

С. ЧАКРАБОРТИ*, Р.Ч. ПРАСАД**

*Центральный университет Карнатаки,

585367, Карнатака, район Калабураги, пр-д Аланд, Индия, satyachakraborty2018@gmail.com

**Международный институт информационных технологий Хайдарабада, 500032, штат Телангана, Хайдарабад, р-н Гачибоули, пр-д профессора К.Р. Рао, Индия, rcprasad@iiit.ac.in

**АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ
И ТРАНСФОРМАЦИЙ ЗЕМНОГО ПОКРОВА НА ОСТРОВАХ ГРУППЫ БАРАТАНГ
АНДАМАНСКО-НИКОБАРСКОГО АРХИПЕЛАГА (ИНДИЯ)**

Выявлен целый ряд антропогенных и стихийных бедствий, оказавший воздействие на хрупкие экосистемы группы островов Баратанг в Андаманско-Никобарском архипелаге, что привело к деградации и истощению их природной среды и биоразнообразия. Установлено, что в начале XX в. ресурсы архипелага, особенно о. Баратанг, эксплуатировались для создания инфраструктуры и плантаций, что привело к уменьшению лесного покрова и увеличению числа антропогенно-преобразованных ландшафтов. Тем не менее самая последняя доступная информация о землепользовании и земном покрове относится только к 2013 г. Данное исследование направлено на понимание динамики изменений землепользования и земного покрова на группе островов Баратанг с помощью разновременных спутниковых данных за 1976, 1993, 2004, 2014 и 2023 гг. С использованием методов визуальной интерпретации были созданы карты пространственно-временных изменений, представляющие различные особенности землепользования и земного покрова на исследуемой территории. Анализ этих карт выявил интересную тенденцию: наблюдается увеличение площади лесов при одновременном уменьшении поселений и сельскохозяйственных угодий, что противоречит выводам предыдущих исследований. Данная работа установила несколько факторов, способствующих развитию этой тенденции, а именно: естественное возобновление, сокращение лесозаготовок и человеческой деятельности, государственная политика и законы, а также реализация природоохранных мер лесным департаментом. Однако данные о сокращении мангровых зарослей, которое объясняется как деятельностью человека, так и стихийными бедствиями, совпадают с результатами других исследований. В данном исследовании подчеркивается важность регулярного мониторинга динамики ландшафта острова для понимания изменений в землепользовании и земном покрове и принятия соответствующих мер по охране окружающей среды.

Ключевые слова: о. Баратанг, вторжение в леса, мангровые заросли, спутниковые данные, поселения, цунами.

S. CHAKRABORTY*, R.CH. PRASAD**

*Central University of Karnataka,

585367, Karnataka, Kalaburagi, Aland Road, India, satyachakraborty.2018@gmail.com

**International Institute of Information Technology Hyderabad,
500032, Telangana, Gachibowli, Hyderabad, India, rcprasad@iiit.ac.in**ANALYSING THE TEMPORAL LAND USE AND LAND COVER TRANSFORMATIONS
IN BARATANG GROUP ISLANDS OF ANDAMAN AND NICOBAR (INDIA)**

A number of anthropogenic and natural disasters that have impacted the fragile ecosystems of the Baratang group of islands in the Andaman-Nicobar archipelago, resulting in the degradation and depletion of their natural environment and biodiversity, have been identified. It was found that in the early 20th century the resources of the archipelago, especially Baratang Island, were exploited for infrastructure and plantations, resulting in a decrease in forest cover and an increase in anthropogenically transformed landscapes. However, the most recent available information on land use and land cover is only from 2013. This study aims to understand the dynamics of land use and land cover change in the Baratang Island group using multi-temporal satellite data for 1976, 1993, 2004, 2014, and 2023. Using visual interpretation techniques, spatial and temporal change maps were created to represent the different land use and land cover features in the study area. Analysis of these maps revealed an interesting trend: there is an increase in forest area with a simultaneous decrease in settlements and agricultural land, which contradicts the findings of previous studies. This work has identified several factors contributing to this trend, namely natural regeneration, reduction in logging and human activities, government policies and laws, and implementation of conservation

measures by the forest department. However, the evidence on mangrove decline attributed to both human activities and natural disasters is consistent with the results of other studies. This study emphasizes the importance of regular monitoring of the island's landscape dynamics to understand changes in land use and land cover and to take appropriate conservation measures.

Keywords: Baratang Island, forest encroachment, mangroves, satellite data, settlements, tsunamis.

ВВЕДЕНИЕ

Землепользование (ЗП) и естественный земной покров (ЕЗП) относятся к пространственным характеристикам региона. ЕЗП имеет отношение к природной среде, например, леса, водоемы и горы, тогда как ЗП представляет собой категории (классы) земель, возникающие в результате антропогенных преобразований земного покрова, таких как сельское хозяйство, строительство поселений и создание инфраструктуры [1, 2]. Переход ЕЗП в различные виды землепользования существенно изменил ландшафты, повлияв на глобальный биогеохимический цикл. Понимание динамики ЕЗП и ЗП имеет решающее значение, поскольку оно показывает темпы их трансформации и движущие силы, ответственные за эти изменения [2, 3]. Чтобы изучить скорость модификаций ЕЗП и ЗП, необходимы данные о прошлых и настоящих условиях их формирования. Однако получение таких данных с помощью традиционных методов исследований — продолжительный, дорогостоящий и трудоемкий процесс. В качестве альтернативы выступает спутниковое дистанционное зондирование, которое обеспечивает экономически эффективный подход, предлагая разнообразные пространственные, спектральные и временные наборы спутниковых данных для картографирования, мониторинга и управления изменениями ЕЗП и ЗП [4, 5].

Андаманские и Никобарские острова (АНО) образуют архипелаг, включающий острова различных размеров с преобладанием леса, которые часто называют «изумрудами Бенгальского залива» [6]. Эти острова характеризуются богатым биоразнообразием, высоким уровнем эндемизма и служат домом для племенных сообществ аборигенов [7, 8]. Однако нетронутая экосистема сталкивается с угрозами как со стороны человека, так и со стороны природных факторов, которые нарушают динамику ландшафта АНО. Миграция населения представляет собой основной определяющий фактор, который оказал огромное и необратимое воздействие, приведя к исчезновению густых лесов на различных группах островов. Деградация лесных массивов пропорциональна темпам иммиграции населения. Поселенцы вторгаются и расчищают лесные территории для сельского хозяйства, плантаций и строительства жилья, чтобы удовлетворить свои основные потребности.

