cứu ảnh hưởng của nguồn sắt và sóng nhiệt đới không bền đến thực vật nổi vùng xích đạo Thái Bình Dương [74]. Năm 2009, Slemon và cộng sự đã dùng mô hình sinh địa hoá PISCCEL (*gồm ni trát, ni trít, a môn, phốt phat, si li cát li cát, sắt, thực vật nổi, động vật nổi, các bon hữu cơ lơ lửng*) tích hợp với mô hình hoàn lưu 3D OPA để nghiên cứu tác động của nguồn sắt tới vùng nước xích đạo ở Thái Bình Dương [60]. Gần đây nhất, trong năm 2010, một mô hình sinh thái với 9 thành phần (*thực vật nổi nhỏ, thực vật nổi lớn, động vật nổi nhỏ, động vật nổi lớn, vi khuẩn, chất rắn không bền kích thước nhỏ, chất rắn không bền kích thước lớn, chất rắn lớn chất dinh dưỡng giới hạn*) được phát triển để nghiên cứu các yếu tố điều khiển (*dinh dưỡng, độ sâu vùng ưu quang, nhiệt độ*) tỷ lệ năng suất động vật nổi và năng suất thực vật nổi (*gọi là hệ số z*) ở tại 46 vực nước trên khắp các châu lục trong thời gian: 1993 - 2005, trong đó có nhiều vực nước vùng nhiệt đới đã được công bố [67].



**Hình 2:** Sơ đồ mô phỏng mô hình sinh thái 3D tích hợp ECOSMO

(Dựa theo Schrum C. và cộng sự 2006 [57])

### 3. Tình hình phát triển mô hình sinh thái ở các vực nước biển Việt Nam

Cho đến nay, mô hình sinh thái theo kiểu kết hợp mô đun vật lý và mô đun sinh học để có thể đánh giá được cả ảnh hưởng của một số quá trình nhiệt động học biển tới đặc trưng cấu trúc không gian của các hợp phần trong hệ sinh thái biển ở Việt Nam vẫn còn khá ít ỏi. Một trong những người đầu tiên đi theo hướng này là tác giả Đoàn Bộ với mô hình phân bố sinh vật nổi và năng suất sinh học sơ cấp vùng biển Nam Trung bộ, công bố năm 1994 [2]. Sau 4 năm, tác giả đã công bố công trình nghiên cứu năng suất sinh học quần xã sinh vật nổi vùng đầm phá Tam Giang-Cầu Hai bằng phương pháp mô hình toán quan hệ: “*vật môi*” (*thực vật*



*nổi*) - “*vật dữ*” (*động vật nổi*) [3]. Một loạt mô hình sinh thái biển sau đó được xuất bản như: mô hình một chiều (*CO1DMOD*) và mô hình 2 chiều (*CO2DMOD*) để xác định phân bố năng suất sơ cấp ở vùng biển khơi miền Trung Việt Nam [21]; mô hình toán học nghiên cứu hệ sinh thái biển Ninh Thuận-Bình Thuận và phá Tam Giang-Cầu Hai [20]; mô hình chu trình ni tơ trong hệ sinh thái biển [1]; mô hình sinh thái thủy động lực 3D cho vùng ven bờ và cửa sông Việt Nam [10],... nhưng trong đó, phần lớn là các mô hình 1D và 2D, chỉ có một vài mô hình sinh thái 3D. Thêm vào đó, những mô hình 3D này vẫn còn hạn chế như: mô phỏng không đầy đủ cả chu trình ni tơ, phốt pho và si lic (*chỉ chu trình ni tơ hay phốt pho*); một số mô hình bỏ qua các tác động khác (*như sóng và nhiều quá trình khoáng hóa của vật chất trong cột nước...*). Gần đây, mô hình ECOHAM đã được ứng dụng thành công cho vùng ven bờ Khánh Hòa, tập trung vào 2 vịnh Cam Ranh và Vân Phong [5]. Mặc dù ECOHAM mô phỏng hệ sinh thái thực khá tốt nhưng mô hình này cũng chỉ thực hiện ở cỡ không gian trung bình, chỉ mô phỏng chu trình ni tơ và phốt pho,... và hạn chế nhất, có lẽ đây là mô hình sinh thái không được tích hợp với mô hình động lực. Gần đây nhất, mô hình sinh thái tích hợp ECOSMO lần đầu tiên đã được phát triển cho vịnh nước Bình Cang - Nha Trang [4]. Đây là mô hình được phát triển và tích hợp trên cơ sở mô hình HAMSOM và mô hình ECOHAM với giải pháp không gian tốt hơn (*có thể thực hiện ở quy mô không gian nhỏ*) và một số cải tiến để có thể khắc phục các hạn chế của mô hình ECOHAM.

