

Applications remote sensing data and GIS for research and management natural resources and environment of coastal zone and islands in Vietnam

Pham Quang Son¹

Abstract: Vietnam has a long coastline of approximately 3.200 km, and has EEZ area is three times larger than her land area. Almost of important cities locate in the coastal zone of Vietnam. The coastal zone of Vietnam is exposed to a host of environmental hazards such as flash floods, sea level rise, wetland and ecological sites losses... Remote sensing is likely to be a valuable technique in researching and mitigating these hazards as well as in integrated coastal zone and islands management in Vietnam. However, sources of satellite images depend on developed countries, because Vietnam has not her own environmental satellite system. Therefore, in order to get performance in applying remote sensing to sustainable development, Vietnam must invest effectively to train Vietnamese scientist, to improve quality of laboratories and to obtain state of the art equipments.

Ứng dụng thông tin viễn thám và GIS trong nghiên cứu, quản lý tổng hợp tài nguyên và môi trường ở vùng ven biển và hải đảo

Phạm Quang Sơn

Tóm tắt: Việt Nam có bờ biển dài hơn 3.200km, có vùng đặc quyền kinh tế biển rộng gấp 3 lần diện tích lãnh thổ trên lục địa, vùng ven biển ở nước ta còn là nơi tập trung các khu dân cư lớn, các trung tâm kinh tế, văn hoá, chính trị rất quan trọng.... lại thường xuyên chịu tác động xấu do các tai biến thiên nhiên gây ra như xói lở bờ biển, bồi lấp luồng lạch cửa sông, biến đổi lòng dẫn, nước dâng, ngập lụt, ô nhiễm môi trường, biến động các hệ sinh thái ven biển.... Vì vậy nhu cầu sử dụng thông tin vệ tinh viễn thám trong nghiên cứu, quản lý tổng hợp đới ven biển và hải đảo ngày càng cao. Trong khi Việt Nam chưa có hệ thống vệ tinh viễn thám riêng, các tư liệu viễn thám đều do nước ngoài cung cấp. Các tư liệu viễn thám hiện nay rất đa dạng về chủng loại và tính năng, do đó để khai thác sử dụng chúng có hiệu quả cần thiết có đầu tư chiều sâu cho trang thiết bị khoa học và đào tạo được đội ngũ cán bộ chuyên môn cao có khả năng làm chủ các công nghệ hiện đại.

1. Mở đầu

Ngày nay việc sử dụng thông tin vệ tinh viễn thám trong nghiên cứu, giám sát Trái Đất đã trở thành một nhu cầu thiết yếu của nhiều quốc gia, trong đó có Việt Nam. Không kể đến các loại vệ tinh quân sự, các vệ tinh định vị, các vệ tinh viễn thông... các hệ thống vệ tinh thám sát (hay quan sát Trái Đất) đang hoạt động trên quỹ đạo rất đa dạng về chủng loại và tính năng. Công nghệ khai thác thông tin vệ tinh đang thực sự phục vụ con người, mang lại hiệu quả cao trong nhiều lĩnh vực khoa học-công nghệ, phục vụ đời sống, sản xuất và kiểm soát tài nguyên - môi trường.

Nước ta có bờ biển dài hơn 3.200km, có vùng đặc quyền kinh tế biển thuộc thềm lục địa rộng tới 1,0 triệu km², gấp 3 lần diện tích lãnh thổ trên lục địa, là nơi giàu tiềm năng về các nguồn lợi thủy sản và tài nguyên thiên nhiên. Việt Nam kỳ vọng kinh tế biển sẽ đóng góp

