Khả năng ứng dụng công nghệ Lidar xây dựng mô hình số địa hình vùng bãi bồi cửa sông ven biển trong điều kiện Việt Nam

TS. TRẦN ĐÌNH LUẬT, ThS. NGUYỄN THỊ KIM DUNG, ThS. LƯU THỊ THU THUỶ
Tổng Công ty Tài nguyên và Môi trường Việt Nam
ThS. NCS. TRẦN HỒNG HẠNH
Vrije University Brussel

Vùng bãi bồi cửa sông ven biển nhạy cảm với sự biến động của tự nhiên, nơi tương tác giữa Biển và Lục địa, xói lở, bồi tụ xen kẽ nổi lên khi nước triều kiệt và ngập nước khi triều cường. Tuy là vùng đất luôn biến động nhưng lại là khu vực có vị trí địa lý đặc biệt, giàu dinh dưỡng về thổ nhưỡng, phong phú về tài nguyên và đa dạng sinh học. Đây là vùng đệm ra biển lưu thông hàng hải nên có vai trò rất quan trọng trong quá trình phát triển KT-XH và bảo vệ ANQP vùng biển đảo. Hiện tại những thông tin điều tra cơ bản khu vực bãi bồi ven biển vừa thiếu, vừa kém chính xác chưa đáp ứng được yêu cầu cho công tác nghiên cứu, quản lý, nhất là cho công tác quy hoạch và khai thác, sử dụng TN&MT vùng ven biển dẫn tới suy thoái thậm chí là thảm họa môi trường. Vì vậy, việc tìm ra giải pháp xây dựng cơ sở dữ liệu địa hình có độ tin cậy cao cùng các số liệu điều tra về hiện trạng phục vụ công tác điều tra cơ bản là rất cần thiết và cấp bách.

Giải quyết vấn đề

Vùng bãi bồi cửa sông ven biển có đặc điểm là địa hình bị chia ra thành hai khu vực: trên cạn và dưới nước. Bên cạnh đó, còn có vùng đệm là các vùng bãi bồi bao gồm khu vực ngập nước và không ngập nước được phủ lớp rừng ngập mặn. Trên thực tế, ranh giới giữa phần ngập nước và không ngập nước luôn thay đổi do ảnh hưởng của thuỷ triều lên xuống hàng giờ, hàng ngày, hàng tháng biến động theo chu kì nhất định và theo qui luật thuỷ triều của từng vùng [2]. Địa hình khu vực bãi bồi cửa sông ven biển chia ra các dạng chính như sau: Khu vực thường xuyên nổi chỉ bị ngập khi có các trận lũ, bão lớn kết hợp với triều cường; khu vực bị ngập khi thuỷ triều ở mức trung bình; khu vực thường xuyên bị ngập nước và chỉ lộ ra vào các đợt thuỷ triều kiệt và khu vực cửa sông, ven biển thường xuyên ngập nước.

Công tác đo đạc thu nhận thông tin địa hình bãi bồi vùng cửa sông ven biển được thực hiện từ đo vẽ trực tiếp ngoại nghiệp bằng phương pháp toàn đạc, phương pháp đo sâu giao hội âm. Đến nay, công nghệ thu nhận thông tin vùng ven biển có thể thực hiện bằng phương pháp đo vẽ ảnh máy bay, ảnh viễn thám, quét laser xuyên nước tới đáy vùng biển nông, thu nhận thông tin bề mặt và các trong lòng nước biển phục vụ nghiên cứu hệ sinh thái vùng bãi bồi cửa sông ven biển. Phân tích đánh giá ưu và nhược điểm các phương pháp thực hiện chủ yếu và hiện trạng ở nước ta như sau:

Phương pháp đo trực tiếp ngoại nghiệp

Vùng cửa sông ven biển gây rất nhiều khó khăn cho công tác đo đạc với các đặc điểm như sau: Địa hình chủ yếu là bùn lầy việc đi lại rất khó khăn, các khu vực rừng ngập mặn che khuất tia ngắm nên công tác đo đạc trực tiếp bằng phương pháp toàn đạc hoặc kể cả phương pháp đo GPS-RTK khi nước thuỷ triều kiệt rất tốn công sức lao động không thể di chuyển được. Ngoài ra, ở nhiều vùng bãi bồi thuỷ triều lại rút kiệt về đêm nên công tác đo đạc ngoại nghiệp không thực hiện được, phạm vi đo rất hạn chế chỉ vùng gần bờ, đo bao ranh giới các rừng ngập mặn. Vì vậy, việc xây dựng cơ sở dữ liệu địa hình áp dụng phương pháp này khó thực hiện trên diện rộng và không đem lại hiệu quả.

Phương pháp đo vẽ ảnh hàng không, viễn thám

Việc đo đạc địa hình bằng phương pháp chụp ảnh hàng không làm giảm rất nhiều công sức lao động cho công tác đo đạc ngoài thực địa. Tuy nhiên, khu vực bãi bồi cửa sông ven biển thường chỉ thực hiện đến mép nước tại thời điểm bay chụp. Ngoài ra, vào những thời điểm triều kiệt, điều kiện thời tiết thường không thuận lợi cho công tác bay chụp ảnh quang học. Đặc biệt tại vùng cát, bùn lầy không thể chọn các điểm đo khống chế ảnh ngoại nghiệp cũng như các điểm đo nối mô hình và giải bay phục vụ cho công tác tăng dày nội nghiệp. Tương tự nhược điểm trên, việc khai thác ảnh viễn thám còn chỉ hạn chế trong việc cập nhật khoanh bao các đối tượng lớp phủ rừng ngập mặn, việc đo vẽ địa hình vùng bãi bồi ven biển không đáp ứng được yêu cầu độ chính xác thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn. Chính vì vậy, áp dụng phương pháp bay chụp đo vẽ ảnh hàng không - viễn thám cũng rất khó khả thi.

Khả năng ứng dụng công nghệ LiDAR trong công tác xây dựng cơ sở mô hình số địa hình vùng bãi bồi cửa sông ven biển

Việc ứng dụng công nghệ quét LiDAR sẽ thay thế và khắc phục được yếu điểm trong công tác tăng dày đo vẽ ảnh hàng không - viễn thám. Đặc biệt, bay quét LIDAR cho phép đo trực tiếp tọa độ mặt phẳng và độ cao các điểm địa hình với mật độ và độ chính xác cao có thể bay quét vào mọi điều kiện thời tiết cả ngày lẫn đêm [12]. Hệ thống LiDAR được tích hợp 3 thành phần chính: *Hệ thống thiết bị Laser* được thiết kế phát các chùm tia laser, thu nhận tia laser phản xạ và thu nhận dữ liệu cường độ tín hiệu laser phản xạ từ các đối tượng khác nhau trên mặt đất. *Hệ thống định vị toàn cầu GPS* có nhiệm vụ xác định chính xác vị trí (X,Y,Z) của thiết bị quét laser đặt trên máy bay. *Hệ thống điều khiển hàng hướng quán tính INS* sẽ đo gia tốc theo các hướng XYZ, đo các góc nghiêng của máy bay để xác định các góc định hướng của tia quét. Các hệ thống trên được kết nối qua bộ điều khiển trung tâm (CPU) và được điều khiển một cách đồng bộ, chính xác bởi một máy tính đã cài phần mềm tương thích [10]. Nhờ hệ thống dẫn đường quán tính cùng với các trạm đo GPS dưới mặt đất đặt trên các mốc toạ độ, độ cao thu tín hiệu GPS đồng thời với thời điểm bay quét cùng toạ độ tham chiếu bãi kiểm định có thể quy chiếu toàn bộ kết quả bay quét LiDAR về hệ toạ độ trắc địa dưới mặt đất. Đây là ưu thế lớn nhất của phương pháp quét LiDAR để xây dựng mô hình số bề mặt địa hình DEM so với các phương pháp đã nêu ở trên. Tuy nhiên, với thiết bị công nghệ hiện có ở nước ta đang khai thác sử dụng không có khả năng xuyên nước để đo địa hình đáy biển. Vì vậy việc khai thác hiệu quả nhất công nghệ quét LiDAR này chỉ phù hợp quét khu vực bãi bồi ven biển vào tại thời điểm nước triều kiệt.