Khó khăn chủ yếu nhất hiện nay trong phát triển mô hình sinh thái ở nước ta so với thế giới là vấn đề nguồn dữ liệu chất lượng. Đối với các khu vực có khá nhiều nguồn dữ liệu đảm bảo chất lượng, liên tục và đồng bộ như vùng biển Bắc và biển Ban tích thì việc phát triển các mô hình sinh thái hiện đại có nhiều thuận lợi. Điều này lý giải vì sao nhiều mô hình khác nhau lại tập trung phát triển trên những vùng biển như thế. Ở Việt Nam, có thể nói chưa có 1 khu vực nào có đầy đủ nguồn dữ liệu đảm bảo chất lượng (*liên tục, đồng bộ...*) để ứng dụng, phát triển mô hình sinh thái. Thêm vào đó, mô hình sinh thái hiện nay còn đòi hỏi nguồn dữ liệu về tương tác biển khí theo thời gian (*cần được cung cấp liên tục từ các cơ quan khí tượng hải dương*), đặc biệt về các tham số sinh thái trong mô hình (*cần phải phát triển nhiều mô hình sinh thái trong khu vực mới có thể có được kinh nghiệm và nguồn dữ liệu để chọn lựa, kiểm tra, đánh giá*). Đó thực sự là những khó khăn làm hạn chế việc phát triển mô hình sinh thái ở nước ta.

### III. TƯƠNG LAI PHÁT TRIỂN CỦA MÔ HÌNH SINH THÁI BIỂN

Hiện nay, trên Thế giới, mô hình sinh thái 3D tích hợp đang được phát triển mạnh và cho một cái nhìn mới bên trong hệ thống (*cấu trúc và cơ chế*). Đối với các hệ sinh thái biển, sự phát triển không gian, thời gian và cường độ sản xuất sơ cấp, chức năng của chuỗi thức ăn, cơ chế tái sinh dinh dưỡng, hậu quả của ưu dưỡng vùng ven bờ, sự mở rộng vùng ưu dưỡng, nguồn ni tơ, phốt pho và si lic,... ngày càng được mô hình hóa một cách cơ bản hơn. Mô hình cung cấp đặc trưng phân bố không gian, thời gian và động học các biến trạng thái đại diện cho bậc dinh dưỡng thấp, mà kết quả này dường như không thể thực hiện được đầy đủ từ khảo sát. Mô hình cũng cung cấp hiểu biết về biến động nguồn năng suất sơ cấp, đặc biệt là về sự mở rộng của năng suất sơ cấp từ vùng ven bờ đến biển khơi. Sinh trưởng của tảo có thể được mô phỏng tốt hơn nhiều đối với ảnh hưởng phân tầng cục bộ của dòng chảy, của nguồn dinh dưỡng có sẵn và của cường độ ánh sáng [27]. Tất cả mô hình đều khá phù hợp cho việc ước tính thông lượng vật chất trong vùng nghiên cứu theo thời gian, rất cần thiết cho việc so sánh giữa các mô hình, giữa mô hình và dữ liệu. Ưu điểm của mô hình hộp là nhu cầu thời gian chạy mô hình tương đối nhỏ, tạo cơ hội thuận lợi để thực hiện nhiều mô phỏng, chẳng hạn: khảo sát độ nhạy của mô hình để thay đổi tham số. Tuy nhiên, độ phân giải của mô hình hộp