¹ Center for Remote Sensing & Geomatics (VTGEO), Institute of Geological Sciences; Gate 84, Chua Lang Str., Dong Da, Hanoi; Tel.: (84-4) 835.14.93; E-mail: quangsonpham2000@yahoo.com

tỷ trọng ngày càng lớn cho nhu cầu phát triển kinh tế - xã hội trong những thập niên tới. Trong chiến lược phát triển kinh tế đầu thế kỷ 21, hướng kinh tế biển được đặt ra với nhiều nhiệm vụ rất quan trọng. Tháng 3-2006 Thủ tướng Chính phủ đã ra Quyết định phê duyệt «*Đề án tổng thể về điều tra cơ bản và quản lý tài nguyên - môi trường biển đến năm 2010, tầm nhìn đến năm 2020*», trong đó có việc điều tra nghiên cứu, quản lý tổng hợp vùng ven biển và biển ven bờ ở nước ta. Đề án này đã đặt ra nhiều nhiệm vụ to lớn cho công tác điều tra, nghiên cứu sử dụng có hiệu quả các nguồn tài nguyên và bảo vệ môi trường biển phục vụ phát triển kinh tế - xã hội ở Việt Nam. Một trong những phương tiện hiện đại trợ giúp việc quản lý tổng hợp tài nguyên và môi trường vùng biển ven bờ hiện nay là sử dụng thông tin vệ tinh (viễn thám) và Hệ thống thông tin địa lý (GIS). Trong khuôn khổ báo cáo này, chúng tôi muốn đề cập tới nhu cầu và khả năng sử dụng kỹ thuật viễn thám (*Remote Sensing-RS*) và Hệ thống thông tin địa lý (*Geographycal Information System-GIS*) trong nghiên cứu, quản lý tổng hợp tài nguyên, cảnh báo sớm thiên tai ở vùng ven biển và hải đảo của nước ta.

2. Khả năng sử dụng thông tin ảnh vệ tinh trong nghiên cứu, quản lý tài nguyên - môi trường ven biển và hải đảo

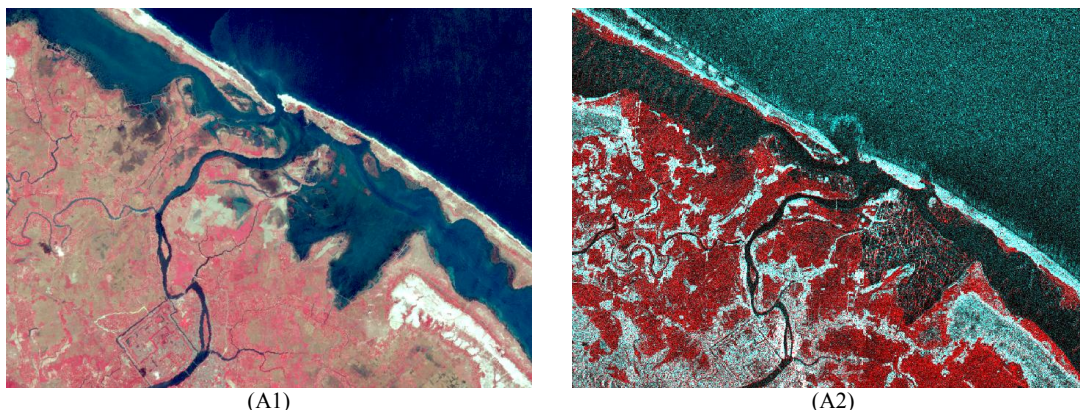
Việc nghiên cứu, khảo sát ở vùng biển ven bờ, đồng bằng ven biển và nhất là các cửa sông, hải đảo hiện nay còn gặp nhiều khó khăn khi gặp thời tiết bất ổn, như trường hợp có bão, áp thấp, giông lốc hay khi có lũ lớn và gió mùa thổi mạnh... Để khắc phục khó khăn này, một trong những phương pháp rất có hiệu quả hiện nay trong nghiên cứu đối ven biển, các cửa sông và hải đảo là sử dụng kết hợp thông tin Viễn thám (RS) và Hệ thống tin địa lý (GIS). Tư liệu viễn thám rất đa dạng về chủng loại và độ phân giải không gian, bao gồm có các loại ảnh máy bay, ảnh vệ tinh thám sát thu nhận trong các thời gian khác nhau; trong đó loại ảnh đa phổ (*Multispectral Image*) hiện nay được sử dụng rất rộng rãi. Ảnh đa phổ được thu nhận trên các thiết bị quang học (nên còn gọi là ảnh quang học) trong dải sóng điện từ rất rộng, từ phổ thị tần (*Visible*) cho đến phổ hồng ngoại (*Infra-Red*) và là nguồn cung cấp thông tin rất quan trọng, phục vụ cho các nghiên cứu chuyên đề khác nhau. Những năm gần đây loại *ảnh radar* ra đời đã đánh dấu một bước tiến to lớn trong công nghệ viễn thám. Công nghệ viễn thám radar cho phép chụp ảnh mặt đất trong thời gian cả ban ngày lẫn đêm, nó khắc phục được nhược điểm của loại đầu thu ảnh quang học khi gặp thời tiết xấu. Như vậy, hiện nay ngoài các loại ảnh máy bay, khả năng các vệ tinh thám sát Trái Đất có thể cung cấp nhanh thông tin về những biến động trên mặt đất.