В качестве ответной меры на исчезновение крупных лесных массивов и вследствие давления, оказываемого на природу АНО, особенно на фаунистические популяции, правительство Индии присвоило островам статус ООПТ: заповедников дикой природы, национальных парков и биосферных заповедников. Несмотря на эти природоохранные меры, лесная экосистема остается уязвимой в результате вмешательства человека, что приводит к уменьшению площади лесов, хотя оно может быть не таким значительным, как в предыдущие годы. Правительство предлагает меры защиты, одновременно продвигая новые проекты развития и расширения инфраструктуры, которые сокращают площадь лесов и, соответственно, влияет на биоразнообразие, в особенности приводя к потере эндемичных видов. Например, исследование Р.Ч. Прасада и др. [9] предсказало потерю площади лесов наряду с увеличением площадей поселений на Северных Андаманских островах, принимая во внимание минимальные ежегодные изменения лесных территорий, вызванные как деятельностью местного населения, так и осуществлением государственных планов развития инфраструктуры. Кроме того, природные явления, такие как землетрясения, циклоны и цунами, оказывают сильное воздействие на прибрежные лесные системы, включая прибрежные и мангровые болота [10]. Более того, на некоторых островах наблюдается береговая эрозия из-за повышения уровня моря, вызванного изменением климата [11]. Двойное воздействие антропогенных факторов и природных катастроф, усугубленное последствиями изменения климата, представляет серьезную угрозу выживанию экосистемы и потенциально может привести к ее коллапсу [12].

Многие исследователи изучали изменения ЕЗП и ЗП разных островов АНО и оценивали факторы, ответственные за эти изменения. Некоторые исследования были сосредоточены на анализе изменений на всей площади АНО [13], тогда как другие изучали малые группы островов или отдельные острова [9, 14]. Что касается подразделения Баратанг (ПБ), в предыдущих исследованиях использовались данные спутникового дистанционного зондирования. Например, П.С. Рой и др. [15] и Н. Нагабхатла [16] нанесли на карту ЕЗП и ЗП для периодов 1968, 1986 и 2001 гг., а Л.К. Тивари и др. [17–19] изучали 1989, 2003 и 2013 гг. для о. Баратанг — главного острова архипелага. Существующие

исследования изменений ЕЗП и ЗП по ПБ сообщают об уменьшении площади внутренних и мангровых зарослей, а также об увеличении сельскохозяйственных угодий и населенных территорий. Однако последние доступные данные для картографирования ЕЗП и ЗП относятся к периоду 2013 г., и с тех пор последующих исследований ПБ не проводилось.

В данном контексте в настоящем исследовании поставлены следующие цели:

- выявление и анализ исторических закономерности изменений ЕЗП и ЗП на отдельных островах ПБ;
- сравнение наблюдаемых тенденций изменений ЕЗП и ЗП с результатами предыдущих исследований, проведенных на данной территории, и выявление наличия или отсутствия закономерностей изменений ЕЗП и ЗП, наблюдаемых другими исследователями;
- исследование любых положительных отклонений или неожиданных изменений в тенденциях ЕЗП и ЗП по сравнению с предыдущими исследованиями или ожидаемыми закономерностями;
- определение и оценка основных факторов, ответственных за наблюдаемые изменения ЕЗП и ЗП.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

Подразделение Баратанг (ПБ) было основано в 1979 г. и включает в себя две отдельные группы островов. Одна группа включает о. Баратанг и соседние с ним острова, которые в данном исследовании мы называем Группой островов Баратанг (ГОВ). Другая группа состоит из архипелага Ричи. Обе группы разделены пр. Дилиджент, простирающимся на 13 км от берега до берега [20]. ГОВ включает о. Баратанг — самый большой и наиболее важный (также известный как о. Ранчивалас), а также другие острова, связанные с ним, такие как Коулбрук, Стрейт, Блафф, Ариэль, Северный Пэсидж, Спайк, Эвергрин и Талакаича (рис. 1.) Баратанг — один из крупнейших островов Большой Андаманской группы, расположен между средними и южными Андаманскими островами. Административная юрисдикция находится под управлением техсила Рангат Северного и Среднего Андаманского округов;

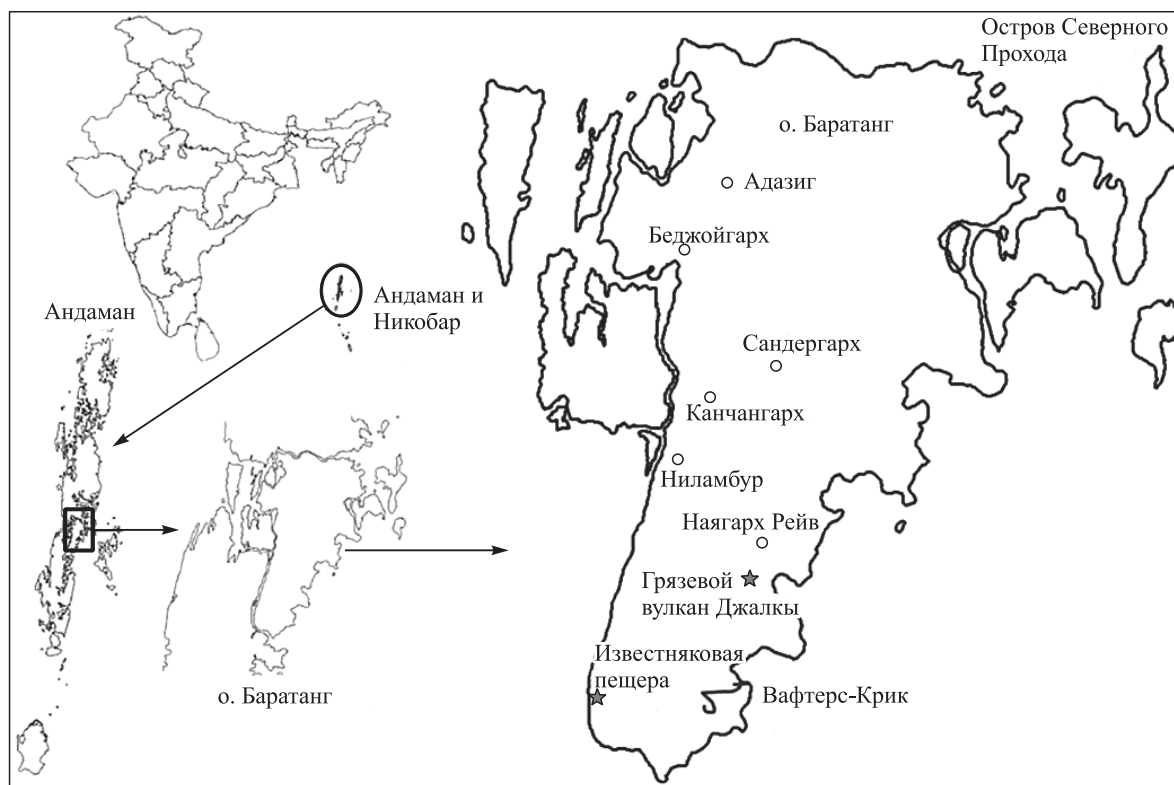


Рис. 1. Острова группы Баратанг Андаманско-Никобарского архипелага. Схема территории исследования.

