

SỬ DỤNG ẢNH LANDSAT TRONG PHÂN TÍCH BIẾN ĐỘNG LỚP PHỦ ĐẤT GIAI ĐOẠN 2010-2025 TẠI ĐẶC KHU PHÚ QUỐC, TỈNH AN GIANG VÀ ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP SỬ DỤNG ĐẤT HIỆU QUẢ

Nguyễn Trương Anh Kiệt^{1,*}, Đặng Thị Hồng Ngọc¹, Nguyễn Kiều Diễm², Phan Hoàng Vũ², Ngô Thị Hiệu¹, Bùi Xuân Khanh¹

¹ Khoa Tài nguyên - Môi trường, Trường Đại học Kiên Giang

² Khoa Môi trường và Tài nguyên thiên nhiên, Đại học Cần Thơ

*Email: ntakiet@vnkgu.edu.vn

TÓM TẮT

Đặc khu Phú Quốc có tốc độ đô thị hóa và phát triển du lịch nhanh, làm gia tăng áp lực chuyển đổi lớp phủ đất. Nghiên cứu đánh giá biến động lớp phủ đất tại đặc khu Phú Quốc giai đoạn 2010-2025. Ảnh Landsat 5 và Landsat 8 được phân loại bằng Random Forest trên Google Earth Engine, tích hợp NDVI, NDBI và MNDWI. Trạng thái lớp phủ của từng pixel tại bốn thời điểm được mã hóa theo chuỗi 2010-2015-2020-2025, qua đó theo dõi trình tự biến đổi tại cùng một vị trí thay vì chỉ so sánh từng cặp thời gian. Cách tiếp cận này xác định ba dạng biến động gồm: Duy trì, chuyển đổi và phục hồi lớp phủ, đồng thời xác định số lần chuyển đổi qua ba giai đoạn. Độ chính xác tổng thể năm 2010, 2015, 2020 và 2025 lần lượt là 87,6%, 92,5%, 91,3% và 98,1%, với hệ số Kappa lần lượt 0,83; 0,89; 0,88 và 0,97. Lớp phủ rừng duy trì 27.189,57 ha, tương đương 89,17% diện tích năm 2010; đất xây dựng và thảm thực vật duy trì lần lượt 36,92% và 10,07%. Chỉ 2,96% diện tích lớp phủ rừng chuyển sang đất xây dựng vào năm 2025, trong khi khoảng 1.553,31 ha được phục hồi. Có 32.815,75 ha pixel không chuyển đổi, chiếm 57,99% diện tích tự nhiên, các pixel chuyển đổi 1-3 lần tập trung tại hành lang trung tâm - phía Tây, Nam đảo và ven biển Bắc đảo. Nghiên cứu đề xuất ưu tiên bảo vệ khu vực lớp phủ rừng ổn định, phục hồi khu vực suy giảm và chuyển đổi, đồng thời kiểm soát phát triển xây dựng tại các vùng có số lần chuyển đổi pixel cao.

Từ khóa: Biến động lớp phủ đất, Google Earth Engine, Landsat, quản lý sử dụng đất Phú Quốc, Random Forest, viễn thám.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh đặc khu Phú Quốc phát triển mạnh theo định hướng đặc khu kinh tế - du lịch, áp lực lên tài nguyên đất ngày càng gia tăng, dẫn đến quá trình chuyển đổi giữa các loại hình lớp phủ đất [1]. Sự mở rộng không gian đô thị, phát triển hạ tầng và du lịch làm cho cấu trúc lớp phủ đất tại đặc khu Phú Quốc biến đổi theo cả không gian và thời gian. Những biến động này đặt ra yêu cầu theo dõi không chỉ xu thế thay đổi bề mặt đất đai mà còn cả vị trí và mức độ chuyển đổi của lớp phủ đất qua thời gian. Đây là cơ sở quan trọng cho quản lý sử dụng đất hiệu quả, góp phần sử dụng quỹ đất hợp lý, đúng mục đích, phù hợp với điều kiện tự nhiên và định hướng phát triển, hạn chế các biến động lớp phủ đất gây tác động tiêu cực đến môi trường và tài nguyên.

Nhiều nghiên cứu trước đây đã ứng dụng ảnh viễn thám tại đặc khu Phú Quốc để theo dõi lớp phủ ven biển, thảm cỏ biển và nuôi thủy sản [2]; phân tích bồi tụ - xói lở đường bờ [3]; đánh giá chất lượng sinh cảnh và nhiệt độ bề mặt [1]; xác định xu hướng chuyển đổi lớp phủ [4]. Ở phạm vi rộng hơn, viễn thám còn ứng dụng để nghiên cứu rừng ngập mặn, chuyển đổi đất ngập nước, hiện trạng sử dụng đất và bản đồ đất [5, 6]. Trong phân loại lớp phủ, Random Forest cho thấy khả năng phân tách các lớp phủ đất [7] và có thể kết hợp với Google Earth Engine để xử lý dữ liệu lớn [8]. Các chỉ số NDVI [9], NDBI [10] và MNDWI [11] hỗ trợ phân tách thảm thực vật, đất xây dựng và mặt nước, việc kết hợp nhiều chỉ số phù hợp với cấu trúc lớp phủ phức tạp và phân bố đan xen tại đặc khu Phú Quốc [12].

Mặc dù các nghiên cứu trước đã cung cấp nhiều thông tin về biến động tài nguyên, môi trường và lớp phủ tại đặc khu Phú Quốc, việc phân tích biến động lớp phủ đất chủ yếu dựa trên so sánh diện tích giữa các năm hoặc ma trận chuyển đổi theo từng cặp thời gian. Cách tiếp cận này có thể chưa phản ánh đầy đủ chuỗi trạng thái của cùng một pixel và các thay đổi trung gian qua nhiều thời điểm. Vì vậy, việc mã hóa trạng thái lớp phủ theo trình tự thời gian và xác định số lần chuyển đổi giúp nhận diện các vị trí duy trì, chuyển đổi hoặc trở lại trạng thái ban đầu, đồng thời phân biệt khu vực ổn định và khu vực có tần suất chuyển đổi cao [13]. Dữ liệu khảo sát thực địa được sử dụng để giải thích nguyên nhân thực tế của các dạng biến động [14]. Việc xử lý và so sánh khối lượng lớn dữ liệu pixel qua nhiều thời điểm đòi hỏi năng lực tính toán và khả năng đồng nhất dữ liệu cao. Do đó, Google Earth Engine được sử dụng để xử lý chuỗi ảnh, thực hiện phân loại và giảm thiểu sai số trong quá trình phân tích [15].