2.1. Sử dụng ảnh vệ tinh đa phổ (ảnh quang học) trong nghiên cứu vùng ven biển và hải đảo

Ảnh đa phổ được thu nhận không chỉ trong dải phổ thị tần, mà phần lớn các thông tin được thu nhận trong vùng phổ hồng ngoại, nằm ngoài khả năng phát hiện bằng mắt thường. Các đầu thu quang học trên vệ tinh (*Sensor*) được thiết kế thu nhận các vùng phổ riêng biệt khác nhau phản xạ từ mặt đất, phụ thuộc vào loại đối tượng cần quan sát. Các vệ tinh thám sát hiện nay thu nhận ảnh trên nhiều kênh khác nhau, như các vệ tinh Landsat mang đầu thu MSS, TM và ETM (của Mỹ) cung cấp từ 4 đến 8 kênh ảnh, các vệ tinh SPOT (của Pháp) cung cấp 3-4 kênh ảnh đa phổ và một kênh toàn sắc; ảnh Aster (của Nhật Bản) có 14 kênh; các vệ tinh Terra và Aqua mang thiết bị thu ảnh MODIS (của Mỹ) có thể thu nhận tới 36 kênh ảnh phục vụ nghiên cứu chuyên đề về các đối tượng khác nhau trên mặt đất, trên Đại dương và trong Khí quyển.

Các đối tượng nghiên cứu có khả năng phản xạ không như nhau, tùy thuộc vào đặc tính hoá - lý của chúng, như thành phần vật chất, màu sắc, nhiệt độ, độ ẩm.... Chính nhờ khả

năng phản xạ riêng này, chúng ta có thể phân biệt được các đối tượng khác nhau ở từng kênh ảnh hoặc ở các bức ảnh tổ hợp màu. Mỗi kênh ảnh dùng nghiên cứu chủ yếu một nhóm đối tượng nhất định; ví dụ, nhóm thực vật được nghiên cứu chủ yếu trên kênh cận hồng ngoại (*Near IR*), nhóm nước trên vùng phổ xanh da trời (*Blue*), đất-đá trên vùng phổ xanh lá cây (*Green*) và dải phổ cận hồng ngoại (*Near IR*), vv...



Hình 1: Ảnh đa phổ (A1) và ảnh radar (A2) khu vực phá Tam Giang, chụp trước và trong trận lũ lịch sử tại Thừa Thiên - Huế, tháng 11/1999.