hạn chế các nghiên cứu về đặc trưng của hệ thống ở quy mô cỡ trung bình và nhỏ. Từ thực nghiệm mô hình hoá cho thấy, rõ ràng mô hình hệ sinh thái phải là 3D và phải được tích hợp với mô hình hoàn lưu tiên tiến, đặc biệt là đối với các vùng ven bờ kích thước nhỏ. Để nghiên cứu diễn biến quá trình ưu dưỡng và nguồn dinh dưỡng từ sông, từ khí quyển, cần dùng các mô hình sinh thái 3D độ phân giải cao.

Tiên đoán về tương lai của mô hình sinh thái, trong khuôn khổ hợp tác IGBP/SCOR có liên quan đến việc nghiên cứu khía cạnh hóa học và sinh học của quá trình thay đổi toàn cầu đến đại dương, nhiều câu hỏi đã được đặt ra, tập trung vào 3 vấn đề sau [19]: Yếu tố điều khiển trạng thái *sinh - địa - hoá* của đại dương theo thời gian và đáp ứng của đại dương với thay đổi toàn cầu ? tương tác giữa chuỗi thức ăn trong biển với thay đổi toàn cầu ? ảnh hưởng của thay đổi toàn cầu đến tích lũy cac bon cũng như giải phóng cac bon nít và mê tan trong biển ?. Và câu trả lời được khẳng định là mô hình hệ sinh thái hoàn toàn có thể giải quyết được.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. **Đoàn Bộ và Trịnh Lê Hà, 2003.** Mô hình chu trình Ni tơ trong hệ sinh thái biển. Tạp chí khoa học ĐHQG HN, KHTN & CN Tập XIX, No1.
2. **Đoàn Bộ, 1994.** Mô hình hoá sự phân bố sinh vật nổi và năng suất sinh học sơ cấp vùng biển Nam Trung bộ. Luận án Phó tiến sĩ. Trường Đại học Tổng hợp Hà Nội. 104 tr.
3. **Đoàn Bộ, 1998.** Nghiên cứu năng suất sinh học quần xã plankton vùng đầm phá Tam Giang-Cầu Hai bằng phương pháp mô hình toán. Tuyển tập các công trình khoa học. Hội nghị khoa học Trường Đại học Khoa học Tự nhiên ngành Khí tượng-Thủy văn & Hải dương học: Trang 1-7.
4. **Nguyễn Hữu Huân, Bùi Hồng Long, Nguyễn Tác An, Trần Văn Chung, Rune Rosland và Knut Barthel. 2010.** Ứng dụng mô hình sinh thái (ECOSMO) cho vực nước Nha Trang-Nha Phu (Khánh Hòa). Tuyển tập Hội nghị khoa học kỷ niệm 35 năm Viện Khoa học và công nghệ Việt Nam. NXB Khoa học Tự nhiên và Công nghệ. Hà Nội, 336 trang.
5. **Thái Ngọc Chiến, 2010.** Mô hình hóa quá trình sản xuất sơ cấp và biến động muối dinh dưỡng trong các hệ sinh thái vùng biển ven bờ Khánh Hòa. Luận án tiến sĩ sinh học. Viện Hải dương học. 210 trang.
6. **Alekseeva I. and Schrum C., 2008.** Historical reconstruction of the Aral Sea shrinking by a full 3-D wetting and drying model ECOSMO. Geoscientific Model Development Discussions. Vol. 1, pp: 243-283.
7. **Alekseeva Irina, Jarsjö Jerker, Schrum Corinna and Destouni Georgia, 2009.** Reproducing the Aral Sea water budget and sea-groundwater dynamics between 1979 and 1993 using a coupled 3-D sea-ice-groundwater model. Journal of Marine Systems Vol. 76: pp: 296-309.
8. **Allen J.I., Blackford J., Holt J., Proctor R., Ashworth M. and Siddorn J., 2001.** A highly spatially resolved ecosystem model for the North West European Continental Shelf. Sarsia. Vol. 86: pp: 423-440.
9. **Anderson T.R., Ryabchenko V.A., Fasham M.J. R., Gorchakov V.A., 2007.** Denitrification in the Arabian Sea: A 3D ecosystem modelling study. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers. Vol. 54: 2082-2119.