Các nguồn sai số ảnh hưởng đến độ chính xác xây dựng DEM

Độ chính xác của DEM là một trong các sản phẩm chính của công nghệ LiDAR chịu ảnh hưởng từ các nguồn sai số gồm:

Độ chính xác thực địa xác định toạ độ điểm quét laser (đám mây điểm) mà ở đây độ chính xác phụ thuộc vào đầu quét, thiết bị đạo hàng quán tính IMU cùng các phần mềm xử lý tính toán cạnh và các góc nghiêng khi bay quét và tính chuyển các điểm quét qua các hệ toạ độ chuyển đổi về hệ toạ độ trắc địa. Độ chính xác của hệ thống thiết bị công nghệ này được kiểm định đồng bộ với độ chính xác về mặt phẳng và độ cao đạt đến 15 cm để áp dụng vào thực tiễn sản xuất;

Mô hình của hàm toán học xây dựng DEM. Hàm mô tả bề mặt DEM có thể được thể hiện dạng tổng quát như sau [3] :

$$Z = F(k_i, n, a_i, X, Y) \quad (1)$$

Ở đây: **X,Y,Z** là toạ độ thực địa điểm quét xác định bằng công nghệ LiDAR; **n** là mật độ điểm quét trên m^2; $\mathbf{k_i}$ là mức độ phức tạp của địa hình và $\mathbf{a_i}$ là các tham số toán học xác định mô hình thành lập DEM. Mô hình toán học biểu diễn bề mặt địa hình và để nội suy DEM có thể ở dạng hàm phi tuyến, hàm tuyến tính, hàm đa phương, hàm diện tích, hàm song tuyến... Tuy nhiên, DEM phổ biến hiện nay được xây dựng nội suy trên cơ sở lưới điểm độ cao ô vuông dạng GRID bằng hàm song tuyến có dạng sau [3]:

$$Z = a_0 + a_1X + a_2Y + a_3XY \quad (2)$$

hoặc lưới tam giác dạng TIN có dạng sau:

$$Z = b_0 + b_1X + b_2Y \quad (3)$$

Hiện nay, các mô hình toán để nội suy bề mặt địa hình được xây dựng bằng các phần mềm đồng bộ với công nghệ và được kiểm định với sai số cho phép để đáp ứng với thực tiễn sản xuất.

Mật độ điểm quét laser càng dày kích thước lưới ô vuông càng nhỏ thì độ chính xác xây dựng DEM càng cao. Tuy nhiên để chọn phương án tối ưu thường chọn mật độ điểm quét và yếu tố địa hình làm cơ sở để đảm bảo độ chính xác xây dựng DEM. Sai số độ cao DEM phụ thuộc vào mật độ điểm quét laser thể hiện theo công thức sau [3]

$$M_{Z,\ LIDAR} = \pm [A(n) + B.tgá] \text{ (cm)} \quad (4)$$

Ở đây **A(n)** là tham số và là hàm số của biến n, với n là mật độ điểm quét laser; **B** là hệ số phụ thuộc vào góc nghiêng của địa hình. Từ mật độ điểm quét tính được các thông số kỹ thuật cài đặt máy quét và lựa chọn độ cao bay quét laser một cách tối ưu.

Độ chính xác trong quá trình xây dựng DEM bằng công nghệ quét LiDAR còn phụ thuộc vào tính chất phức tạp của địa hình như: mức độ gồ ghề địa hình, tính chất bề mặt của địa hình, góc nghiêng địa hình cũng như độ phủ bề mặt địa hình. Qua công thức về mật độ điểm quét laser trên đóng vai trò rất quan trọng để có thể ước tính độ chính xác xây dựng DEM cần thành lập [9]:

$$RMSE_Z = M_Z / 1.960 \quad \textbf{(5)}$$

Trong đó M_Z - độ chính xác về độ cao theo quy chuẩn quốc gia; $RMSE_Z$ - sai số trung phương xác định độ cao.