2.2. Sử dụng ảnh vệ tinh radar trong nghiên cứu vùng ven biển và hải đảo

Việt Nam nằm trong vùng khí hậu nhiệt đới ẩm, gió mùa có lượng mây che phủ trung bình hàng năm rất cao, vì vậy việc sử dụng các loại ảnh vệ tinh quang học luôn gặp khó khăn. Những bức ảnh về hiện trạng mây có giá trị đối với các nhà khí tượng học, ngược lại nó gây trở ngại lớn khi nghiên cứu các đối tượng khác trên mặt đất. Ngoài ra, còn một nhược điểm của các vệ tinh quỹ đạo cực mang đầu thu quang học là chu kỳ chụp lặp lại thường khá dài, như SPOT là 26 ngày, Landsat MSS là 18 ngày và Landsat TM-16 ngày... Vì vậy việc cập nhật thông tin ảnh vệ tinh sẽ rất khó khăn khi cần theo dõi những biến động xảy ra nhanh trên mặt đất như thiên tai do bão, ngập lụt, trượt lở đất, cháy rừng, ô nhiễm do tràn dầu vv... Nhằm khắc phục nhược điểm của đầu thu quang học, cuối những năm 1970 công nghệ thám sát radar tích cực (*active*) phát triển với các kiểu đầu thu như radar quét sườn SLR (*Side Looking Radar*), radar tổng hợp mở SAR (*Synthetic Aperature Radar*).... trang bị trên máy bay và vệ tinh. Thiết bị radar sử dụng dải vi sóng có độ dài bước sóng từ *centimét* tới *mét*. Những vệ tinh mang đầu thu radar hoạt động trên quỹ đạo gần Trái Đất đã và đang cung cấp liên tục ngày đêm các thông tin về mặt đất và mặt biển, như các hệ thống: Seasat (Hoa Kỳ), Almaz (LB Nga), ERS (Cộng đồng châu Âu), Radarsat (Canada), JERS (Nhật Bản)...

Hiện nay tư liệu ảnh radar có ứng dụng rộng rãi trong các nghiên cứu môi trường mặt đất và các Đại dương. Nhược điểm của ảnh radar là loại ảnh một kênh (ảnh đen trắng) và có công nghệ xử lý phức tạp hơn so với ảnh quang học. Trong xử lý, ảnh radar thường được sử dụng kết hợp với các loại ảnh quang học khác để tăng cường khối lượng thông tin và cải thiện độ phân giải không gian.

2.3. Phương pháp lựa chọn tư liệu ảnh vệ tinh trong nghiên cứu

Việc lựa chọn nguồn tư liệu ảnh trong nghiên cứu luôn phụ thuộc vào đối tượng nghiên cứu và nguồn tư liệu ảnh sẵn có. Trong báo cáo này, chúng tôi cung cấp một số thông tin