Trên cơ sở đó, nghiên cứu sử dụng ảnh Landsat kết hợp thuật toán Random Forest, các chỉ số NDVI, NDBI và MNDWI trên nền tảng Google Earth Engine để đánh giá biến động lớp phủ đất tại đặc khu Phú Quốc qua 4 mốc năm 2010, 2015, 2020 và 2025. Cách tiếp cận này cho phép xác định các khu vực rừng duy trì ổn định

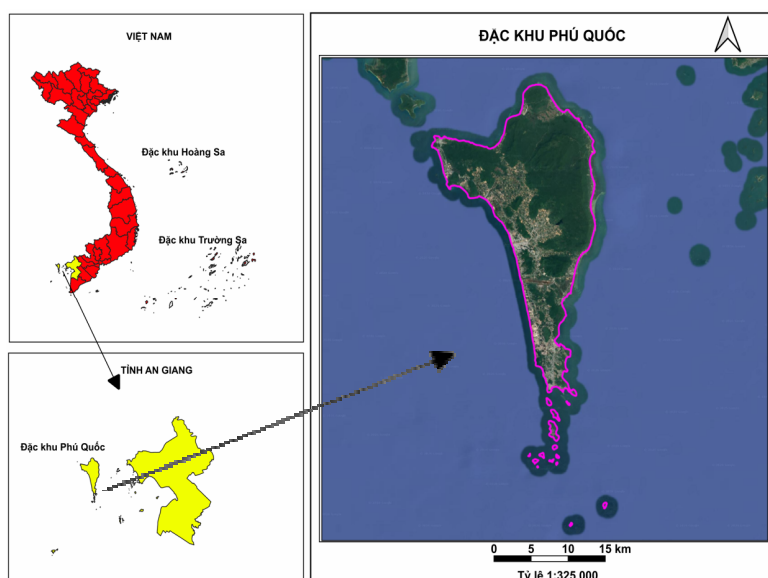
cần được ưu tiên bảo vệ, các khu vực rừng suy giảm hoặc có dấu hiệu tái lập lớp phủ cần được quản lý phù hợp và những khu vực có tần suất chuyển đổi cao cần được kiểm soát trong quá trình phát triển đô thị, xây dựng và du lịch tại đặc khu Phú Quốc.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Địa điểm nghiên cứu

Căn cứ Nghị quyết số 1654/NQ-UBTVQH15 [16], nghiên cứu sử dụng tên đơn vị hành chính hiện hành là đặc khu Phú Quốc, tỉnh An Giang (Hình 1). Đối tượng nghiên cứu gồm 4 lớp phủ: Rừng, đất xây dựng, thảm thực vật và mặt nước.

Theo Quyết định số 633/QĐ-TTg [17], diện tích rừng Phú Quốc là 43.361 ha, trong đó rừng phòng hộ 11.939 ha. Quyết định số 376/QĐ-UBND [18] ghi nhận, năm 2020 diện tích rừng là 43.009,75 ha, gồm: Rừng đặc dụng 29.129,8 ha, rừng phòng hộ 7.897,2 ha và đất lâm nghiệp khác 5.982,84 ha, với tỷ lệ che phủ 73,0%. Theo Quyết định số 513/QĐ-UBND [19], năm 2024 diện tích đất có rừng là 43.033,49 ha, gồm: Rừng đặc dụng 29.131,28 ha, rừng phòng hộ 7.882,26 ha và đất lâm nghiệp khác 6.019,95 ha, với tỷ lệ che phủ 73,01%.



Hình 1. Bản đồ khu vực nghiên cứu đặc khu Phú Quốc, tỉnh An Giang

Nguồn dữ liệu: Google Satellite (XYZ Tiles); dữ liệu nghiên cứu. Hệ tọa độ: VN-2000;

Kinh tuyến trục: 104°45'; múi chiếu: 3°. Biên tập bản đồ: Nhóm tác giả, 8/2026.

Lớp phủ rừng gồm các dạng rừng do giới hạn độ phân giải của ảnh Landsat. Đất xây dựng gồm: Khu dân cư, công trình, đường giao thông và đất trồng đã san lấp. Lớp thảm thực vật gồm: Thực vật thưa, cây bụi, vườn cây ăn trái, thuộc loại đất cây lâu năm theo Luật Đất đai năm 2024. Đối với thực vật thưa và cây bụi, nghiên cứu xác định theo trạng thái lớp phủ bề mặt từ ảnh viễn thám và không quy đổi trực tiếp thành một loại đất cụ thể theo phân loại pháp lý. Lớp mặt nước gồm: Sông, hồ, ao tự nhiên và các mặt nước nhân tạo như hồ nuôi thủy sản, hồ trong khu du lịch.

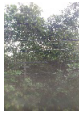
2.2. Phương pháp thực hiện

2.2.1. Phương pháp thu thập, tiền xử lý và trích xuất dữ liệu viễn thám

Dữ liệu Landsat Surface Reflectance Collection 2, Tier 1, Level 2 được thu thập và xử lý trên Google Earth Engine. Ảnh mùa khô được

lựa chọn dựa trên CLOUD_COVER và tỷ lệ pixel không mây, gồm: Landsat 5 TM ngày 14/01/2009, độ che phủ mây 0,00% và 3 ảnh Landsat 8 OLI/TIRS ngày 15/01/2015, 20/01/2020 và 28/12/2025, với độ che phủ mây lần lượt 1,10%, 6,38% và 4,19%. Do không có ảnh năm 2010 đáp ứng yêu cầu về chất lượng và độ phủ, ảnh Landsat 5 TM ngày 14/01/2009 được dùng đại diện cho mốc năm 2010. Khoảng lệch gần một năm có thể gây sai số tại các pixel thay đổi trạng thái trong giai đoạn 2009-2010, nếu có, các thay đổi này sẽ được ghi nhận trong biến động năm 2010-2015. Tuy nhiên, ảnh năm 2009 có độ che phủ mây 0% giúp hạn chế ảnh hưởng của mây, bóng mây và thiếu dữ liệu. Ngoài ra, du lịch tại đây vào năm 2009 chưa phát triển tương xứng với tiềm năng và cơ sở hạ tầng còn hạn chế nên áp lực chuyển đổi lớp phủ được xem là thấp hơn các giai đoạn sau [20].