острова внесены в список туристических мест [21]. Географически ГОБ расположена между 12°03'26" и 12°19'02" с. ш. и 92°04'21" и 92°53'32" в. д. [22] и охватывает площадь 313 км², согласно текущему исследованию.

ГОБ считается частью горной цепи Аркон Йома [23]. Рельеф холмистый, уклоны варьируются от минимум 0° до максимум 40° на разных сторонах островов, а наибольшая высота достигает 204 м [24]. Скальные образования относятся к Меланжу Митахари [25]. Кроме того, на острове имеется около шести грязевых вулканов, в которых по результатам геологической разведки обнаружены нефть и природный газ [26]. Эти грязевые вулканы активизировались и извергали значительные объемы грязевых потоков во время периода Великих землетрясений [27].

В растительном покрове доминируют леса, занимаая примерно 95 % всей площади [28], они подразделяются на Андаманские тропические вечнозеленые леса, Андаманские полувечнозеленые леса, Андаманские влажные лиственные леса и приливно-болотные леса (мангровые заросли) [29]. Некоторые территории, такие как Лороджиг, Аладжиг, ручьи Джарава и Рафтера, идентифицированы как потенциальные бамбуковые зоны [30]. Доминирующими видами деревьев в вечнозеленом лесу о. Баратанг являются представители рода Диптерокарпус (*Dipterocarpus* spp.), мускатник адамантский (*Myristica andamanica*) и кнема адамантская (*Knema andamanica*), согласно Т. Сельвану [31]. А. Мане и др. [32] сообщили о 90 видах деревьев в своем исследовании известковой карстовой растительности Баратанга.

К основным заливам относятся зал. Флэт на западной стороне острова и заливы Хорсфорд, Роулина и Грив на восточной, которые представляют собой важные места гнездования черепах [33]. Хотя на острове отсутствует специфическая речная сеть, он существует за счет различных небольших ручьев, текущих во всех направлениях [31]. Наиболее значимыми водотоками региона являются реки Джарава и Адазиг Наллах, воду которых местные жители используют для выращивания риса, овощей, специй, садовых культур и кокосов [30].

По данным переписи 2011 г., население острова состоит из 2919 мужчин и 2767 женщин (всего 5686 чел.) [21]. Основной источник средств существования местных жителей — сельское хозяйство и туризм [24], при этом плантации кокосовых пальм сконцентрированы преимущественно на островах Северный Пэсидж и Стрейт.

Для анализа изменений ЕЗП и ЗП на группе островов Баратанг в исследовании использовались пять наборов разновременных спутниковых данных, охватывающих 1976, 1993, 2004, 2014 и 2023 гг. Эти данные были получены с различных датчиков серии Landsat, а также с платформы Геологической службы США Earth Explorer [34]. Учитывая сложность получения безоблачных данных на АНО, на которые влияют как северо-восточные, так и юго-западные муссоны, в исследовании специально были отобраны данные, полученные в феврале и марте. Эти месяцы были выбраны из-за относительно минимальной облачности, что обеспечивает более высокое качество данных для анализа (табл. 1).

После получения подходящих данных за разные интервалы времени следующим шагом стала оценка их геометрической точности (точности пространственных измерений для совокупности временных спутниковых данных) и радиометрической точности (правильности значений яркости на спутниковых снимках). Для идентификации классов ЕЗП и ЗП на ГОБ была создана комбинация «искусственные цвета» путем объединения зеленого, красного и инфракрасного диапазонов спутниковых изображений. Для анализа спутниковых снимков использован метод визуальной интерпретации, что позволило создать подробные пространственно-временные карты ЕЗП и ЗП для обозначенной территории исследования.

Перед визуальной интерпретацией данные были подвергнуты растяжению, чтобы улучшить четкость и различимость элементов рельефа на спутниковых изображениях. Затем для отображения различных классов ЕЗП и ЗП был создан спектральный ключ, включающий такие параметры, как тон, текстура, форма, ассоциация, местоположение и узор. С его использованием были определены тематические классы, включающие лес (в том числе все типы плантаций), деградировавший лес, мангровые заросли, водоемы/ручьи, представляющие ЕЗП, а также поселения и сельскохозяйственные

Таблица 1

Подробная информация о наборах спутниковых данных, использующихся для анализа изменений ЕЗП и ЗП на группе островов Баратанг

Спутник/ Датчик	Дата получения	Путь/строка	Пространственное разрешение, м
Landsat-2/MSS	18.03.1976	144/052	60
Landsat-5/TM	27.02.1993	134/052	30
Landsat-5/TM	26.02.2004	134/052	30
Landsat-8/OLI	09.03.2014	134/052	30
Landsat-9/OLI	22.02.2023	134/052	30

земли, представляющие ЗП. В комбинации «искусственные цвета» растительность, такая как леса и мангровые заросли, обычно отображается оттенками красного, что в первую очередь определяется их тоном. Однако ключевую роль в разграничении лесных и мангровых участков играет анализ текстуры. Леса имеют грубую текстуру, тогда как у мангровых зарослей она более гладкая. Кроме того, дифференциации помогает их связь с ручьями; мангровые заросли часто встречаются в непосредственной близости от ручьев. Точно так же водоемы, включая ручьи, идентифицируются, в первую очередь, по их тону (обычно синему) и характерной форме. Поселения и сельскохозяйственные земли отличаются своим тоном и узором от окружающих природных ландшафтов. Чтобы обеспечить точное картографирование этих классов, в качестве справочных материалов использовались существующие карты и изображения Google Earth с отметками времени, позволяющие различать классы, наблюдаемые в спутниковых данных.

Первоначально данные 2023 г. интерпретировались посредством экранной оцифровки с использованием спектрального ключа. Полученная векторная карта затем была наложена на другие временные наборы данных. В дальнейшем она была уточнена и модифицирована в местах, где наблюдались изменения, что облегчило создание пространственно-временных карт ЕЗП и ЗП для исследуемой территории. Впоследствии для каждого года были рассчитаны территориальные статистические данные для оценки динамики ЕЗП и ЗП в пределах ГОБ. Весь процесс обработки изображений и оцифровки векторной карты был выполнен с использованием программного обеспечения ERDAS и ARC-GIS соответственно.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Схема классификации землепользования в Индии в сравнении с ЕЗП и ЗП ГОБ. Хотя исследователи во всем мире используют термины ЕЗП и ЗП для описания пространственных особенностей поверхности Земли, каждая страна имеет свой собственный классификационный подход для определения классов ЕЗП и ЗП. В Индии девятиступенчатая схема классификации землепользования была введена Техническим комитетом по координации сельскохозяйственной статистики, созданным Министерством продовольствия и сельского хозяйства в 1948 г. [35], который подразделил землепользование на следующие классы: «Лес», «Земля, используемая в несельскохозяйственных целях», «Бесплодная и непригодная для обработки земля», «Постоянные пастбища и другие пастбищные угодья», «Земля под разными древесными культурами», «Пахотно-пригодная пустошь», «Земля под паром (кроме земли под паром в настоящее время)», «Земля под паром в настоящее время» и «Чистая посевная площадь». В текущем исследовании были определены пять классов ЕЗП и ЗП, следующим образом соответствующих девятиступенчатой классификации землепользования: класс «Лес» включает лес, деградировавший лес и мангровые заросли; к классу «Земля, используемая в несельскохозяйственных целях» относятся водоемы/ручьи. Однако населенные пункты с сельскохозяйственными землями не вписываются в один класс и попадают под несколько категорий: «Земля, используемая в несельскохозяйственных целях (поселения)», «Обрабатываемые отходы», «Земля под паром (кроме земли под паром в настоящее время)», «Земля под паром в настоящее время» и «Чистая посевная площадь (сельскохозяйственные земли)». Несколько других классов, выделенных в схеме классификации, на исследуемой территории не наблюдаются.