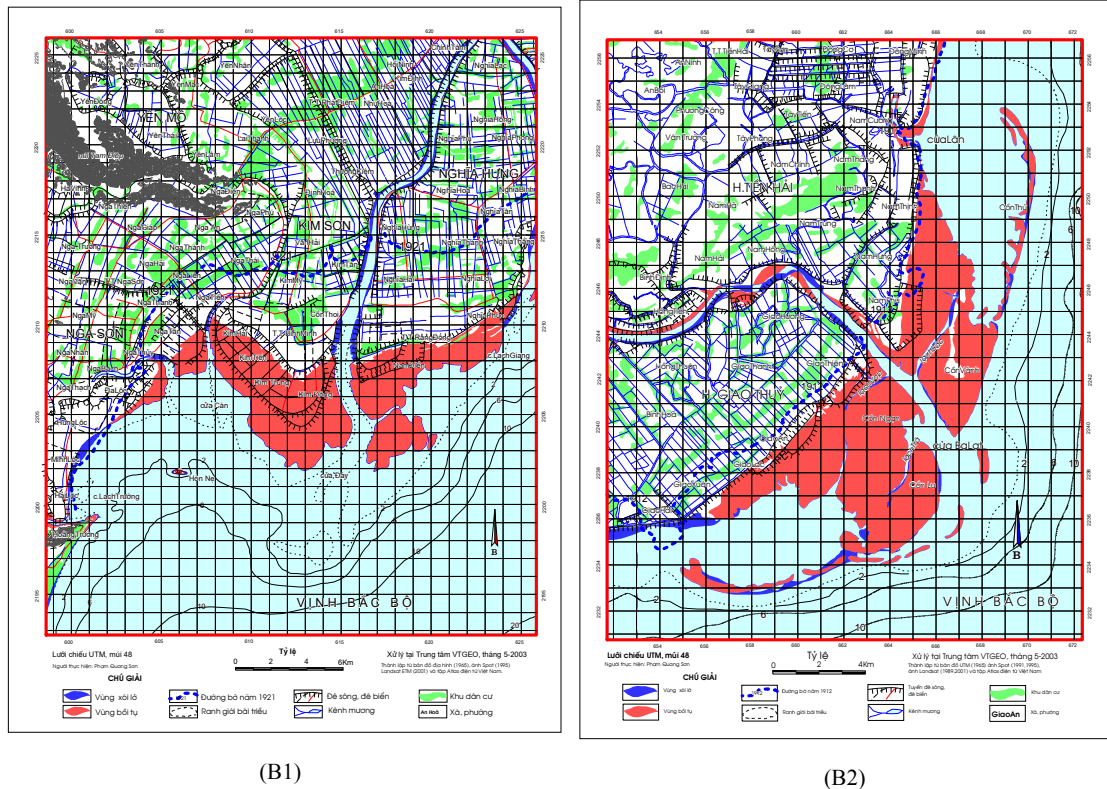
liên quan tới tính năng của một số loại ảnh quang học và radar có khả năng đáp ứng cho các mục đích nghiên cứu khác nhau ở vùng đồng bằng, ven biển và cửa sông. Theo đánh giá trong nhiều công trình khoa học ứng dụng công nghệ viễn thám [10-16] mỗi loại ảnh thường chỉ có giá trị sử dụng cho từng đối tượng cụ thể. Vì vậy người sử dụng cần quan tâm không chỉ tới độ phân giải không gian (kích thước pixel) mà còn tới cả những tính năng phản xạ riêng biệt của mỗi đối tượng; Ví dụ, để tách vùng ngập nước và vùng không ngập nước (trong nghiên cứu đường bờ) loại tư liệu cần sử dụng là ảnh máy bay (ảnh màu, ảnh đen trắng, ảnh quét quang điện), hay các kênh ảnh vùng phổ thị tần có độ phân giải cao (ảnh SPOT, Landsat TM&ETM, Aster) hoặc ảnh radar với độ phân giải cho phép (như ảnh vệ tinh Almaz, Radarsat, ERS-1, JERS-1). Ngược lại, đối với các đối tượng nghiên cứu là thực vật cần có các kênh ảnh cận hồng ngoại (*Near IR*) như ảnh SPOT, Landsat TM, ETM, MSS và NOAA. Nhưng nếu nghiên cứu trường nhiệt độ bề mặt và dòng chảy ven bờ thì kênh ảnh phải sử dụng là loại hồng ngoại nhiệt (*Thermal IR*) có ở các vệ tinh NOAA, MOS, MODIS, Landsat TM, ETM... hoặc những kênh ảnh chuyên dụng khác chỉ dùng cho một loại đối tượng nhất định, như nghiên cứu tầng Ôzôn, bốc hơi, đo trường sóng - gió...