Bảng 1. Khoá giải đoán ảnh

Lớp phủ	Ảnh tổ hợp màu	Ảnh Google Earth	Ảnh thực địa	Chỉ số hỗ trợ	Vị trí/quan hệ không gian	Màu sắc - cấu trúc - hình dạng - kích thước
Rừng				$NDVI > 0,5$; $MNDWI \leq 0,15$; $NDBI \leq 0$	Vùng đồi núi, khu bảo tồn ít bị tác động; các mảng lớn, liên tục	Xanh đậm; cấu trúc thô, dày; dạng mảng tự nhiên rộng
Đất xây dựng				$NDVI \leq 0,2$; $MNDWI \leq 0,15$; $NDBI > 0$	Đô thị, khu dân cư, khu du lịch, phân bố thành cụm, theo mạng lưới giao thông, ven biển	Màu tím - xám; cấu trúc thô, không đồng nhất; hình khối góc cạnh hoặc dạng dải theo đường giao thông; kích thước nhỏ - tập trung thành cụm lớn
Thảm thực vật				$NDVI > 0,2$ đến $\leq 0,5$; $MNDWI \leq 0,15$; $NDBI \leq 0$	Vùng canh tác, cây bụi, chuyển tiếp ven rừng, xen kẽ khu dân cư, đường giao thông, đất xây dựng	Xanh nhạt; cấu trúc mịn; mảng không đều; kích thước nhỏ đến trung bình
Mặt nước				$NDVI \leq 0,2$; $MNDWI > 0,15$; $NDBI \leq 0$	Hồ, kênh rạch, ao nuôi, mảng lớn, tuyến liên tục, có độ uốn cong	Xanh đen, xanh lam; cấu trúc mịn, đồng nhất; dạng dải, mảng; kích thước trung bình đến lớn

Các pixel bị ảnh hưởng bởi mây và bão hòa bức xạ được loại bỏ bằng QA_PIXEL và QA_RADSAT [21]. Giá trị DN được chuyển sang phản xạ bề mặt theo công thức ($SR = DN \times 0,0000275 - 0,2$), trong đó 0,0000275 và -0,2 lần lượt là hệ số nhân và hệ số cộng chuẩn của Landsat Collection 2 Level 2 đối với các kênh Surface Reflectance [22]. Ảnh được ghép, cắt theo ranh giới đặc khu Phú Quốc và tổ hợp với các chỉ số phổ thành ảnh đa băng phục vụ phân tích. Các chỉ số được tính như sau: Chỉ số NDVI = $(NIR - RED)/(NIR + RED)$ [9]; chỉ số NDBI = $(SWIR - NIR) / (SWIR + NIR)$ [10]; chỉ số MNDWI = $(Green - SWIR) / (Green + SWIR)$ [11].

2.2.2. Phương pháp xây dựng mẫu và phân loại Random Forest

Khảo sát thực địa tháng 01/2026 (Bảng 1) được sử dụng để xác nhận đặc điểm lớp phủ hiện tại, thống nhất hệ thống phân loại và hỗ trợ giải đoán [23], không dùng để gắn nhãn trực tiếp cho các năm lịch sử. Năm 2010, 2015 và 2020 được giải đoán hồi cứu độc lập và kiểm chứng chéo với ảnh Google Earth lịch sử, trường hợp ảnh không phù hợp về thời gian, độ phủ hoặc độ phân giải, nhãn được xác định từ ảnh Landsat của năm nghiên cứu, đặc điểm hình thái và ảnh lân cận về thời gian. Giải đoán sử dụng tổ hợp màu 654 kết hợp NDVI, NDBI và MNDWI. Mẫu được chọn ngẫu nhiên tại các khu vực có lớp phủ tương đối đồng nhất, các điểm gần ranh giới lớp, vùng hỗn hợp, bị ảnh hưởng bởi mây, bóng mây hoặc không đủ cơ sở nhận dạng được loại bỏ.

Random Forest (RF) được sử dụng để phân loại lớp phủ trên Google Earth Engine với `ee.Classifier.smileRandomForest()` gồm `numberOfTrees=600`, `bagFraction=0,7`, `minLeafPopulation=2` và `seed=42`; `variablesPerSplit` và `maxNodes` sử dụng giá trị mặc định [8, 24]. Mô hình sử dụng 7 biến Green, Red, NIR, SWIR1, NDVI, MNDWI và NDBI, không áp dụng ngưỡng cố định cho từng chỉ số. Số điểm mẫu năm 2010, 2015, 2020 và 2025 lần lượt là 306, 287, 312 và 240. Trong đó, năm 2025 gồm 84 điểm rừng, 110 điểm đất xây dựng, 24 điểm thảm thực vật và 22 điểm mặt nước. Số lượng mẫu khác nhau nhằm bảo đảm tính đại diện và phân bố trong toàn khu vực nghiên cứu, thay vì quy định bằng nhau

giữa các lớp. Mẫu từng lớp được chia ngẫu nhiên 70% cho huấn luyện và 30% cho kiểm định độc lập với `seed=42`, bảo đảm các lớp hiện diện trong cả hai tập. Ảnh hưởng của chênh lệch số mẫu được đánh giá bằng Producer's Accuracy (PA) và User's Accuracy (UA) từ ma trận sai số của tập kiểm định.

2.2.3. Phương pháp đánh giá độ chính xác

Độ tin cậy của kết quả phân loại được đánh giá bằng ma trận sai số (confusion matrix), đối chiếu kết quả phân loại với dữ liệu thực địa. Độ chính xác tổng thể (OA), sai số bỏ sót (PA), sai số gộp nhầm (UA) và hệ số Kappa (K) được tính theo Congalton và Green (1999) [25], trong đó OA biểu thị tỷ lệ số điểm được phân loại đúng trên tổng số điểm kiểm tra.

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^r X_{ii}}{N} \times 100$$

Sai số gộp nhầm (User's accuracy - UA): Phản ánh độ tin cậy của một lớp trong bản đồ phân loại.

$$U_a = \frac{x_{ii}}{x_{i+}} \times 100$$

Sai số bỏ sót (Producer's accuracy - PA): Thể hiện khả năng của mô hình phân loại đúng một lớp cụ thể.

$$U_a = \frac{x_{ii}}{x_{i+}} \times 100$$

Hệ số Kappa (K) được áp dụng nhằm đánh giá mức độ tương đồng giữa kết quả phân loại và dữ liệu thực tế, đã loại trừ ảnh hưởng của sai số ngẫu nhiên.