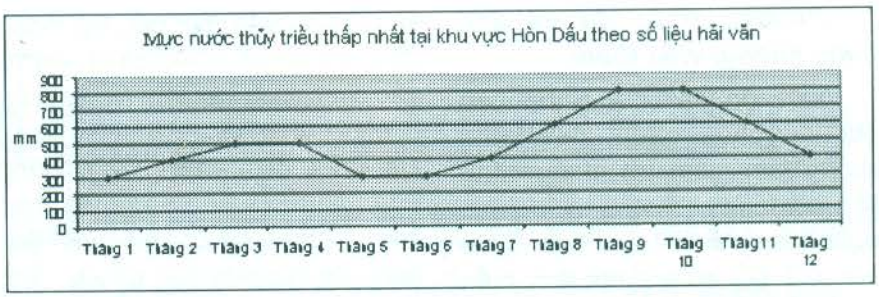
Trong thực tế độ chính xác này thường được đánh giá dựa trên các mô hình sai số hay bằng thực nghiệm dựa trên các điểm đo kiểm tra ngoại nghiệp được tính theo công thức sau: $RMSE_Z$ [11].

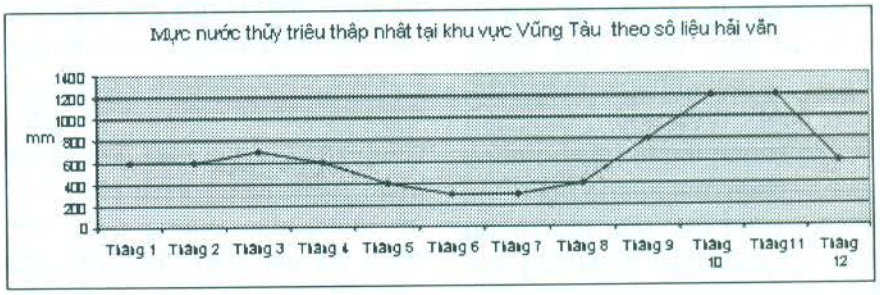
$$RMSE_Z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(Z_i - Z_j)^2}{N}} \quad \textbf{(6)}$$

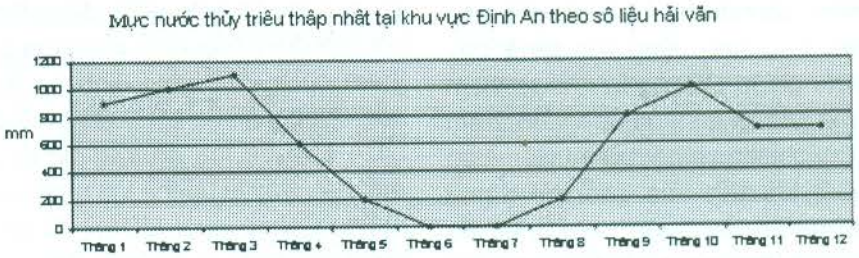
Trong đó Z_i là độ cao nội suy của các điểm thuộc mô hình DEM; Z_j là các độ cao của điểm kiểm tra và N là số các điểm kiểm tra.