10. **Beckers J-M, Dinh Van Uu, Doan Bo and Nihoul J.C.J., 2000.** Three-dimensional (3D) Eco-Hydrodynamic model and its application in the coastal and estuarine areas of Vietnam. Proceedings-Actes, International Colloquium in Mechanics of Soilds, Fluids, Structures and Interactions, Nha Trang, Aug. 14-18, pp. 390-397.
11. **Byun Do-Seong, Wang Xiao Hua, Zavatarelli Marco, Cho Yang-Ki, 2007.** Effects of resuspended sediments and vertical mixing on phytoplankton spring bloom dynamics in a tidal estuarine embayment. *Journal of Marine Systems* 67: 102-18
12. **Cheng C.V., 1970.** Concepts and Utilities of ecological models. *Pro. Am. Soc. Civ. Eng. J. San. Eng. Div.*, 96 (SA5), pp: 1085-1097.
13. **Christensen A., 1992.** Network analysis of trophic interactions in aquatic ecosystems. PhD Thesis, Copenhagen University.
14. **Christian James R. and Murtugudde Ragu, 2003.** Tropical Atlantic variability in a coupled physical-biogeochemical ocean model. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 50: 2947-2969.
15. **Daewel Ute, Myron A. Peck, Wilfried Kuhn, Michael A. S.T. John, Irina Alekseeva and Corinna Schrum, 2008.** Coupling ecosystem and individual-based models to simulate the influence of environmental variability on potential growth and survival of larval sprat (*Sprattus sprattus* L.) in the North Sea. *Fisheries Oceanography* Vol. 17: pp: 333-351.
16. **Delhez E.J.M. and M.G., 1994.** 3D modelling of hydrodynamic and ecohydrodynamic processes on the north-western European continental shelf. *Bulletin de la Societe Royale des Sciences de Liege* Vol. 63(1-2): pp: 5-64.
17. **Di Toro D.M., O'Connor D.J. and Thomann R.V., 1971.** A Dynamic Model of the Phytoplankton Population in the Sacramento San Joaquin Delta. In *Nonequilibrium Systems in Natural Water Chemistry*, pp. 131-180: American chemical society.
18. **Dickinson R.E, Huber W.C. and Pollman C.E., 1992.** Modeling of Phosphorus Dynamics of LakeOkeechobee. Final Report to South Florida Water Management District from Dept. Of Environmental Engineering Sciences: 376 pp.
19. **Dippner J.W., 2006.** Future aspects in marine ecosystem modelling. *Journal of Marine Systems*. Vol. 61, pp: 246-267.
20. **Doan Bo, 2001.** Using the mathematical models to study the marine ecosystem of Binhthuan-Ninhthuan sea area and Tamgiang-Cauhai lagoon. *Journal of Science, VNU, HaNoi*. Vol. XVII, No 2: pp. 7-15.
21. **Doan Bo, 2006.** About a marine ecosystem model and some results of application to open areas of centre Vietnam. *Journal of Science, VNU, HaNoi*. Vol. XXII, No1. pp.27-33.
22. **Dugdale R.C., 1967.** Nutrient modelling. In. E. D. Goldberg, I. N. Mc Cave, J. J. O'Brien & J. H. Steele (eds.) *The Sea. Ideas and observations on progress on the study of seas*, Vol. 6, Marine Modeling, Wiley-Interscience Publ. New York. pp: 789-806.
23. **Eilola K., Meier H.E.M., Almroth E., 2009.** On the dynamics of oxygen, phosphorus and cyanobacteria in the Baltic Sea: A model study. *Journal of Marine Systems* 75: 163-184.