Группа островов Баратанг: ЕЗП и ЗП. В прошлом ГОБ сталкивалась со значительным вмешательством человека, сначала со стороны британских колонистов, эксплуатировавших лесные ресурсы [36], а затем со стороны лесного департамента, осуществлявшего плантационную деятельность. Выборочная вырубка и заготовка промысловых пород в прошлом приводили к деградации естественного биоразнообразия лесов [37, 38]. В дальнейшем периферийные районы лесных массивов были захвачены мигрировавшими поселенцами для земледелия и строительства поселений [18]. Помимо посягательств на леса, основными угрозами для ГОБ были браконьерство, добыча песка и плантации тика, что привело к нехватке воды, исчезновению видов и утрате мест гнездования морских черепах [23].

Пространственно-временные карты ЕЗП и ЗП, созданные в ходе этого исследования, отражают исторические изменения в пределах ГОБ, показывая положительную тенденцию для классов лесов, деградировавших лесов, а также поселений и сельского хозяйства, в то время как классы мангровых зарослей и территорий рек демонстрируют отрицательные тенденции (табл. 2, рис. 2). Самые значительные изменения ЕЗП и ЗП, по сравнению с другими прилегающими островами, наблюдались на о. Баратанг. Лесная экосистема ГОБ состоит из вечнозеленых, полувечнозеленых, влажных лиственных, прибрежных и мангровых типов растительности [39], представляющих широкий спектр биораз-

Таблица 2

Динамика площади классов естественного земного покрова и землепользования группы островов Баратанг с 1976 по 2023 г., км²

Год	Лес	Деградировавший лес	Мангровые заросли	Поселения/Сельскохозяйственные земли	Водоемы/ручьи	Общая площадь, км ²
1976	243,59	10,97	37,97	16,81	4,58	313,9
1993	252,64	7,01	35,57	14,03	4,66	»
2004	254,07	6,45	34,75	13,99	4,66	»
2014	255,92	5,63	34,32	13,37	4,67	»
2023	258,33	4,97	33,21	12,84	4,53	»

нообразия [40]. Вечнозеленые и полувечнозеленые леса распространены в долинах и на склонах, а влажные лиственные встречаются на холмах и засушливых участках острова [37]. Среди различных типов леса вечнозеленый лес считается климаксовой растительностью ГОБ [15]. Острова с западной стороны о. Баратанг, такие как Бингем (с густым лесом), Спайк-I и II, Блафф и Белль (с мангровыми зарослями), являются местообитанием эндемичной флоры, уникальных черепах и птиц, а также объявлены заповедниками дикой природы и «горячими точками» для туризма [41].

Исследование выявило положительную динамику в площади лесов с 1976 по 2023 г. (см. табл. 2): чистый прирост составил 14,7 км². Самое значительное расширение лесных массивов произошло в период с 1976 по 1993 г., когда их площадь увеличилась примерно на 9 км². Тенденция такого прогресса объясняется естественным возобновлением, сокращением лесозаготовок и антропогенной

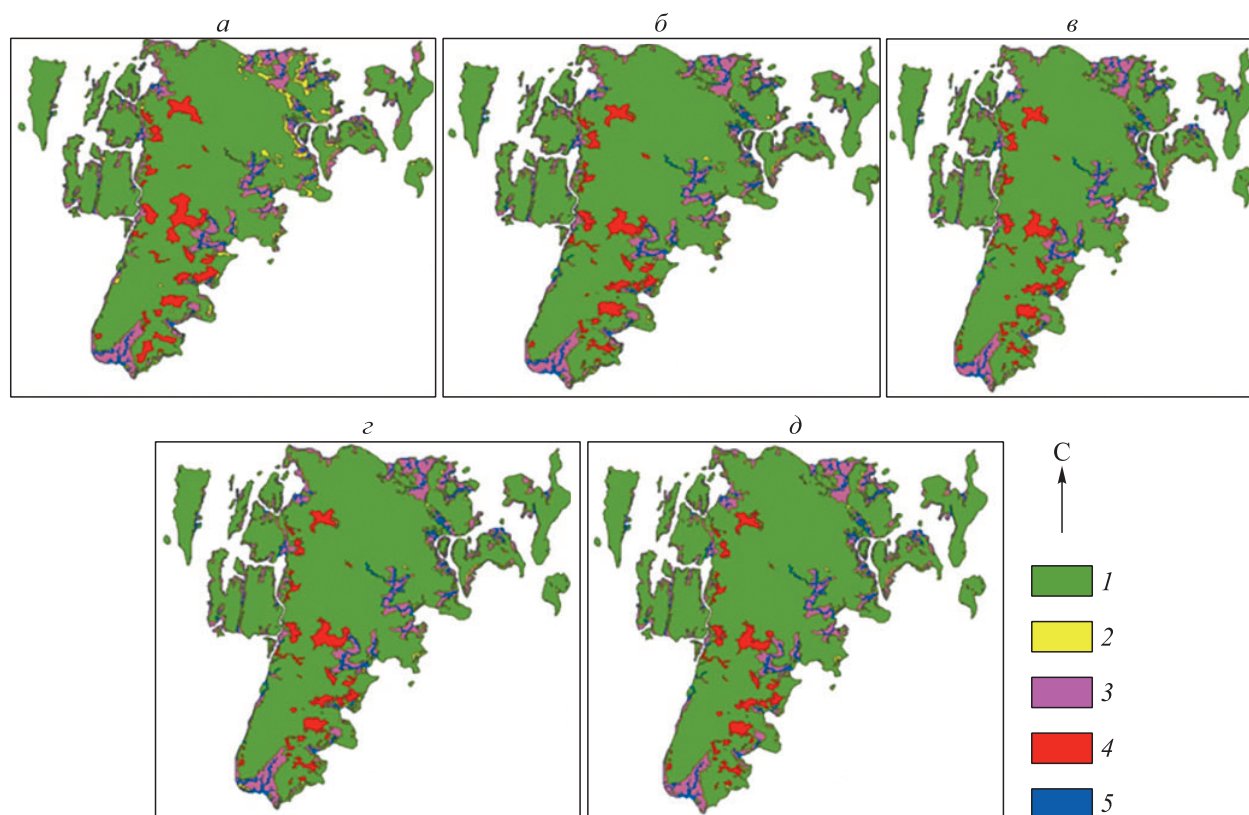


Рис. 2. Пространственно-временные трансформации в структуре землепользования и земного покрова островов группы Баратанг за 1976 г. (а), 1993 г. (б), 2004 г. (в), 2014 г. (з) и 2023 г. (д).