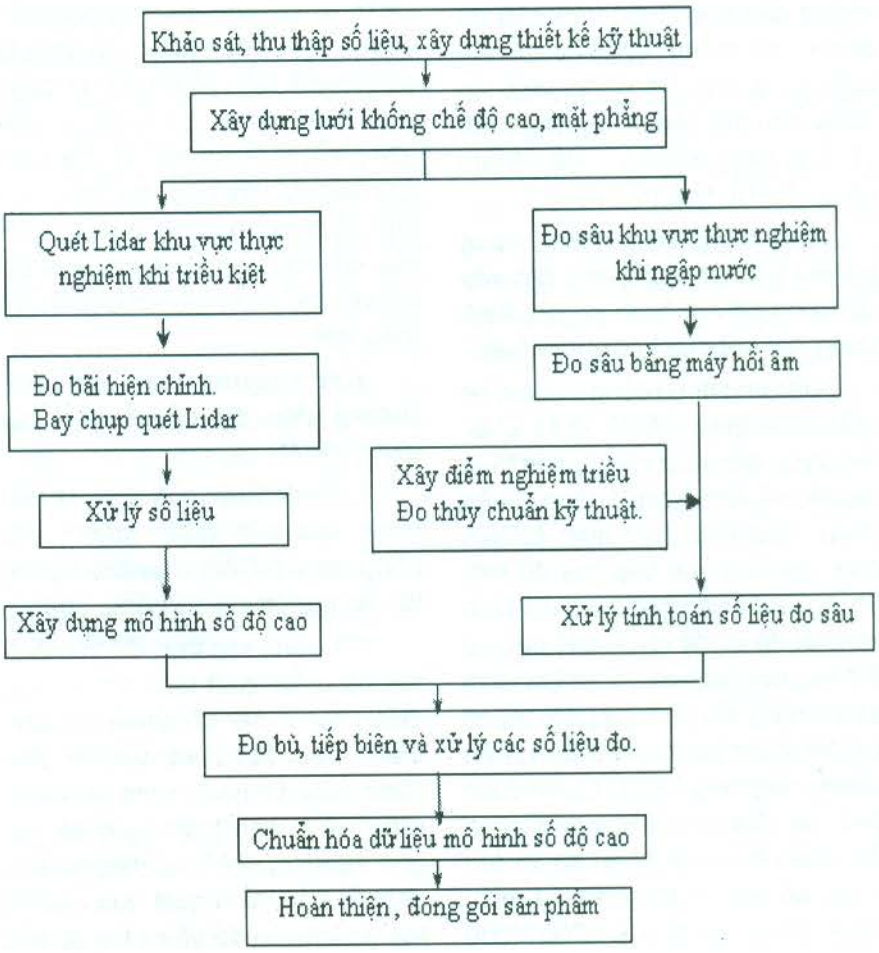
Kết quả thực nghiệm ban đầu

Qua kết quả nghiên cứu cho thấy số liệu thống kê hải văn tại một số vùng bãi bồi cửa sông đặc trưng có thể lựa chọn thời điểm triều kiệt quét LiDAR thích hợp nhất hàng năm được thể hiện như sau [4]: Tại khu vực Hòn Dấu thời điểm bay quét LiDAR khoảng từ tháng 5 đến tháng 6; Khu vực