24. **Fiechter J., Moore A.M., Edwards C.A., Bruland K.W., Di L.E., Lewis C.V.W., Powell T.M., Curchitser E.N. and Hedstrom K., 2009.** Modeling iron limitation of primary production in the coastal Gulf of Alaska. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 56: 2503-2519.
25. **Gibson R.N., Atkinson R.J.A. and Gordon J.D.M., 2006.** *Oceanography and Marine Biology. An annual review.* CRC press. 520 pp.
26. **Gypens Nathalie, Lacroix Geneviève, Lancelot Christiane, 2007.** Causes of variability in diatom and Phaeocystis blooms in Belgian coastal waters between 1989 and 2003: A *model* study. *Journal of Sea Research* 57, pp: 19-35.
27. **Hannah C., Vezina A. and John M.S., 2010.** The case for marine ecosystem models of intermediate complexity. *Progress In Oceanography* 84, pp: 121-128.
28. **Hashioka T. and Yamanaka Y., 2007.** Ecosystem change in the western North Pacific associated with global warming using 3D-NEMURO. *Ecological Modelling.* Vol. 202, pp: 95-104.
29. **Hermann A.J., Hinckley S., Dobbins E.L., Haidvogel D.B., Bond N.A., Mordy C., Kachel N. and Stabeno P. J., 2009.** **Quantifying cross-shelf and vertical nutrient flux in the Coastal Gulf of Alaska with a spatially nested, coupled biophysical model.** *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography,* Vol. 56, pp: 2474-2486.
30. **Hood Raleigh R., Kohler Kevin E., McCreary Julian P. And Smith Sharon L., 2003.** A four-dimensional validation of a coupled physical-biological model of the Arabian Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography.* Vol. 50,pp: 2917-2945.
31. **Ishizaka J., 1990.** Coupling of Coastal Zone Color Scanner data to a physical-biological model of southeastern U.S. continental shelf ecosystem. *Journal of Geophysic Research* 95, pp: 20167-20181.
32. **Jiang M.S., Chai F., Dugdale R.C., Wilkerson F.P., Peng T.H. and Barber R.T., 2003.** A nitrate and silicate budget in the equatorial Pacific Ocean: a coupled physical-biological model study. *Deep Sea Research. Part II.* Vol. 50: pp: 2971-2996.
33. **Kishi M.J. and Ikeda S., 1986.** Population dynamics of red tide organisms in eutrophicated coastal waters - Numerical experiment of phytoplankton bloom in the East Seto Inland Sea, Japan. *Ecological Modelling.* Vol. 31,pp: 145-174.
34. **Kishi M.J., Nakajima K, Fujii M and Hashioka T., 2009.** Environmental factors which affect growth of Japanese common squid, *Todarodes pacificus*, analyzed by a bioenergetics model coupled with a lower trophic ecosystem model. *Journal of Marine Systems.* Vol. 78, pp: 278-287.
35. **Kittiwonich J., Yamamoto T., Kawaguchi O. and Hashimoto T., 2007.** Analyses of phosphorus and nitrogen cyclings in the estuarine ecosystem of Hiroshima Bay by a pelagic and benthic coupled model. *Estuarine, Coastal and Shelf Science.* Vol. 75, pp: 189-204.
36. **Kohlmeier C. and Ebenhöh W., 2007.** Modelling the ecosystem dynamics and nutrient cycling of the Spiekeroog back barrier system with a coupled Euler-Lagrange model on the base of ERSEM. *Ecological Modelling.* Vol. 202, pp: 297-310.