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} \times X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{i+} \times X_{+i})}$$

Trong đó: X_{ii} là số điểm được phân loại đúng ở lớp i ; X_{i+} là tổng số điểm thực tế ở lớp i (tổng theo hàng); X_{+i} là tổng số điểm được phân loại vào lớp i (tổng theo cột); N là tổng số điểm kiểm tra; r là số lớp phân loại. Mức độ phân biệt theo hệ số K được đánh giá như sau: $K < 0$ là thấp; $K = 0,01 - 0,20$ là nhẹ; $K = 0,21 - 0,40$ là vừa; $K = 0,41 - 0,60$ là tương đối chặt; $K = 0,61 - 0,80$ là chặt và $K = 0,81 - 1$ là rất chặt [28].

2.2.4. Phương pháp phân tích biến động lớp phủ chuỗi thời gian

Để xác định quá trình chuyển đổi lớp phủ tại cùng một vị trí pixel qua nhiều thời điểm, nghiên cứu sử dụng 4 bản đồ lớp phủ đã phân loại tương ứng các năm 2010, 2015, 2020 và 2025. Các lớp phủ được mã hóa thống nhất và được thể hiện ở bảng 2.

Bảng 2. Quy ước mã hóa các lớp phủ

Mã lớp phủ	Loại lớp phủ
1	Rừng
2	Đất xây dựng
3	Thảm thực vật
4	Mặt nước

Tại mỗi pixel, mã lớp phủ của 4 năm được kết hợp theo nguyên tắc vị trí thập phân: Năm 2010 ở hàng nghìn, năm 2015 ở hàng trăm, năm 2020 ở hàng chục và năm 2025 ở hàng đơn vị [26]. Với công thức:

$$T(x)=[L2010(x)]\times 10^3+[L2015(x)]\times 10^2+[L2020(x)]\times 10+[L2025(x)]$$

Trong đó: T(x) là mã biến động lớp phủ tại pixel x; L2010(x), L2015(x), L2020(x), L2025(x) lần lượt là mã lớp phủ của pixel x tại bốn thời điểm nghiên cứu. Phép tính được tính trong Raster Calculator của QGIS. Kết quả là ảnh raster có các giá trị pixel được quy ước, mỗi giá trị pixel đều biểu thị trạng thái lớp phủ theo thứ tự 2010-2015-2020-2025. Có 3 nhóm biến động theo thứ tự biến động của pixel: Duy trì (giá trị pixel không thay đổi), chuyển đổi (giá trị pixel chuyển đổi), phục hồi (giá trị pixel trở lại giá trị ban đầu) [27]. Năm 2010 là thời gian cơ sở để đánh giá biến động giai đoạn năm 2010-2025, do là trạng thái lớp phủ ban đầu của chuỗi nghiên cứu.

2.2.5. Phương pháp xác định số lần chuyển đổi lớp phủ

Mỗi pixel nhận lớp phủ được so sánh theo 3 cặp thời gian 2010-2015, 2015-2020 và 2020-

2025. Nếu nhận lớp phủ thay đổi giữa hai thời điểm, pixel được gán giá trị 1; nếu không thay đổi, gán giá trị 0. Tổng ba giá trị nhị phân xác định số lần chuyển đổi của pixel, dao động từ 0-3, trong đó 0 biểu thị lớp phủ ổn định liên tục và các giá trị 1, 2, 3 tương ứng với số lần thay đổi trong ba cặp thời gian [13]. Phép tính được tính bằng Raster Calculator của QGIS, từ đó xác định các khu vực ổn định và các khu vực có mức độ chuyển đổi khác nhau.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả phân loại và biến động lớp phủ

Tổng số điểm mẫu năm 2010, 2015, 2020 và 2025 lần lượt là 306, 287, 312 và 240 điểm, được phân bố trong toàn khu vực nghiên cứu nhằm bảo đảm tính đại diện không gian. Kết quả phân loại Random Forest (Hình 2a, 2b, 2c, 2d) có độ chính xác tổng thể tương ứng 87,6%, 92,5%, 91,3% và 98,1%, với hệ số Kappa 0,83; 0,89; 0,88 và 0,97. Kết quả này tương đồng với kết quả nghiên cứu của Kasahun và Legesse (2024) [28], trong đó Random Forest đạt độ chính xác tổng thể 98,5-99,5% và Kappa 0,969-0,99 khi phân loại rừng và đất trống. Năm 2025, bộ mẫu tham chiếu gồm 84 điểm rừng, 110 điểm đất xây dựng, 24 điểm thảm thực vật và 22 điểm mặt nước. Sau khi phân chia độc lập theo từng lớp với tỷ lệ 70% huấn luyện và 30% kiểm định, tập kiểm định gồm 26, 34, 10 và 6 điểm tương ứng. Vì vậy, 10 điểm thảm thực vật và 6 điểm mặt nước chỉ là phần mẫu kiểm định, không phải toàn bộ số mẫu đại diện của hai lớp. Kết quả ở bảng 3 cho thấy, PA dao động 90-100% và UA 97,1-100%, thể hiện sự chênh lệch số mẫu chưa làm suy giảm rõ rệt độ chính xác phân loại theo lớp trong năm 2025. Độ chính xác năm 2025 cao hơn các thời điểm khác chủ yếu do ảnh thu nhận gần đợt khảo sát thực địa tháng 01/2026, trong khi mẫu các năm 2010, 2015 và 2020 được xây dựng bằng giải đoán hồi cứu từ ảnh lịch sử.

Bảng 3. Ma trận sai số các năm

Năm	Thực tế/giải đoán	Rừng	ĐXD	TTV	Mặt nước	Tổng cộng	PA (%)	UA (%)	Độ chính xác toàn cục (%)
2010	Rừng	16	0	1	0	17	94,1	84,2	87,6
	ĐXD	0	32	0	0	32	100	80,0	
	TTV	3	7	14	0	24	58,3	93,3	
	Mặt nước	0	1	0	23	24	95,8	100	

KHOA HỌC & CÔNG NGHỆ

	Tổng cộng	19	40	15	23	97	-		
2015	Rừng	19	0	0	0	19	100	100	92,5
	ĐXD	0	29	0	0	29	100	82,9	
	TTV	0	6	11	0	17	64,7	100	
	Mặt nước	0	0	0	15	15	100	100	
	Tổng cộng	19	35	11	15	80	-		
2020	Rừng	17	0	6	0	23	73,9	89,5	91,3
	ĐXD	0	36	0	0	36	100	100	
	TTV	2	0	15	0	17	88,2	71,4	
	Mặt nước	0	0	0	16	16	100	100	
	Tổng cộng	19	36	21	16	92	-		
2025	Rừng	26	0	0	0	26	100	100	98,1
	ĐXD	0	34	0	0	34	100	97,1	
	TTV	0	1	9	0	10	90,0	100	
	Mặt nước	0	0	0	6	6	100	100	
	Tổng cộng	26	35	9	6	76	-		

Ghi chú: ĐXD: Đất xây dựng; TTV: Thảm thực vật.