Trong nghiên cứu vùng ven biển và các đảo hiện nay, những nội dung nghiên cứu thường đề cập là: địa mạo vùng bờ, các quá trình động lực (sóng - gió, dòng chảy, xói lở - bồi tụ...), sinh học biển, các hoạt động nhân tạo, vv.... Trong thực tế, khi sử dụng ảnh vệ tinh nhiều người thường chỉ quan tâm tới độ phân giải không gian (cỡ pixel) hơn là chú ý đến khả năng nhận biết đối tượng qua phổ phản xạ (spectre). Nhìn chung, cách tối ưu nhất để nhận biết đối tượng khi giải đoán là kết hợp được cả hai yếu tố về phổ phản xạ và độ phân giải không gian. Để dễ phân biệt các đối tượng, một giải pháp thường được sử dụng khi xử lý ảnh là kết hợp các loại ảnh có độ phân giải khác nhau bằng kỹ thuật trộn ảnh (fusion). Các thông tin viễn thám được sử dụng kết hợp với thông tin địa lý khác và tích hợp trên các hệ thống GIS; hai công nghệ quan trọng này bổ sung cho nhau những thông tin có liên quan tới đối tượng nghiên cứu. Đây là phương pháp khai thác thông tin nhiều chiều về đối tượng nghiên cứu có tọa độ địa lý trong một không gian xác định.

3. Ứng dụng thông tin viễn thám trong nghiên cứu vùng ven biển và các đảo Việt Nam

Tại Việt Nam đã có nhiều công trình nghiên cứu KH vùng ven biển, hải đảo có ứng dụng các thông tin viễn thám với hai dạng dữ liệu ảnh là: tương tự (*analog*) và dữ liệu số (*digital*), ví dụ:

- Thành lập bản đồ các vùng nhạy cảm ven biển từ ảnh SPOT (ảnh tương tự) do Trung tâm Viễn thám - Bộ Tài nguyên và Môi trường thực hiện năm 1996;
- Thành lập bản đồ địa hình một số đảo và quần đảo từ ảnh vệ tinh phân giải cao (Trung tâm viễn thám - Bộ Tài Nguyên và Môi trường);
- Nghiên cứu và thành lập bản đồ địa mạo vùng đồng bằng sông Hồng trên cơ sở sử dụng kết hợp hệ thống xử lý ảnh số và hệ thống tin địa lý (Phạm Văn Cự, 1996);
- Sử dụng ảnh SPOT, Landsat TM, Radarsat, bản đồ địa hình và các tư liệu khí tượng-thủy văn vào phân tích quá trình phát triển vùng cửa sông Hồng trong thời gian từ 1965-1997 (Phạm Quang Sơn, 1997);
- Sử dụng thông tin viễn thám trong nghiên cứu sự phát triển và biến động các vùng cửa sông ven biển đồng bằng sông Hồng (Phạm Quang Sơn, 2004), vv....



Hình 2: Nghiên cứu biến động vùng cửa Đáy (B1) và cửa Ba Lạt (B2) từ thông tin viễn thám đa thời gian, phân giải cao (Nguồn tài liệu: Phạm Quang Sơn)

Trong những năm gần đây, đã xảy ra hàng loạt các tai biến thiên nhiên trên vùng đồng bằng ven biển do lũ lụt, nước dâng, sóng gió ven bờ... Thiên tai gây ra hậu quả nghiêm trọng tới đời sống và sản xuất ở nhiều địa phương, đã được nhiều cơ quan nghiên cứu và quản lý quan tâm. Trung tâm Viễn thám và Geomatic (VTGEO) đã tham gia thực hiện một số đề tài nghiên cứu tai biến vùng đồng bằng ven biển và cửa sông có sử dụng thông tin Viễn thám và GIS như:

- Nghiên cứu xói lở và trượt lở bờ ở các sông Miền Trung (năm 2000);
- Nghiên cứu tình trạng ngập lụt đồng bằng Huế - Quảng Trị từ ảnh vệ tinh Radarsat và GIS (năm 2001);
- Nghiên cứu xói lở bờ và bồi lấp lòng dẫn sông Hồng (năm 2001);
- Nghiên cứu biến động các cửa sông Miền Trung và vấn đề tiêu thoát nước lũ ở vùng ven biển (năm 2002);
- Nghiên cứu tai biến xói lở - bồi lấp vùng ven biển tỉnh Quảng Ngãi và đề xuất các giải pháp xử lý, phòng tránh (năm 2002);
- Nghiên cứu biến động các vùng cửa sông ven biển đồng bằng sông Hồng và đồng bằng sông Cửu Long qua thông tin viễn thám đa thời gian, phân giải cao (2006-2008), vv...