37. **Kremer J. N. and S. W. Nixon, 1978.** A Coastal Marine Ecosystem, Simulation and Analysis. Ecological Studies 24. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York. Biometrical Journal Vol. 23, pp: 222-223.
38. **Lenhart H.J., Radach G., Backhaus J.O. and Pohlman T., 1995.** Simulations of the north sea circulation, its variability, and its implementation as hydrodynamical forcing in ERSEM. Netherlands Journal of Sea Research Vol. 33, pp: 271–299.
39. **Liu Hao and Yin Baoshu, 2007.** Annual cycle of carbon, nitrogen and phosphorus in the Bohai Sea: A model study. Continental Shelf Research. Vol. 27(10-11), pp: 1399-1407.
40. **Liu Kon-Kee, Chao Shenn-Yu, Lee Hung-Jen and Gong G-CaTY-C., 2010.** Seasonal variation of primary productivity in the East China Sea: A numerical study based on coupled physical-biogeochemical model. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography In Press, Corrected Proof.
41. **Lopes J.F., Cardoso A.C., Moita M.T., Rocha A.C. and Ferreira J.A., 2009.** Modelling the temperature and the phytoplankton distributions at the Aveiro near coastal zone, Portugal. Ecological Modelling. Vol. 220, pp: 940-961.
42. **Losa Svetlana N., Vézina Alain, Wright Daniel, Lu Youyu, Thompson Keith and Dowd Michael, 2006.** 3D ecosystem modelling in the North Atlantic: Relative impacts of physical and biological parameterizations. Journal of Marine Systems. Vol. 61, pp: 230-245.
43. **Maar M., Bolding K., Petersen J.K., Hansen J.L.S. and Timmermann K., 2009.** Local effects of blue mussels around turbine foundations in an ecosystem model of Nysted off-shore wind farm, Denmark. Journal of Sea Research. Vol. 62, pp: 159-174.
44. **Mills D. K. and Tett P.B., 1991.** Phytoplankton and fronts in the southern North Sea. ICES C.M./L: 18 pp.
45. **Moisan J.R., Hofmann E.E. and Haidvogel D.B., 1996.** Modeling nutrient and plankton processes in the California coastal transition zone. J. Geophys. Res. Vol. 101: pp: 22677-22691.
46. **Moll A. and Radach G., 1998.** Advective contributions to the heat balance of the German bight (LV Elbel) and the Central North Sea (OWS Famita). Dtsch. Hydrogr. Z. 50: 9-31.
47. **Moll A. and Radach G., 2003.** Review of three-dimensional ecological modelling related to the North Sea shelf system. Part 1: models and their results. Progress In Oceanography. Vol. 57, pp: 175-217.
48. **Nakata Kisaburo and Doi Toshimasa, 2006.** Estimation of primary production in the ocean using a physical-biological coupled ocean carbon cycle model. Environmental Modelling & Software. Vol. 21, pp: 204-228.
49. **Ourmières Y, Brasseur P, Lévy M, Brankart J-M and Verron J., 2009.** On the key role of nutrient data to constrain a coupled physical-biogeochemical assimilative model of the North Atlantic Ocean. Journal of Marine Systems. Vol. 75, pp: 100-115.
50. **Ren J.S., Ross A.H., Hadfield M.G. and Hayden B.J., 2010.** An ecosystem model for estimating potential shellfish culture production in sheltered coastal waters. *Ecological Modelling*. Vol. 221, pp: 527-539.