Bảng 4 cho thấy diện tích rừng tăng từ 30.492,44 ha năm 2010 lên 37.011,34 ha năm 2025. Sự khác biệt so với số liệu kiểm kê rừng liên quan đến khác biệt về khái niệm và phương pháp xác định, do nghiên cứu phân loại lớp phủ từ ảnh Landsat 30 m.

Bảng 4. Diện tích các lớp phủ đất đặc khu Phú Quốc, tỉnh An Giang qua các năm khảo sát

Lớp phủ	Năm 2010		Năm 2015		Năm 2020		Năm 2025	
	Diện tích (ha)	Tỷ lệ (%)	Diện tích (ha)	Tỷ lệ (%)	Diện tích (ha)	Tỷ lệ (%)	Diện tích (ha)	Tỷ lệ (%)
Rừng	30.492,44	53,70	34.114,62	60,08	38.891,49	68,49	37.011,34	65,18
Đất xây dựng	9.597,08	16,90	8.516,84	15,00	9.773,61	17,21	11.503,62	20,26
Thảm thực vật	16.019,99	28,21	13.303,62	23,43	7.353,46	12,95	7.576,24	13,34
Mặt nước	676,65	1,19	851,08	1,50	767,59	1,35	694,97	1,22
Tổng diện tích	56.786,16	100	56.786,16	100	56.786,16	100	56.786,16	100

Trong phân tích biến động (Bảng 5), 44,16% thảm thực vật năm 2010 được phân loại chuyển sang rừng. Tuy nhiên, PA của lớp này chỉ đạt 58,3%, với 14/24 điểm phân loại đúng, 3 điểm nhầm sang rừng và 7 điểm nhầm sang đất xây dựng. Sự nhầm lẫn có thể liên quan đến phổ tương đồng giữa cây bụi, vườn cây với

rừng thưa và các bề mặt chuyển tiếp, cùng hạn chế của ảnh Landsat 30 m đối với các đối tượng xen kẽ. Vì vậy, mức tăng diện tích rừng còn có thể chịu ảnh hưởng của khác biệt cảm biến, thời điểm thu nhận, trạng thái sinh trưởng, độ ẩm thực vật, chất lượng ảnh và sai số phân loại giữa các năm.

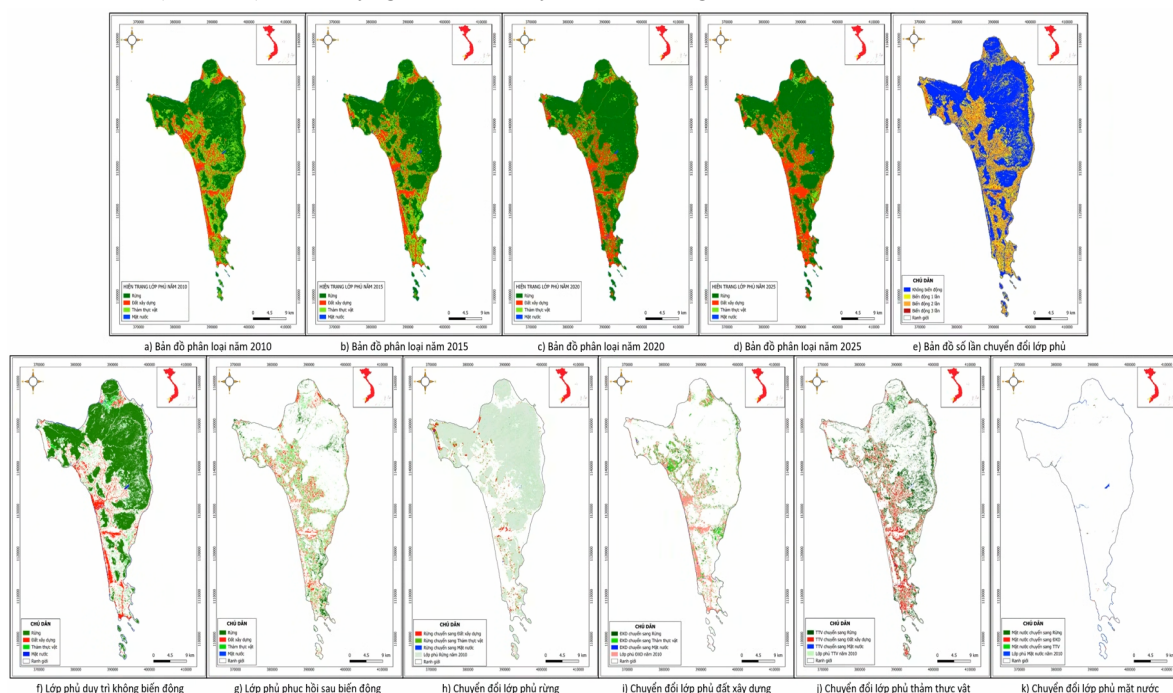
Bảng 5. Tổng hợp diện tích biến động các lớp phủ

Loại hình	Lớp phủ		Diện tích (ha)	Cơ cấu so với năm 2010 (%)
Duy trì	Rừng		27.189,57	89,17
	Đất xây dựng		3.543,27	36,92
	Thảm thực vật		1.612,78	10,07
	Mặt nước		470,13	69,48
Chuyển đổi	Rừng	Đất xây dựng	903,98	2,96
		Thảm thực vật	757,77	2,49
		Mặt nước	13,13	0,04
	Đất xây dựng	Rừng	998,97	10,41
		Thảm thực vật	2.649,85	27,61
		Mặt nước	91,62	0,95
	Thảm thực vật	Rừng	7.073,79	44,16
		Đất xây dựng	4.683,79	29,24
		Mặt nước	79,3	0,50
	Mặt nước	Rừng	21,91	3,24
		Đất xây dựng	81,82	12,09
		Thảm thực vật	51,8	7,66