Виды ЗП и ЕЗП: 1 — лес, 2 — деградировавший лес, 3 — мангровые заросли, 4 — сельскохозяйственные земли/поселения, 5 — водоемы/ручьи.

деятельности, а также реализацией государственной политики и законов, в том числе природоохран-ных мер, инициированных лесным департаментом АНО [18, 42].

С другой стороны, наблюдалась тенденция к сокращению площади мангровых зарослей: площадь их надземной поверхности сократилась примерно на 4,76 км². Уничтожение мангровых лесов происходит, прежде всего, в результате вмешательства человека, в том числе вырубок леса на топливо, и воздействия отложения ила из дренажной системы о. Баратанг, что приводит к гибели мангровых территорий [15, 39]. Цунами 2004 г. также затронуло низменные районы р. Джаравы, затопив землю на глубину 0,5–0,8 м [24]. Однако влияние на ГОБ было минимальным по сравнению с другими районами АНО с незначительным воздействием на мангровые заросли. Прибрежные растительные системы ГОБ пострадали от совокупного воздействия антропогенной деятельности, стихийных бедствий и изменения климата.

Остров Баратанг населен коренным племенем Джарава. В колониальный период население с плато Чотанагпур, особенно из района Ранчи (Индия), было привезено на остров в качестве рабочих и в результате селилось на постоянной основе и мигрировало в разные части острова, занимая территории лесов для расширения поселений и ведения сельского хозяйства [35]. Примечательно, что в ходе данного исследования наблюдалось уменьшение площади класса поселений и сельского хозяйства с 1976 (16,81 км²) по 2023 год (12,84 км²), что является уникальной тенденцией в отличие от текущего роста поселений в других регионах мира. К этому классу относятся лесные территории, освоенные для сельскохозяйственных целей и имеющие поселенческие постройки. Уменьшение, зафиксированное в этом исследовании, может быть связано с переходом сельскохозяйственных угодий на другой тип растительности, в результате чего остались только постройки. Л.К. Тивари и др. [18] также пишут об изменении модели земледелия на о. Баратанг, где лесные площади, занятые под сельскохозяйственные нужды, позже покидаются, что позволяет обеспечить естественное возобновление.

Сокращение сельского хозяйства также связано с миграцией населения в г. Порт-Блэр (столица Южного Андамана) для трудоустройства или в рамках правительственных программ переселения, а также, в редких случаях, со стихийными бедствиями, вынуждающими людей покидать свои места проживания и отказываться от ведения сельского хозяйства. Остров Баратанг известен своими грязевыми вулканами, которые выделяют грязь и газы. Воздействие этих грязевых вулканов считается одной из причин падения численности населения и сельскохозяйственного производства острова [25]. Грязевые извержения покрыли большие площади растительности, а также сельскохозяйственных угодий. Кроме того, извержение соленой воды из грязевого вулкана во время цунами 2004 г. также повлияло на сельское хозяйство. Возможности туризма в Южном Андамане побудили поселенцев с близлежащих островов, включая Баратанг, мигрировать, что привело к упадку сельского хозяйства.

Еще один класс, наблюдаемый в исследовании, — это водоемы и ручьи, в которых не произошло существенных изменений на протяжении всего периода исследования. Площадь ручьев составляла 4,58 км² в 1976 г., увеличилась на 0,8 км² в 1993 г. и оставалась относительно стабильной до 2014 г. Позднее она незначительно сократилась на 0,13 км² в 2023 г.

Исследование также показывает уменьшение площади деградировавших лесов с течением времени примерно на 6 км². Деградация лесов на этом острове в основном была вызвана неконтролируемой и неустойчивой деятельностью человека в прошлом [13]. Сокращение лесного покрова является результатом незаконных рубок, вторжений и неустойчивых методов ведения сельского хозяйства, включая подсечно-огневое земледелие. Строительство Андаманской магистральной дороги, связавшей северные и южные районы Андаманских островов, привело к масштабной рубке лесов [43]. Стихийные бедствия, такие как циклоны, которые распространены на этом острове, могут выкорчевывать деревья и повреждать структуру леса, препятствуя новому росту [44]. В рамках более крупного региона АНО, а также на ГОБ предпринимаются усилия по решению проблемы деградации лесов посредством создания охраняемых территорий, программ лесовосстановления и поддержки регионального населения в ведении устойчивого хозяйства [45]. Данная деятельность способствовала уменьшению деградировавших лесов на этом острове.

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ДРУГИХ АВТОРОВ

Сравнивать настоящее исследование с предыдущими исследованиями, проведенными на ПБ, не совсем корректно из-за различий в размерах изучаемой территории и типах рассматриваемых классов ЕЗП и ЗП. Тем не менее была предпринята попытка сравнить тенденции в моделях ЕЗП и ЗП с другими исследованиями разных временных отрезков (табл. 3).

Таблица 3

Динамика площади классов землепользования и земного покрова,
выявленных на о. Баратанг разными исследователями, с 1976 по 2023 г.

Классы ЕЗП и ЗП	1976*	1986**	1989***	1993*	2001**	2003***	2004*	2013***	2014*	2023*
Вечнозеленый лес	—	58,47	—	—	48,11	—	—	—	—	—
Вторичный вечнозеленый лес	—	16,84	—	—	26,19	—	—	—	—	—
Полувечнозеленый лес	—	53,93	—	—	43,98	—	—	—	—	—
Влажный лиственный лес	—	39,16	—	—	50,15	—	—	—	—	—
Бамбук	—	0,83	—	—	0,53	—	—	—	—	—
Прибрежный лес	—	0,85	—	—	0,52	—	—	—	—	—
Кокос	—	0,16	—	—	0,38	—	—	—	—	—
Тик	—	19,43	—	—	15,18	—	—	—	—	—
Падук	—	0,74	—	—	1,03	—	—	—	—	—
Лес	184,57	—	230,54	192,85	—	230,06	194,27	229,96	195,85	197,84
Деградировавший лес	9,27	0,41	—	5,44	1,14	—	4,9	—	4,28	3,64
Мангровые заросли	29,69	48,47	—	28,03	46,73	—	27,19	—	26,84	26,15
Деградировавшие мангровые заросли	—	0,36	—	—	0,91	—	—	—	—	—
Илистые равнины	—	4,98	1,08	—	6,23	1,19	—	1,20	—	—
Сельскохозяйственные земли/Поселения	16,81	13,84	—	14,03	17,29	—	13,97	—	13,35	12,82
Водоемы/ручьи	4,14	—	—	4,15	—	—	4,15	—	4,15	4,01
Вторжение в леса	—	—	0,21	—	—	1,98	—	2,01	—	—
Нелесные деревни	—	—	9,55	—	—	8,17	—	8,21	—	—
Общая площадь	244,5	258,5	241,4	244,5	258,4	241,4	244,5	241,4	244,5	244,5

Примечание. Исследования: * — текущее, ** — Н. Нагабхатла [16], *** — Л.К. Тивари и др. [17, 18]. Прочерк — данный класс отсутствует или не выделяется конкретными авторами.