51. **Riley G.A., 1946.** Factors controlling phytoplankton populations on Georges Bank. *Journal of Marine Research*. Vol. 6(1), pp:54 - 72.
52. **Riley G. A., Stommel H. and Bumpus D. F., 1949.** Quantitative ecology of the plankton of the western North Atlantic. *Bulletin of Bingham Oceanography Colleges*. Vol. 12(3): pp: 161-169.
53. **Riley GA., 1947.** Seasonal fluctuations of the phytoplankton population in New England coastal waters. *Journal of Marine Research*. Vol. 6 (2), pp: 114-125.
54. **Rothlisberg P.C., J.A. Church and A.M.G. Forbes, 1983.** Modeling the advection of vertically migrating shrimp larvae. *Journal of Marine Research*. Vol. 41, pp: 511-538.
55. **S.E. Jørgensen, 2009.** *Ecological Modelling*. Wit press. Southampton, Boston. 188 pp.
56. **Sarmiento J.L., Slater R.D., Fasham M.J.R., Ducklow H.W., Toggweiler J.R. and Evans G.T., 1993.** A seasonal three-dimensional ecosystem model of nitrogen cycling in the North Atlantic euphotic zone. *Global Biogeochemical Cycles* Vol. 7, pp. 417-450.
57. **Schrum Corinna, Alekseeva Irina and St. John Mike, 2006.** Development of a coupled physical-biological ecosystem model ECOSMO: Part I: Model description and validation for the North Sea. *Journal of Marine Systems*. Vol. 61, 79-99.
58. **Skogen M.D. and A. Moll, 2000.** Interannual variability of the North sea primary production: comparison from two the model studies. *Continental shelf research* Vol. 20 (2).
59. **Skogen M.D., Svendsen E., Berntsen D.A., Aksnes D. and Ulvestad K.B., 1995.** Modelling the primary production in the North Sea using a coupled three-dimensional physical-chemical-biological model. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* Vol. 41, pp: 545 – 565.
60. **Slemons L, Gorgues T, Aumont O, Menkes C. and Murray JW., 2009.** Biogeochemical impact of a model western iron source in the Pacific Equatorial Undercurrent. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*. Vol. 56, pp: 2115-2128.
61. **Smith. W.O., G.W. Heburn, R.T. Barber and J.J. O'Brien, 1983.** Regulation of phytoplankton communities by physical processes in upwelling ecosystems. *Journal of Marine Research*. Vol. 41, pp: 539-556.
62. **Sohma A, Sekiguchi Y, Kuwae T. and Nakamura Y., 2008.** A benthic-pelagic coupled ecosystem model to estimate the hypoxic estuary including tidal flat-Model description and validation of seasonal/daily dynamics. *Ecological Modelling*. Vol. 215, pp: 10-39.
63. **Soiland H. and Skogen M.D., 2000.** Validation of a three-dimensional biophysical model using nutrient observations in the North Sea. *Ices Journal of Marine Science* Vol. 57, pp: 816-823.
64. **Steele J.H., 1962.** Environmental control of photosynthesis in the sea. *Limnology Oceanography*. Vol. 7, pp: 137-150.
65. **Steele J.H. and Frost B.W., 1977.** The structure of plankton communities. *Phil. Trans. Royal Soc. London. B. Biological Sciences* Vol. 280 (976), pp: 485-534.