Phục hồi sau biến động	Rừng	1.553,31	5,09
	Đất xây dựng	2.282,91	23,79
	Thảm thực vật	2.500,85	15,61
	Mặt nước	25,76	3,81

Bảng 5 cho thấy, rừng có diện tích duy trì lớn nhất, 27.189,57 ha (89,17% diện tích năm 2010), tiếp đến là mặt nước 470,13 ha (69,48%), đất xây dựng 3.543,27 ha (36,92%) và thảm thực vật 1.612,78 ha (10,07%). Từ diện tích rừng năm 2010, có 903,98 ha (2,96%) chuyển sang đất xây dựng, 757,77 ha (2,49%) sang thảm thực vật và 13,13 ha (0,04%) sang mặt nước. Đất xây dựng chuyển sang rừng và thảm thực vật lần lượt 10,41% và 27,61%; thảm thực vật chuyển sang rừng 44,16% và sang đất xây dựng 29,24%. Diện tích thảm thực vật giảm từ 16.019,99 ha xuống 7.576,24 ha (Bảng 4), tương đương 8.443,75 ha (52,71%). Sự suy giảm và chuyển

đổi của thảm thực vật sang đất xây dựng gắn với việc sử dụng đất cho nhà ở, công trình và dự án du lịch, tương tự kết quả nghiên cứu của Phương và Thiên (2025) [29] tại khu vực đô thị hóa nhanh ở thành phố Đà Nẵng. Ngược lại, các dự án xây dựng kéo dài có thể hình thành thảm thực vật như cây bụi. Đối với mặt nước, 12,09% diện tích năm 2010 chuyển sang đất xây dựng. Diện tích phục hồi của rừng, đất xây dựng, thảm thực vật và mặt nước lần lượt là 1.553,31 ha (5,09%), 2.282,91 ha (23,79%), 2.500,85 ha (15,61%) và 25,76 ha (3,81%), phản ánh sự phục hồi và chuyển đổi qua lại giữa các lớp phủ trong giai đoạn nghiên cứu.



Hình 2. Các bản đồ biến động lớp phủ

3.2. Xác định khu vực chuyển đổi lớp phủ

Bản đồ số lần biến động (Hình 2e) thể hiện số lần mỗi pixel thay đổi lớp phủ trong ba giai đoạn 2010-2015, 2015-2020 và 2020-2025. Bảng 5 và 6 cho thấy, khu vực không chuyển

đổi chiếm 32.815,75 ha (57,99%), gồm 27.189,57 ha rừng, 3.543,27 ha đất xây dựng, 1.612,78 ha thảm thực vật và 470,13 ha mặt nước, chủ yếu phân bố trong phạm vi rừng, các trục giao thông đã hình thành, ao hồ và vùng

thảm thực vật ổn định. Diện tích rừng đặc dụng và rừng phòng hộ của đặc khu Phú Quốc năm 2020 lần lượt là 29.129,8 ha và 7.897,2 ha [18], đến năm 2024 là 29.131,28 ha và 7.882,26 ha [19]. Đối chiếu cho thấy, lớp phủ rừng ổn định vẫn chiếm tỷ trọng lớn nhưng các nguồn số liệu khác nhau về khái niệm và phương pháp xác định nên không hoàn toàn tương đương.

Khu vực biến động một lần chiếm 12.649,54 ha (22,35%), chủ yếu tại khu dân cư và vùng ven khu dân sinh. Khu vực biến động từ hai lần trở

lên chiếm 11.120,86 ha (19,65%), gồm 8.510,60 ha biến động hai lần và 2.610,26 ha biến động ba lần, tập trung tại hành lang trung tâm-phía Tây, Nam đảo và một số dải ven biển phía Bắc đảo, nơi có nhiều hoạt động phát triển đô thị, hạ tầng, du lịch và nghỉ dưỡng. Kết quả này phù hợp với kết quả nghiên cứu của Moukomla và Marome (2025) [30]; Scala và cs (2024) [31], cho rằng vùng ven biển là không gian động, nơi lớp phủ đất thường chịu tác động từ phát triển đô thị và hoạt động kinh tế.

Bảng 6. Diện tích số lần chuyển đổi pixel

Lớp	Diện tích (ha)	Cơ cấu (%)
Không biến động	32.815,75	57,99
Biến động 1 lần	12.649,54	22,35
Biến động 2 lần	8.510,60	15,04
Biến động 3 lần	2.610,26	4,61
Tổng cộng	56.586,15	100

Sự phân bố biến động tương đồng với định hướng phát triển của đặc khu Phú Quốc, với các khu đô thị du lịch và nghỉ dưỡng sinh thái tập trung ven biển, trong khi lõi rừng nội địa Bắc đảo và phía Đông ổn định hơn. Tuy nhiên, ảnh viễn thám chưa cho phép xác định riêng tác động của từng dự án. Trong quản lý đất đai, biến động lớp phủ phản ánh quá trình chuyển mục đích sử dụng đất thực tế từ đất lâm nghiệp sang đất phi nông nghiệp, đồng thời hỗ trợ giám sát theo thời gian thực và phát hiện vi phạm quy hoạch, lấn chiếm đất rừng trước khi có dữ liệu kiểm kê đất đai truyền thống.

3.3. Giải pháp

Biến động lớp phủ giai đoạn 2010-2025 tập trung tại các khu vực chịu tác động của đô thị hóa, hạ tầng và du lịch: Giai đoạn 2010-2015 gắn với phát triển hạ tầng giao thông và du lịch; 2015-2020 biến động mạnh do đầu tư hạ tầng và du lịch nghỉ dưỡng; giai đoạn 2020-2025 tiếp tục chịu tác động của đô thị hóa và phát triển du lịch. Vì vậy, giải pháp tập trung vào bảo vệ rừng ổn định, phục hồi rừng suy giảm và kiểm soát các vùng chuyển đổi cao.