(C1)



(C2)



(C3)



(C4)

Hình 3: Một số đảo thuộc quần đảo Hoàng Sa (C1,2) và Trường Sa (C3,4) nhìn từ vũ trụ

Thông tin viễn thám phân giải cao còn được sử dụng nghiên cứu biển trên các đảo ven bờ và ngoài khơi thuộc vùng chủ quyền của nước ta. Những vùng biển ngoài khơi như khu vực quần đảo Hoàng Sa hay một số đảo thuộc quần đảo Trường Sa là nơi chúng ta khó có khả năng tiếp cận trực tiếp do những tranh chấp về chủ quyền, hoặc khó tiến hành khảo sát trong điều kiện thời tiết không thuận lợi, thì tư liệu viễn thám luôn có giá trị cao về tính cập nhật thông tin không gian đối với các cơ quan nghiên cứu và quản lý hiện nay.

Các kết quả thu nhận được của các đề tài nghiên cứu nêu trên có ý nghĩa góp phần xây dựng cơ sở khoa học và phương pháp luận về ứng dụng công nghệ Viễn thám và GIS vào nghiên cứu, theo dõi và có thể cảnh báo sớm một số loại thiên tai ở vùng đồng bằng, ven biển và các cửa sông như: xói lở bờ sông - bờ biển, ô nhiễm môi trường biển ven bờ, ô nhiễm do tràn dầu trên biển... cũng như tại các đảo ven bờ và ngoài khơi ở nước ta.

4. Kết luận

Nhu cầu sử dụng ảnh vệ tinh phân giải cao ở nước ta ngày càng lớn, phục vụ cho công tác nghiên cứu, quản lý tài nguyên và môi trường, nhất là các vùng biển ven bờ và hải đảo, nằm trong chiến lược phát triển kinh tế biển của Nhà nước. Các vệ tinh thám sát có khả năng cung cấp các thông tin diễn ra hàng ngày trên mặt đất, mặt biển trong đó có vùng ven biển vốn là nơi rất nhạy cảm và biến động nhanh dưới tác động của nhiều nhân tố tự nhiên và hoạt động của con người.

Các trung tâm kinh tế lớn, các khu dân cư quan trọng ở nước ta đều nằm trên vùng đồng bằng thấp, vùng ven biển và cửa sông, nơi thường xuyên chịu tác động của các tai biến

thiên nhiên như lũ lụt, úng ngập, xói lở bờ, bồi lấp... do đó việc nghiên cứu, theo dõi và cảnh báo các tai biến này luôn là nhu cầu cấp thiết.

Việc lựa chọn các nguồn tư liệu ảnh phải được cân nhắc cho từng loại đối tượng nghiên cứu, do nguồn tư liệu rất phong phú về chủng loại và tính năng, hơn nữa giá thành của ảnh vệ tinh hiện nay còn cao. Mặc dù Việt Nam đã có trạm thu ảnh vệ tinh phân giải cao và trong tương lai sẽ có các hệ thống vệ tinh viễn thám (quang học và radar) nhưng chúng ta còn hạn chế về khả năng khai thác thông tin ảnh, vì vậy cần đầu tư cho công tác đào tạo cán bộ chuyên môn và chuyển giao công nghệ giữa các cơ quan nghiên cứu KH-CN và các cơ sở đào tạo ứng dụng công nghệ vũ trụ trong nước.