Подразделение Баратанг (ПБ). В исследовании П.С. Роя и др. [15] типы растительности ПБ были картированы за периоды 1968 г. (аэрофотоснимки) и 1986 г. (данные Landsat TM) с использованием как визуальной интерпретации, так и цифровой классификации. Хотя основное внимание в исследовании уделялось картированию типов растительности, авторы также интерпретировали и другие нелесные классы. В исследовании сообщается об изменении ландшафта на о. Баратанг, а именно, о преобразовании леса в сельскохозяйственные угодья, переходе одного типа леса в другой (например, вечнозеленого в полувечнозеленый, а затем во влажный лиственный), а также об увеличении площади поселений с уменьшением площади лесов, включая мангровые заросли. Исследователи предоставили статистику ЕЗП и ЗП, используя цифровую классификацию, оценивая общую площадь ПБ в 507 км².

Используя аналогичные данные, Н. Нагабхатла и др. [16] оценили изменения ландшафта в период с 1986 по 2001 гг. В их исследовании была проведена более детальная дифференциация при интерпретации классов ЕЗП и ЗП и сделан вывод о сокращении лесов и мангровых зарослей, расширении поселений и взаимном преобразовании типов леса в результате совокупного эффекта как человеческих, так и природных факторов. Они сообщили, что общая площадь ЕЗП и ЗП в ПБ составляет 566 км², что отличается от оценок П.С. Роя и др. [15] на 59 км².

Остров Баратанг. Л.К. Тивари и др. [17] подготовили карту ЕЗП и ЗП о. Баратанг, используя спутниковые данные IRS LISS III и IV за 2003 и 2013 гг. соответственно. Целью исследования было составление карты вторжений в леса с использованием двух цифровых классификаторов MLC (классификатор максимального правдоподобия) и SVM (машина опорных векторов). Они разделили о. Баратанг на четыре класса: «Илистые равнины», «Смешанные леса», «Водоемы» и «Застройки», которые включали рисовые поля, дома/хижины, естественные и посаженные деревья, влажную/сухую почву и глину. Однако в исследовании не сообщается о каких-либо изменениях ЕЗП и ЗП, и оно было больше направлено на определение лучшего классификатора для выявления вторжений в леса. В другом исследовании, проведенном С.К. Синхой и Л.К. Тивари [19], аналогичные классы ЕЗП и ЗП для о. Баратанг были нанесены на карту с использованием данных IRS LISS III 2003 г. с целью продемонстрировать улучшение в выявлении областей вторжения в лес, применяя дополнительные данные диапазона SWIR в вейвлет-области при классификации изображений. Однако эта работа также не

дала выводов о каких-либо количественных изменениях ЕЗП и ЗП, поскольку картирование было выполнено только за один период. В обоих исследованиях особое внимание уделялось подходам к классификации и улучшению данных, а не предоставлению изменений ЕЗП и ЗП для о. Баратанг.

В рамках расширенного исследования Л.К. Тивари и др. [18] картографировали вторжения в леса, используя данные 1989 (Landsat TM), 2003 и 2013 гг. (LISS III). С помощью визуальной интерпретации они подготовили карты ЕЗП и ЗП с четырьмя классами: «Лес», «Вторжения в леса», «Нелесная деревня (с деревней, лесной зоной и нелесными территориями)» и «Илистые равнины». В ходе исследования была зафиксирована общая площадь 241 км², что близко к оценкам текущего исследования для о. Баратанг (244 км²). Однако результаты текущего исследования нельзя напрямую сравнивать с результатами Л.К. Тивари и др. [18], поскольку состав классов ЕЗП и ЗП был другим. В настоящем исследовании леса и плантации были выделены в один класс, показывая увеличение площади лесов с 1976 по 2003 г. С другой стороны, Л.К. Тивари и др. [18] отличали лес от плантаций и определяли переход лесной площади в плантации, сообщая о сокращении площади коренных лесов. Они наблюдали более интенсивные антропогенные трансформации лесов в период с 1989 по 2003 г., особенно вдоль границ деревень, где лесные площади использовались для сельского хозяйства или сменной культивации. Однако за период с 2003 по 2013 г. они сообщили о незначительных изменениях или вообще об их отсутствии в результате лесовосстановительных мероприятий, проводимых лесным департаментом АНО. Этот вывод согласуется с текущим исследованием, которое указывает на постепенное сокращение площади деградировавших лесов наряду с увеличением площади лесов и уменьшением площади сельскохозяйственных угодий и населенных пунктов (см. табл. 3).

Исследование Н. Нагабхатлы и др. [16] также описывает отдельные изменения ЕЗП и ЗП для о. Баратанг и определило общую площадь в 258 км², что немного отличается от площади наблюдений текущего исследования, равной 244,5 км². Несмотря на разницу измерения площади, исследование Н. Нагабхатлы и др. [16] совпадает с текущим исследованием с точки зрения сокращения мангровых зарослей, но отличается в отношении класса леса. Настоящее исследование объединило леса и плантации в один класс (лес) и показало увеличение площади лесов с 1976 по 2003 г. Однако авторы [16] отделили лес от плантаций и определили преобразование лесных площадей в плантации (особенно тиковые) и вторичные леса, сообщая о сокращении территорий коренных лесов. Площади мангровых зарослей, которые указывают Н. Нагабхатла и др. [16], были выше в 1986 (48,47 км²) и 2001 гг. (46,73 км²) соответственно, в то время как текущее исследование показало более низкие значения с тенденцией к уменьшению с 1976 (29,69 км²) по 2023 год (26,15 км²) (см. табл. 3). Одной из возможных причин различий в интерпретации площади мангровых зарослей может быть учет площади ручьев, отделенных от мангровых зарослей в текущем исследовании, в отличие от Н. Нагабхатлы и др. [16], где некоторые ручьи были объединены с мангровой растительностью. Более высокие значения площадей лесных массивов и более низкие — мангровых зарослей в текущем исследовании можно объяснить четкой дифференциацией лесных территорий, особенно в прибрежных регионах, в ходе которой более точно отделяются внутренние леса (вечнозеленый, вторичный вечнозеленый, полувечнозеленый, влажный лиственный, а также бамбуковый, прибрежный, кокосовый, тиковый, падуковый и деградировавший) и ручьи от мангровых зарослей с помощью ретроспективных изображений Google Earth. По сравнению работой Л.К. Тивари и др. [18] и текущим исследованием, Н. Нагабхатла и др. [16] указывают дополнительную площадь в 14–16 км² для о. Баратанг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сочетание спутниковых данных Геологической службы США и изображений Google Earth значительно способствовало надежности результатов, представленных в этом исследовании. Хотя в других работах использовались аналогичные спутниковые данные и методы визуальной интерпретации, существуют различия в типах интерпретируемых классов ЕЗП и ЗП и полученной общей площади. Кроме того, имеют место различия в оценках общей площади ПБ, ГОБ или ОБ. В прошлом ГОБ подвергалась жесткому вмешательству человека, что привело к истощению и деградации лесов до 1970 г. Предыдущие исследования, связанные с ГОБ, сообщали о сокращении площади лесов при быстром расширении сельского хозяйства и поселений, в то время как в текущем исследовании наблюдалась положительная тенденция увеличения площади лесов в сочетании с уменьшением площади деградировавших лесов и поселений, что противоречит предыдущим выводам. Настоящее исследование связывает эту положительную тенденцию с миграцией местного населения на другие острова в поисках работы, а также с воздействием грязевых вулканов, циклонов и цунами на сельскохозяйствен-