Rừng ổn định đạt 27.189,57 ha (89,17% diện tích rừng năm 2010), tập trung tại Bắc đảo, Đông Bắc và phía Đông đảo, cần duy trì tính liên tục

của lớp phủ rừng, kiểm soát xây dựng tại vùng tiếp giáp và giám sát bằng ảnh viễn thám. Đối với 757,77 ha rừng chuyển thành thảm thực vật và khoảng 1.553,31 ha rừng phục hồi, cần ưu tiên khoanh nuôi tái sinh tự nhiên, trồng bổ sung cây bản địa và tăng kết nối giữa các mảng rừng. Các khu vực chuyển đổi từ hai lần trở lên chiếm 11.120,86 ha (19,65%), tập trung tại hành lang trung tâm-phía Tây, Nam đảo và ven biển phía Bắc đảo. Với 29,24% diện tích thảm thực vật năm 2010 được phân loại chuyển thành đất xây dựng vào năm 2025, cần kiểm soát mở rộng xây dựng, duy trì không gian xanh, bề mặt thấm nước và vùng đệm với rừng, ao hồ. Đối với 12,09% diện tích mặt nước năm 2010 được nhận diện là đất xây dựng vào năm 2025, cần kiểm chứng bằng ảnh độ phân giải cao và thực địa trước khi áp dụng biện pháp quản lý.

Do bản đồ biến động được chồng xếp từ 4 bản đồ độc lập, sai số phân loại có thể lan truyền tại ranh giới lớp và các đối tượng có đặc trưng phổ gần nhau, độ phân giải 30 m của Landsat cũng hạn chế nhận diện công trình nhỏ, dải giao thông hẹp và khu vực rìa rừng. Vì vậy, cần kết hợp Sentinel-2 hoặc ảnh độ phân giải cao với chuỗi ảnh hằng năm để xác định rõ hơn thời điểm, tốc độ và quỹ đạo chuyển đổi lớp phủ.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu sử dụng ảnh Landsat và Random Forest để đánh giá biến động bốn lớp phủ tại đặc khu Phú Quốc giai đoạn 2010-2025, với độ chính xác tổng thể 87,63-98,10% và hệ số Kappa 0,83-0,97. Diện tích lớp phủ rừng tăng từ 30.492,44 ha lên 37.011,34 ha, tuy nhiên kết quả phân loại Landsat không hoàn toàn tương đồng với số liệu kiểm kê rừng do khác biệt về khái niệm và phương pháp xác định. Rừng là lớp phủ ổn định nhất với 27.189,57 ha được duy trì (89,17%), trong khi thảm thực vật giảm 52,71%; trong đó 44,16% chuyển sang rừng và 29,24% chuyển sang đất xây dựng. Phân tích chuỗi thời gian cho thấy, 57,99% diện tích không chuyển đổi, 22,35% chuyển đổi một lần và 19,65% chuyển đổi từ hai lần trở lên. Các khu vực biến động cao tập trung tại hành lang trung tâm - phía Tây, Nam đảo và ven biển Bắc đảo, trong khi lõi rừng phía Bắc đảo và phía Đông ổn định hơn.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Kiên Giang, mã số: A2026-TNMT-09.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyen, C. T., Downes, N. K., Sitthi, A. & Losiri, C. (2025). Tourism-induced land use transformations, urbanisation, and habitat degradation in the Phu Quoc Special Economic Zone. *Urban Science*, 9(1), 11.
- [2]. Nguyễn Thị Hồng Điệp, Phan Kiều Diễm, Võ Quang Minh và Huỳnh Thị Thu Hương (2013). Theo dõi hiện trạng sinh thái ven bờ và nuôi thủy sản biển ứng dụng kỹ thuật viễn thám tại Bắc đảo Phú Quốc, tỉnh Kiên Giang. *Tạp chí Khoa học, Đại học Cần Thơ*, 25, 119-126.
- [3]. Nguyễn Đức Vệ, Nguyễn Thị Thu Hà và Bùi Văn Vượng (2023). Ứng dụng tư liệu ảnh Landsat đa thời gian phân tích diễn biến bờ biển đảo Phú Quốc, tỉnh Kiên Giang. *Tuyển tập báo cáo Hội thảo Khoa học và Công nghệ: Ứng dụng công nghệ mới trong thu nhận, xử lý, cập nhật và chia sẻ dữ liệu địa không gian*. Nxb Tài nguyên, Môi trường và Bản đồ Việt Nam.
- [4]. Bui, B. T., Kuznetsov, A. N. & Vu, T. P. (2024). Monitoring land use/land cover change using remote sensing and GIS techniques in Phu

Quoc island, Kien Giang province, Vietnam. *Nexo Revista Científica*, 37(01), 83-98.

- [5]. Nguyen, H., Nguyen, T. H. D., Pham, P. V., Duong, C. H., Nguyen, T. N. & Huynh, T. T. H. (2024). Assessing the impact of land-use/land-cover change on provisioning ecosystem services in the Long Xuyen Quadrangle from 2000 to 2021. *Dong Thap University Journal of Science*, 13(5), 95-105. <https://doi.org/10.52714/dthu.13.5.2024.1293>.
- [6]. Bùi Mai Trinh, Trần Lê Dân, Võ Quang Minh và Phạm Cẩm Đăng (2025). Bước đầu nghiên cứu thành lập bản đồ đất từ mối quan hệ giữa hiện trạng sử dụng đất và các loại đất tại huyện Vĩnh Thuận, tỉnh Kiên Giang. *Tạp chí Khoa học, Đại học Cần Thơ*, 61, 24-30. <https://doi.org/10.22144/ctujos.2025.054>.
- [7]. Belgiu, M. & Drăguț, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114, 24-31.
- [8]. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D. & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27.
- [9]. Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A. & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite Symposium*, 309-317.
- [10]. Zha, Y., Gao, J. & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 583-594.
- [11]. Xu, H. (2006). Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025-3033.
- [12]. Agarwal, V., Singh, B. V. R., Marsh, S., Qin, Z., Sen, A. & Kulhari, K. (2025). Integrated remote sensing for enhanced drought assessment: A multi-index approach in Rajasthan, India. *Earth and Space Science*, 12(2), e2024EA003639.