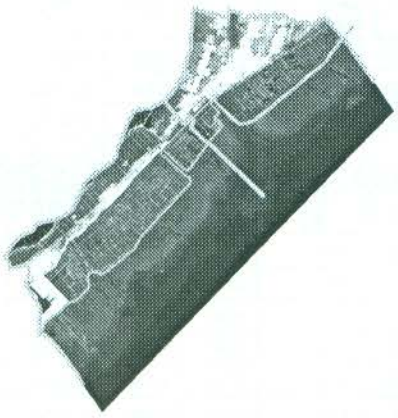




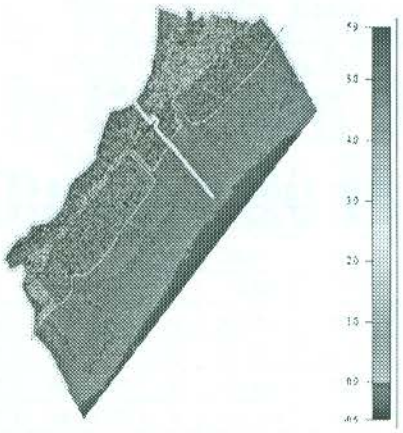




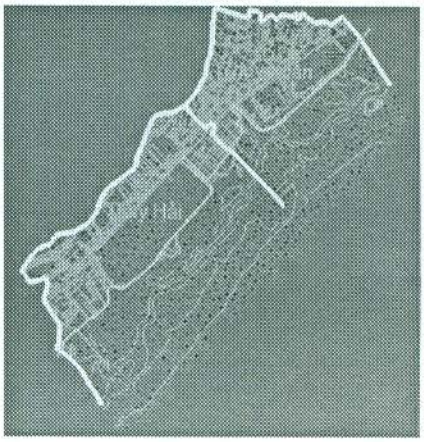
Hình 1: *DTM khu vực thực nghiệm*



Hình 2:*Phân tầng độ cao khu vực thực nghiệm*



Hình 4: *Địa hình khu vực thực nghiệm*



Vũng Tàu Cần Giờ và khu vực các cửa sông đồng bằng sông Cửu trong thời điểm bay quét LiDAR khoảng tháng 6 đến tháng 7.

Khái quát khu vực thực nghiệm bay quét LiDAR

Khu vực thực nghiệm quét LiDAR vùng cửa sông Thái Bình. Tại những khu vực này nguồn phù sa do sông tải ra đã tạo ra các vùng sa bồi, lấn biển, chịu sự tác động khá mạnh của trường sóng, khác với các cửa sông ven bờ phía bắc. Địa hình tương đối bằng phẳng, hơi nghiêng về phía biển, với độ dốc không lớn, các bãi lầy ven biển với rừng sú vẹt dầy, cao. Ngoài ra có dạng địa hình nhân tạo, tiêu biểu là hệ thống đê ngăn lũ và đê biển [2]. Kết quả quét LiDAR bằng hệ thống Harrier 56 tại vùng bãi bồi ven biển cho thấy đối với khu vực rừng ngập mặn đa số điểm xung phản hồi từ bề mặt tán cây, một số điểm xung tín hiệu xuyên qua tán cây và phản hồi từ bề mặt bãi bồi. Với số lượng điểm xung phản hồi thu được đủ để nội suy được khoảng cao đều đường bình độ đến 1m. Như vậy có thể thấy ứng dụng hệ thống quét LiDAR cho phép xây dựng DEM bãi bồi vùng cửa sông ven biển. Đây là ưu thế lớn nhất của phương pháp được lựa chọn trong điều kiện thực tiễn hiện nay ở nước ta. Phần ngập nước không quét được LiDAR sẽ áp dụng đo sâu đáp ứng độ chính xác thành lập bản đồ địa hình với khoảng cao đều 1 mét.

Cơ sở dữ liệu DEM vùng bãi bồi cửa sông ven biển Việt Nam được thực hiện trên nền tảng đa công nghệ [5,6,7] có sự kết hợp chặt chẽ với thực trạng địa hình và điều kiện hải văn.

Quy trình ứng dụng công nghệ quét Lidar xây dựng DEM vùng bãi bồi cửa sông ven biển Việt Nam

Các sản phẩm của công nghệ LiDar khu vực bãi bồi

Kết quả đánh giá độ chính xác xây dựng DEM vùng bãi bồi cửa sông ven biển được đánh giá trên cơ sở so sánh độ cao các điểm kiểm tra được đo thực địa bằng phương pháp GPS_RTK và độ cao các điểm có tọa độ tương ứng trên mô hình số độ cao bằng công nghệ Lidar tính công thức (6) trong (Bảng 1).

Như vậy, sai số trung phương xác định tọa độ độ cao của DEM so với tọa độ độ cao đo ngoại nghiệp hoàn toàn có thể đo vẽ địa hình với khoảng cao đều bình độ 1 mét và DEM có độ chính xác # 0,3 m.

$$M_z = \sqrt[2]{\sum_1^n \frac{\Delta h^2}{n}} = \sqrt[2]{\sum_1^{54} \frac{3.5380}{54}} = 0,2560 \text{ m}$$