ные уголья. Консервативные инициативы лесного департамента и других поддерживающих организаций также способствовали этой положительной тенденции. Даже если принять во внимание посягательства на леса, о которых сообщалось в предыдущих исследованиях, зарегистрированная потеря лесов со временем компенсировалась, что свидетельствует о тенденции увеличения их площади.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. **Salghuna N.N., Prasad R.Ch., Asha K.** Assessing the impact of land use and land cover changes on the remnant patches of Kondapalli reserve forest of the Eastern Ghats, Andhra Pradesh, India // *Egyptian Journ. of Remote Sensing and Space Sciences*. — 2018. — Vol. 21, N 3. — P. 419–429.
2. **Vani M., Prasad R.Ch.** Assessment of Spatio-temporal Changes in land use and land cover, urban sprawl and land surface temperature in and around Vijayawada City, India // *Environment Development and Sustainability*. — 2020. — Vol. 22, N 4. — P. 3079–3095.
3. **Vasanthawada S.R.S., Puppala H., Prasad R.Ch.** Assessing impact of land use changes on land surface temperature and modelling future scenarios of Surat, India // *Int. Journ. Environ. Sci. Technol.* — 2023. — Vol. 20. — P. 7657–7670. — DOI: 10.1007/s13762-022-04385-4
4. **Tewabe D., Adametie T.F.** Assessing land use and land cover change detection using remote sensing in the Lake Tana Basin, Northwest Ethiopia // *Cogent Environmental Science*. — 2020. — Vol. 6, N 1. — P. 1–10. — DOI: 10.1080/23311843-2020.1778998
5. **Mehra N., Swain J.B.** Assessment of land use land cover change and its effects using artificial neural network-based cellular automation // *Journ. Eng. Appl. Sci.* — 2024. — Vol. 71, N 70. — P. 1–17. — DOI: 10.1186/s44147-024-00402-0
6. **Old.eci.gov.in** [Электронный ресурс]. — <https://old.eci.gov.in/files/file/13880-enchanting-the-electorate-in-the-emerald-islands/> (дата обращения 29.09.2023).
7. **Karthigeyan K.** Island flora: diversity and endemism in the flora of Andaman & Nicobar Islands — An overview, Plant systematics and ethnobotany: methods and practices // *The Proceedings of the 3rd and 4th National Workshops under Taxonomy Training Centre, AICOPTAX, MoEF&CC Govt. of India*. — West Bengal: Publisher UBI, Uluberia, 2020. — P. 59–84.
8. **Ministry of Tribal Affairs** [Электронный ресурс]. — <http://www.tribal.nic.in/writereaddata/Schemes/4-5NGORvisedScheme.pdf> (дата обращения 14.08.2023).
9. **Prasad R.Ch., Reddy C.S., Rajan K.S., Raza S.H., Dutt C.B.S.** Assessment of Tsunami and Anthropogenic Impacts on the forest of the North Andaman Islands, India // *International Journ. of Remote Sensing*. — 2009. — Vol. 30 (5). — P. 1235–1249.
10. **Prasad R.Ch., Mamtha Lakshmi P., Rajan K.S., Vijaya B., Dutt C.B.S.** Tsunami and tropical Island ecosystems — a metaanalysis of the studies in Andaman and Nicobar Islands // *Biodiversity and Conservation*. — 2012. — Vol. 21, N 2. — P. 309–322.
11. **Reddy S., Prasad R.Ch.** Evaluating the effects of natural disasters, human influence, and government development policies on the landscape dynamics of Little Andaman, India // *Journ. of Coastal Conservation*. — 2024. — Vol. 28. — DOI: 10.1007/s11852-023-01024-z
12. **Prasad R.Ch., Rajan K.S., Dutt C.B.S., Roy P.S.** A conceptual framework to analyse the land use / land cover changes and its impact on phytodiversity — A case study of North Andaman Islands, India // *Biodiversity and Conservation*. — 2010. — Vol. 19 (11). — P. 3073–3087.
13. **Reddy C.S., Satish K., Shaik V., Jha C.S., Dadhwal V.K.** Assessment and monitoring of deforestation and land-use changes (1976–2014) in Andaman and Nicobar Islands India using remote sensing and GIS // *Current science*. — 2016. — Vol. 111. — P. 1492–1499. — DOI: 10.18520/cs/v111/i9/1492-1499
14. **Mahammad M., Prasad R.Ch.** Analysing the fragile island-scape of Ritchie's Archipelago: understanding land use changes, biodiversity loss, and tourism impacts on both the ecosystem and islanders // *GeoJournal*. — 2024. — Vol. 89 [Электронный ресурс]. — <file:///C:/Users/User/Downloads/s10708-024-11053-2.pdf> (дата обращения 14.08.2023). — DOI: 10.1007/s10708-024-11053-2
15. **Roy P.S., Ranganath B.K., Diwakar P.G., Vohra T.P.S., Bhan S.K., Singh I.J., Pandian V.C.** Tropical forest type mapping and monitoring using remote sensing // *International Journ. of Remote Sensing*. — 1991. — Vol. 12, N 11. — P. 2205–2225. — DOI: 10.1080/01431169108955253
16. **Nagabhatla N., Roy P.S., Jagdale R.** Evaluating the change (1968–2001) in landscape pattern and analysing disturbance in Baratang Forest Division (Andaman Islands), Southeast Asia // *Geospatial World*. — 2009. — Vol. 2, N 32. — P. 8.
17. **Tiwari L.K., Sinha S.K., Saran S., Tolpekin V.A., Raju P.L.N.** Forest encroachment mapping in Baratang Island, India, using maximum likelihood and support vector Machine Classifiers // *Journ. Of Applied Remote Sensing*. — 2016io — Vol. 10, N 1. — P. 1931–3195. — DOI: 10.1117/1.JRS.10.016016
18. **Tiwari L.K., Sinha S.K., Saran S.** Forest cover change detection in Andaman and Nicobar Islands using remote sensing and GIS techniques // *The Indian Forester*. — 2016. — Vol. 142 (5). — P. 427–436.
19. **Sinha S.K., Tiwari L.K.** Enhancement of image classification for forest encroachment mapping with destriped SWIR Band in the Wavelet Domain // *IEEE Journ. of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. — 2018. — Vol. 99. — P. 1–7.