- [13]. de Mûelenaere, S., Frankl, A., Haile, M., Poesen, J., Deckers, J., Munro, R. N., Veraverbeke, S. & Nyssen, J. (2014). Historical landscape photographs for calibration of Landsat land use/cover in the Northern Ethiopian highlands. *Land Degradation & Development*, 25(4), 319-335.
- [14]. Wang, H., Wu, Y., Sun, Y., Li, H., Li, Y. & Xu, H. (2025). A new method for evaluating the coordinated relationship between vegetation greenness and urbanization. *Scientific Reports*, 15, 6003.
- [15]. Sharnagat, N., Nema, A. K., Mishra, P. K., Patidar, N., Kumar, R., Suryawanshi, A. & Radha, L. (2025). State-of-the-art status of Google Earth Engine (GEE) application in land and water resource management: A scientometric analysis. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 9, 16.
- [16]. Ủy ban Thường vụ Quốc hội (2025). *Nghị quyết số 1654/NQ-UBTVQH15 ngày 16/06/2025 về việc sắp xếp các đơn vị hành chính cấp xã của tỉnh An Giang năm 2025*.
- [17]. Thủ tướng Chính phủ (2010). *Quyết định số 633/QĐ-TTg ngày 11/05/2010 về việc phê duyệt điều chỉnh quy hoạch chung xây dựng đảo Phú Quốc, tỉnh Kiên Giang đến năm 2030*.
- [18]. UBND tỉnh Kiên Giang (2021). *Quyết định số 376/QĐ-UBND ngày 08/02/2021 của UBND tỉnh Kiên Giang về việc công bố hiện trạng rừng năm 2020*.
- [19]. UBND tỉnh Kiên Giang (2025). *Quyết định số 513/QĐ-UBND ngày 27/02/2025 của UBND tỉnh Kiên Giang về việc công bố hiện trạng rừng tỉnh Kiên Giang năm 2024*.
- [20]. Đinh Thị Thanh Mai và Nguyễn Thị Bé Ba (2013). Khai thác tiềm năng phát triển các loại hình du lịch ở huyện đảo Phú Quốc. *Tạp chí Khoa học, Trường Đại học Sư phạm Thành phố Hồ Chí Minh*, 44, 34.
- [21]. Noureen, M., Mahmood, K. & Ahmad, S. R. (2026). Space-driven environmental impact assessment of openly dumped municipal solid waste using cost-effective geospatial approaches. *Environmental Monitoring and Assessment*, 198, Article 451.
- [22]. Nimbalkar, M. S., Shinde, P. S. & Chaure, R. S. (2025). Remote sensing-based assessment of surface water bodies in Satara district, Maharashtra. *In Sight Bulletin: A Multidisciplinary Interlink International Research Journal*, 2(6), 79-85.
- [23]. Lâm Văn Hạo và Lê Thị Pha Mi (2020). Ứng dụng viễn thám và GIS theo dõi quá trình đô thị hóa tại thành phố Hồ Chí Minh giai đoạn 1989-2019. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 720, 49-60.
- [24]. Pande, C. B., Srivastava, A., Moharir, K. N., Radwan, N., Sidek, L. M., Alshehri, F., Pal, S. C., Tolche, A. D. & Zhran, M. (2024). Characterizing land use/land cover change dynamics by an enhanced random forest machine learning model: A Google Earth Engine implementation. *Environmental Sciences Europe*, 36, 84.
- [25]. Congalton, R. G., Green, K. (1999). Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices. Boca Raton, FL: Lewis Publishers. 137 p.
- [26]. Du, G., Yao, L. & Hou, D. (2022). The spatio-temporal changes of cropping patterns in the black soil area of China: Lessons from Wangkui County. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 981721.
- [27]. Zhang, M., He, T., Li, G., Xiao, W., Song, H., Lu, D. & Wu, C. (2021). Continuous detection of surface-mining footprint in copper mine using Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 13(21), 4273.
- [28]. Kasahun, M. & Legesse, A. (2024). Machine learning for urban land use/cover mapping: Comparison of artificial neural network, random forest and support vector machine, a case study of Dilla town. *Heliyon*, 20(10), e39146.
- [29]. Phuong, V. T. & Thien, B. B. (2025). Monitoring vegetation cover changes in a rapidly urbanizing region: A case study in Da Nang city, Vietnam. *Revue Internationale de Géomatique*, 34(1), 151-168.
- [30]. Moukomla, S. & Marome, W. (2025). Tourism-induced urbanization in Phuket Island, Thailand (1987-2024): A spatiotemporal analysis. *Urban Science*, 9(3), 55.

[31]. Scala, P., Toimil, A., Álvarez-Cuesta, M., Manno, G., *et al.* (2024). Mapping decadal land cover dynamics in Sicily's coastal regions. *Scientific Reports*, 14, Article 22690.

USING LANDSAT IMAGERY FOR ANALYZING LAND COVER CHANGES DURING THE 2010-2025 PERIOD IN THE PHU QUOC SPECIAL ZONE, AN GIANG PROVINCE AND PROPOSING SOLUTIONS FOR EFFICIENT LAND USE

**Nguyen Truong Anh Kiet¹, Dang Thi Hong Ngoc¹, Nguyen Kieu Diem²,
Phan Hoang Vu², Ngo Thi Hieu¹, Bui Xuan Khanh¹**

¹*College of Resources - Environment, Kien Giang University*

²*College of Environment and Natural Resources, Can Tho University*

Abstract

Phu Quoc has experienced rapid urbanization and tourism development, increasing pressure on land-cover conversion. This study assessed land-cover changes in the Phu Quoc Special Zone during 2010-2025. Landsat 5 and Landsat 8 imagery was classified using Random Forest on Google Earth Engine, integrating NDVI, NDBI and MNDWI. The land-cover state of each pixel at four time points was encoded as a 2010-2015-2020-2025 sequence, thereby tracking the sequence of changes at the same location rather than merely comparing individual pairs of time points. This approach identified three types of change-persistence, conversion and land-cover recovery-and determined the number of transitions across the three periods. Overall accuracy for 2010, 2015, 2020 and 2025 was 87.6%, 92.5%, 91.3% and 98.1%, respectively, with corresponding Kappa coefficients of 0.83, 0.89, 0.88 and 0.97. Forest cover remained unchanged over 27,189.57 ha, equivalent to 89.17% of its 2010 area; the corresponding persistence rates for built-up land and vegetation were 36.92% and 10.07% , respectively. Only 2.96% of the forest-cover area was converted to built-up land by 2025, while approximately 1,553.31 ha were restored. Pixels with no transitions covered 32,815.75 ha, accounting for 57.99% of the total natural area, pixels undergoing 1-3 transitions were concentrated along the central-western corridor, the southern part of the island and the northern coastal areas. The study proposes prioritizing the protection of stable forest-cover areas, restoring degraded and converted areas and controlling built-up development in areas with high numbers of pixel-level transitions.

Keywords: *Land-cover change, Google Earth Engine, Landsat, land-use management in Phu Quoc, Random Forest, remote sensing.*

Ngày nhận bài: 20/7/2026

Ngày chuyển phản biện: 31/7/2026

Ngày thông qua phản biện: 14/8/2026

Ngày duyệt đăng: 03/9/2026