Tài liệu tham khảo

- Phạm Văn Cự, 1996. Xây dựng bản đồ địa mạo một vùng đồng bằng trên cơ sở phối hợp hệ xử lý ảnh số và hệ thống tin địa lý (trên thí dụ ĐBSH). Luận án Phó tiến sỹ KH Địa lý – Địa chất, Bộ Giáo dục và Đào tạo - Trung tâm Khoa học Tự nhiên và Công nghệ Quốc gia. Hà Nội.
- Phạm Quang Sơn, 1999. Một số vấn đề về sử dụng thông tin ảnh trong nghiên cứu vùng ven biển hiện nay. Tuyển tập công trình Thủy văn-Môi trường. Tập 2 (11/1999). Đại học Thủy lợi Hà Nội. Tr. 86-92.
- Phạm Quang Sơn, 2000. Nhu cầu và khả năng đưa hệ thống xử lý thông tin viễn thám vào theo dõi và cảnh báo lũ lụt ở Việt Nam. Tạp chí Khí tượng - Thủy văn. Số 9 (477)/2000. Tổng cục Khí tượng - Thủy văn. Hà Nội. Tr. 21-31.
- Phạm Quang Sơn, 2001. Studing on the change of bed of the Red river lower course by applying GIS and multi-temporal remote sensing technologies. Journal of Geology. Series B, No 17-18/2001. Department of Geology of Vietnam. Hanoi. pp 86-93.
- Phạm Quang Sơn, 2002. Sử dụng thông tin viễn thám và công nghệ GIS trong nghiên cứu, theo dõi và cảnh báo sự cô xói lở, trượt lở bờ sông. Hội thảo quốc tế “Bảo vệ nguồn đất và nước của chúng ta” (MLWR). Hà Nội, 20-22/10/2001. Tr. 155-160.
- Phạm Quang Sơn, Bùi Đức Việt, 2001. Sử dụng ảnh vệ tinh Radarsat (SAR) và GIS trong nghiên cứu ngập lụt đồng bằng Huế-Quảng Trị. Tạp chí Các Khoa học về Trái Đất. Số 4 (T.23)/2001. Hà Nội. Tr. 423-430.
- Phạm Quang Sơn, Nguyễn Tiến Công, Vũ Thị Thu Hoài, 2007. Diễn biến vùng ven biển các tỉnh Nam Định, Ninh Bình trước và sau khi có công trình thủy điện Hòa Bình qua phân tích thông tin viễn thám và GIS. Tạp chí Các Khoa học về Trái Đất. Số 3 (T.29)/2007. Tr. 267-276.
- Tô Quang Thịnh, 1999. Thực trạng và nhu cầu phát triển ứng dụng công nghệ viễn thám ở Việt Nam. Báo cáo tại Hội thảo về ứng dụng công nghệ vũ trụ. Bộ KHCN&MT. Hà Nội.
- CNES (Centre Nationale d'Etudes Spatiales - France). From Optics to Radar, Spot and ERS Applications. Cépaduès Editions. Toulouse, France 1993. 573pp.
- Giles Foody & Paul Curran, 1994. Environmental Remote Sensing from Regional to Global scales. John Wiley & Sons Ltd. England.
- ESA (European Space Agency), 1989. Monitoring the Earth's Environment. A pilot project campaign on Landsat' Applications (1985-1987). Netherlands.
- ESCAP/UNDP, 1989. Remote Sensing Applications to Coastal Zone Studies and Environmental Monitoring. Regional Remote Sensing program. Hanoi.
- Lillesans & Kiefer, 1979. Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley & Sons Inc. England.
- Michel GIRARD et autre, 1989. Télédétection appliquée. Zones tempérées et intertropicale. Masson. Paris - 1989. 260pp.
- Robert Massom, 1991. Satellite Remote Sensing of Polar Region: Applications, Limitations and Data Availability. Scott Polar Research Institute-University of Cambridge. England. 307 pp.