20. **Shen Y., Liu C., Shi R.X., Chen L.J.** Andaman Islands, India // Journ. of Global Change Data & Discovery. — 2019. — Vol. 3, N 4. — P. 398–405. — DOI: 10.3974/geodp.2019.04.15
21. **Report T.** Aquifer mapping and management plan of North and Middle Andaman district, Andaman and Nicobar Island., Eastern Region, Kolkata [Электронный ресурс]. — <https://cgwb.gov.in/cgwbpm/publication-detail/29> (дата обращения 18.09.2023).
22. **Datta S., Haldar D.** Andaman mud volcanoes-low temperature geochemistry of eruptive fluids and potential hydrocarbon source // Geochimica et Cosmochimica Acta. — 2006. — Vol. 70, N 18. — P. A128. — DOI: 10.1016/j.gca.2006.06.273
23. **Andaman and Nicobar Islands Union Territory biodiversity strategy and action plan.** Prepared under the National biodiversity strategy and action plan — India [Электронный ресурс]. — <https://kalpavriksh.org/wp-content/uploads/2019/05/-Andamans-Final.pdf> (дата обращения 18.09.2023).
24. **DWIEP** [Электронный ресурс]. — <https://dwiep.ncscm.res.in/Island/IslandDetails/INAN480> (дата обращения 16.08.2023).
25. **Bandopadhyay P., Carter A., Ghosh B.** Natural Resources // Geological Society London Memories. — 2017. — Vol. 47, N 1. — P. 225–232. — DOI: 10.1144/M47.16
26. **Chaudhuri H., Ghose D., Bhandari R.K., Sen P., Sinha B.** A geochemical approach to earthquake reconnaissance at the Baratang mud volcano, Andaman and Nicobar Islands // Journ. of Asian Earth Sciences. — 2012. — Vol. 46. — P. 52–60.
27. **Vignesh A., Ramanujam N., Rasool Q., Swapan K.B.** Geochemical evidence for provenance, tectonic settings and presence of gas hydrate in Mud Volcano Sediments of Andaman Islands // Oil and Gas Research. — 2016. — Vol. 2. — P. 111. — DOI: 10.4172/2472-0518.1000111
28. **Bheemalingappa M., Seresh Babu V.M., Rao B.R.P.** Diversity and phytosociological attributes of trees of Baratang Island, Andaman and Nicobar Is-lands, India // Internat. Journ. of Conservation Science. — 2018. — Vol. 9, N (4). — P. 777–794.
29. **Champion H.G., Seth S.K.** Revised Forest Types of India. — New Delhi: Govt. of India Publications, 1968. — 404 p.
30. **State development report of Andaman and Nicobar Islands, 2006** [Электронный ресурс]. — <https://krishi.icar.gov.in/jspui/bitstream/123456789/34923/1/SDR%-20report.pdf> (дата обращения 16.08.2023).
31. **Selvan T.** Vegetation pattern of commercially important trees in evergreen forests of Baratang Island, Andamans // Journ. of Tree Sciences. — 2014. — Vol. 33, N 1. — P. 12–21.
32. **Mane A., Prabakaran N., Manchi S.** Floral diversity, composition and recruitment on the Kartsland of Baratang Island, India // Ecological Complexity. — 2019. — Vol. 37. — P. 47–54.
33. **ICRZ** [Электронный ресурс]. — https://environmentclearance.nic.in/writereaddata/SCZMADocument/ICRZ_Notification2011.pdf (дата обращения 28.09.2023).
34. **Геологическая служба США** [Электронный ресурс]. — <https://earthexplorer.usgs.gov> (дата обращения 28.09.2023).
35. **Landuse and landcover classification** [Электронный ресурс]. — <https://ebooks.inflibnet.ac.in/geop03/chapter/landuse-and-landcover-classification/> (дата обращения 31.05.2024).
36. **Bhattacharyya S.K., Dutta P.C.** Micro Evolution and Variation: A study among the migrants in the Andamans // Anthropologie. — 1982. — Vol. 20, N 2. — P. 177–181.
37. **Yoganand K., Davidar P.** Habitat preferences and Distributional Status of Some Forest Birds in Andaman Islands // Journ. of the Bombay Natural History. — 2000. — Vol. 97, N 3. — P. 375–380.
38. **Sustainable management of protected areas in the Andaman and Nicobar islands** / Eds. H.V. Andrews, V. Sankaran. — Port Blair, IN — New Delhi, IN — Cambridge, UK: Andaman and Nicobar Islands Environmental Team; Indian Institute of Public Administration; Fauna and Flora International, 2002. — 159 p.
39. **Basu P., Premnath R.** A contribution to the flora of Baratang Island, South Andaman // Bull. Bot. Surv. India. — 1982. — Vol. 24. — P. 121–131.
40. **Balakrishnan M., Srivastava R.C., Pokhriyal M.** Biodiversity of Andaman and Nicobar Islands // Biobytes. — 2008. — Vol. 3. — P. 9–12.
41. **National parks and Wildlife Sanctuaries in India, Government of India** [Электронный ресурс]. — <https://tourism.gov.in> (дата обращения 31.05.2024).
42. **Bandopadhyay P.C., Carter A.** The Andaman–Nicobar accretionary ridge: geology, tectonics and hazards // Geological Society. London, Memoirs. — 2017. — Vol. 47. — P. 75–93. — DOI: 10.1144/M47.6
43. **Pandya V.** Contacts, images, and imagination: The impact of a road in the Jarwa reserve forest, Andaman Islands // Bijdragen tot de Taal-, Land- en Volkenkunde. — 2002. — Vol. 158, N 4. — P. 799–820.
44. **FSI, 2000** [Электронный ресурс]. — https://fsi.nic.in/inventory_report/Andaman/Andaman_group_of_Island.pdf (дата обращения 18.11.2023).
45. **Forest code. 2011.** Departmental code of Department of Environment & Forests, Andaman & Nicobar Administration [Электронный ресурс]. — <http://ls1.and.nic.in/doef/WebPages/ForestCode2011.pdf> (дата обращения 11.08.2023).

Поступила в редакцию 09.01.2024

После доработки 10.06.2024

Принята к публикации 11.07.2024