Kết luận và kiến nghị

Kết quả thực nghiệm cho thấy trong điều kiện thực tiễn ở nước ta hiện nay, việc áp dụng công nghệ quét LiDAR tại vùng bãi bồi cửa sông ven biển hoàn toàn có thể cho phép xây dựng cơ sở dữ liệu nền địa hình có độ chính xác tương đương bản đồ tỷ lệ 1: 5.000 và nhỏ hơn. Tuy nhiên, để nâng cao độ chính xác xây dựng cơ sở dữ liệu địa hình, nhất là thành lập DEM với độ chính xác cao hơn đối với vùng bãi bồi cửa sông ven biển bằng công nghệ quét LiDAR chúng ta có thể tiếp cận ứng dụng những công nghệ tiên tiến như CHARTS (Compact Hydrographic Airborne Rapit Total Survey) và CZMIL (Coastal Zone Mapping and Imaging LiDAR) [8] với các đầu quét thủy đạc có tần số xung khác nhau với các bước sóng khác nhau cho phép xây dựng DEM cả phần ngập nước. Đây cũng chính là xu thế phát triển công nghệ trong công tác ĐĐBĐ vùng cửa sông ven biển trong tương lai đối với các nhà trắc địa và bản đồ của Việt Nam.

Bảng kết quả đánh giá độ chính xác xây dựng DEM vùng thực nghiệm

STT	Tọa độ X	Tọa độ Y	Độ cao Zj (GPS_RTK)	Độ cao Zi (DEM)	ΔZ = H1-H2	ΔZ²	STT	Tọa độ X	Tọa độ Y	Độ cao Zj (GPS_RTK)	Độ cao Zi (DEM)	ΔZ = H1-H2	ΔZ²
1	351417.392	2270714.983	0.94	1.026	-0.086	0.007396	28	351292.037	2271113.345	0.81	0.88	-0.07	0.0049
2	351422.806	2270442.537	0.94	0.759	0.181	0.032761	29	351655.801	2270745.274	0.99	0.832	0.158	0.024964
3	351456.6476	2270451.757	0.97	0.713	0.257	0.066049	30	351512.217	2270751.791	0.86	0.941	-0.081	0.006561
4	351453.3686	2270395.739	0.94	0.701	0.239	0.057121	31	351423.485	2270755.6	1.16	1.037	0.123	0.015129
5	351355.34	2270428.115	4.5	4.312	0.188	0.035344	32	351389.943	2270750.782	1.01	0.742	0.268	0.071824
6	351371.313	2270439.864	1.16	0.957	0.203	0.041209	33	351385.798	2270795.606	1.14	0.9	0.24	0.0576
7	351388.516	2270488.192	1.03	0.904	0.126	0.015876	34	351407.623	2270865.558	0.95	0.628	0.322	0.103684
8	351381.572	2270521.396	0.97	0.86	0.11	0.0121	35	351395.057	2270915.672	0.81	0.612	0.198	0.039204
9	351348.776	2270556.786	0.94	0.844	0.096	0.009216	36	351439.12	2270943.965	0.72	0.447	0.273	0.074529
10	351418.589	2270595.097	0.77	0.937	-0.167	0.027889	37	351389.369	2270954.448	0.92	0.347	0.573	0.328329
11	351718.506	2270698.874	0.89	0.634	0.256	0.065536	38	351360.125	2271001.037	0.94	0.764	0.176	0.030976
12	351671.349	2270716.109	0.78	0.236	0.544	0.295936	39	351349.081	2270963.067	0.98	0.734	0.246	0.060516
13	351568.461	2270692.317	0.84	0.695	0.145	0.021025	40	351276.984	2270903.596	0.79	0.692	0.098	0.009604
14	351502.322	2270681.656	0.87	0.716	0.154	0.023716	41	351236.078	2270948.262	0.4	0.549	-0.149	0.022201
15	351419.385	2270656.279	0.92	0.728	0.192	0.036864	42	351296.063	2271045.047	0.73	0.659	0.071	0.005041
16	351409.7792	2270675.305	0.76	0.814	-0.054	0.002916	43	351326.708	2270993.916	0.93	0.665	0.265	0.070225
17	351312.081	2270680.576	0.25	0.451	-0.201	0.040401	44	351233.281	2270851.732	0.99	0.75	0.24	0.0576
18	351283.116	2270702.925	4.63	4.516	0.114	0.012996	45	351189.791	2270860.249	2.36	2.136	0.224	0.050176
19	351361.064	2271208.851	0.86	0.569	0.291	0.084681	46	351266.036	2270827.365	0.47	0.552	-0.082	0.006724
20	351350.293	2271154.023	0.89	0.465	0.425	0.180625	47	351355.931	2270815.187	2.69	2.414	0.276	0.076176
21	351328.492	2271096.803	0.69	0.574	0.116	0.013456	48	351493.655	2270732.961	0.98	0.616	0.364	0.132496
22	351374.339	2271109.615	0.85	0.172	0.678	0.459684	49	351205.38	2270751.465	0.96	0.684	0.276	0.076176
23	351414.235	2271192.364	0.83	0.686	0.144	0.020736	50	351514.51	2270873.193	0.795	0.674	0.121	0.014641
24	351406.551	2271240.613	1.34	1.734	-0.394	0.155236	51	351539.9593	2270952.086	0.82	0.647	0.173	0.029929
25	351356.576	2271278.966	0.22	0.66	-0.44	0.1936	52	351439.4346	2271034.796	0.74	0.618	0.122	0.014884
26	351343.385	2271251.672	1.51	1.927	-0.417	0.173889	53	351561.5912	2271051.338	0.69	0.627	0.063	0.003969
27	351316.952	2271176.708	0.89	1.064	-0.174	0.030276	54	351494.8033	2271171.206	0.97	1.1528	-0.1828	0.033416