66. **Stegert C., Moll A. and Kreuz M., 2009.** Validation of the three-dimensional ECOHAM model in the German Bight for 2004 including population dynamics of *Pseudocalanus elongatus*. *Journal of Sea Research*. Vol. 62, pp: 1-15.
67. **Stock Charles and Dunne John, 2010.** Controls on the ratio of mesozooplankton production to primary production in marine ecosystems. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*. Vol. 57, pp: 95-112.
68. **Sugimoto R., Kasai A., Miyajima T. and Fujita K., 2010.** Modeling phytoplankton production in Ise Bay, Japan: Use of nitrogen isotopes to identify dissolved inorganic nitrogen sources. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Vol. 86, pp: 450-466.
69. **Tett P.B., 1990.** A three layer vertical and microbiological processes model for shelf seas. Report Proudman Oceanographic Laboratory. Vol. 14, 85ps.
70. **Tett P.B. and Walne A., 1995.** Observations and simulations of hydrography, nutrients and plankton in the southern North Sea. *Ophelia* Vol. 42, pp: 371-416.
71. **Tian T., Merico A., Su J., Staneva J., Wiltshire K. and Wirtz K., 2009.** Importance of resuspended sediment dynamics for the phytoplankton spring bloom in a coastal marine ecosystem. *Journal of Sea Research*. Vol. 62, pp: 214-228.
72. **Tiedje B. Moll A. and Kaleschke L., 2010.** Comparison of temporal and spatial structures of chlorophyll derived from MODIS satellite data and ECOHAM3 model data in the North Sea. *Journal of Sea Research In Press, Corrected Proof*.
73. **Tuchkovenko Yuri S. and Lonin Serguei A., 2003.** Mathematical model of the oxygen regime of Cartagena Bay. *Ecological Modelling*. Vol. 165, pp: 91-106.
74. **Vichi M., Masina S and Nencioli F., 2008.** A process-oriented model study of equatorial Pacific phytoplankton: The role of iron supply and tropical instability waves. *Progress In Oceanography*. Vol. 78, pp: 147-162.
75. **Walsh J.J., Dieterle DA. and Meyers MB., 1988.** A simulation analysis of the fate of phytoplankton within the Mid-Atlantic Bight. *Continental Shelf Research*, Vol. 8(5-7), pp: 757-787.
76. **Walsh J.J., 1975.** A spatial simulation model of the nitrogen flow in the Peru upwelling ecosystem. *Deep-sea Research* Vol. 22, pp: 201-236.
77. **Wei Hao, Sun Jun, Moll Andreas and Zhao Liang, 2004.** Phytoplankton dynamics in the Bohai Sea-observations and modelling. *Journal of Marine Systems* 44: 233-251
78. **Werner Francisco E., Ito Shin-Ichi, Megrey Bernard A. and Michio J. Kishi, 2007.** Synthesis of the NEMURO model studies and future directions of marine ecosystem modeling. *Ecological Modelling*. Vol. 202, pp: 211 – 223.
79. **Wiggert J.D., Murtugudde R.G. and Christian J.R., 2006.** Annual ecosystem variability in the tropical Indian Ocean: Results of a coupled bio-physical ocean general circulation model. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. Vol. 53, pp: 644-676.
80. **Wilfried Kuhn J.P., Hermann L. and Moll A., 2009.** ECOHAM 4. MEECE: Marine Ecosystem Evolution in a Changing Environment, 6ps.
81. **Wroblewski J.S., 1977.** A model of phytoplankton plume formation during variable Oregon Upwelling. *Journal of Marine Research*. Vol. 35 (2): pp: 357-394.

82. **Wroblewski J.S., 1982.** Interaction of currents and vertical migration in maintaining *Calanus marshallae* in the Oregon upwelling zone- a simulation. *Deep-Sea Research*. Vol. 29, pp: 665 - 689.
83. **Xu Jiangtao and Hood Raleigh R., 2006.** Modeling biogeochemical cycles in Chesapeake Bay with a coupled physical-biological model. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Vol. 69, pp: 19-46.
84. **Zevenboom W., 1994.** Assessment of eutrophication and its effects in marine waters. *Deutsche Hydrographische Zeitschrift Supplement*, 41ps.
85. **Zhao Qiang and Lu Xianqing, 2008.** Parameter estimation in a three-dimensional marine ecosystem model using the adjoint technique. *Journal of Marine Systems*. Vol. 74, pp: 443-452.

## **DEVELOPMENT STATUS OF ECOLOGICAL MODELS IN THE CONTINENTAL SHELF WATERS**

**NGUYEN HUU HUAN**

*Summary: The development status of marine ecological models is briefly presented. The ecological models have spent 6 stages, with the beginning of Lotka-Volterra and Streeter-Phelps models in 1920s to coupled 3D ecological models in the present. The development of ecological models is followed the circulation models of continental shelf and ocean because they are used as external forces in the ecological models. Some typical 3D ecological models as well as their predictive capability are discussed. In next time, with the improvements of coupled 3D models, the deeper understanding on the physical-biological interactions and the increase of computer power,... open questions as: the factors controlling the time-varying biogeochemical state of marine ecosystems, responding of the ocean to global change, the interactions between marine food webs and global change, the influences of carbon accumulation and the release of carbon dioxide and methane by global change will be resolved by modern 3D ecological models.*

**Ngày nhận bài:** 28 - 4 - 2011

**Người nhận xét:** TS. Bùi Hồng Long