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

[1]. Nguyễn Văn Cư, *Bãi bồi cửa sông miền Bắc,* Nxb. Viện Khoa học và Công nghệ, 2004.

[2]. Nguyễn Mạnh Hùng (chủ biên), *Biến động bờ biển và cửa sông Việt Nam,* Nxb Khoa học tự nhiên và Công nghệ, 2010.

[3]. Lê Minh, Lương Chính Kế (2008), "*Cơ sở đánh giá độ chính xác DEM thành lập bằng công nghệ LiDAR*", Viễn thám và Địa tin học, Trung tâm Viễn thám Quốc gia - Bộ Tài nguyên và Môi trường, Hà Nội (số 4 - 6/2008).

[4]. *Bảng thuỷ triều các năm 2010,2011,2012* Trung tâm Hải Văn - Tổng cục Biển và Hải đảo Việt Nam.

[5]. *Quy định kỹ thuật và quy trình công nghệ (tạm thời) thành lập mô hình số độ cao và bình đồ trực ảnh bằng công nghệ Lidar* (ban hành kèm theo Quyết định số 2097/QĐ-BTNMT ngày 22/10/2008 của Bộ Tài nguyên và Môi trường.

[6]. *Quy định cơ sở toán học, độ chính xác, nội dung và ký hiệu bản đồ địa hình đáy biển tỷ lệ 1:10 000* ban hành kèm theo Quyết định số 180/1998/QĐ-ĐC ngày 31/3/1998 của Tổng cục Địa chính;

[7]. *Thông tư số 02/2012/TT-BTNMT ngày 19 tháng 3 năm 2012 của Bộ Tài nguyên và Môi trường* Quy định Quy chuẩn kỹ thuật về chuẩn thông tin địa lý cơ sở, QCVN 42: 2012/BTNMT.

[8]. Sylvester, C. (2013) Superstorm Sandy Impact Assessments with CZMIL, ESRI User Conference Proceedings

[9]. Veneziano. D. (2002), Accuracy Evaluation of LiDAR - Derived Terrain data for Transportation Research and Education Iowa State University

[10]. Shan, J. and Toth, C.K. (Eds.). (2009) *Topographic Laser Ranging and Scanning:Principles and Processing,* CRC Press.

[11]. Hodgson M.E. and Patrick Bresnahan (2004), *Accuracy of air-borne - derived elevation: empirical assessment and error budget*, photo grammetric engineering and remote sensing vol.70, No3, pp.311-339

[12]. Tickle, P. and Quadros, N. (2012) The Coastal Urban DEM Project: Mapping the Vulnerability of Australia's Coasts, Cooperative Research Center for Spatial Information.■