

*С. М. Муратов<sup>1\*</sup>, Д. Ш. Фазилова<sup>2</sup>*

## **Интеграция дистанционного зондирования и объектно-ориентированного анализа изображений для улучшенного картографирования растительного покрова и лесных типов в Узбекистане**

<sup>1</sup> Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, г. Ташкент, Республика Узбекистан

<sup>2</sup> Астрономический институт Академии наук Республики Узбекистан, г. Ташкент, Республика Узбекистан

\* e-mail: sanjarbek.muratov@list.ru

**Аннотация.** В данной работе исследуется применение дистанционного зондирования и объектно-ориентированного анализа изображений (OBIA) для точного картирования растительного покрова и типов леса в Дехканабадском лесхозе, расположенном в Узбекистане. Были использованы спутниковые изображения высокого разрешения от Sentinel-2 и Compsat 3, а также данные о высоте от ALOS PalSAR. Методология включала использование наземных данных, полученных путем визуальной интерпретации точек отбора проб с применением приложения Collect Earth. После предварительной обработки изображения в программном обеспечении Trimble eCognition применялись методы OBIA. Это включало сегментацию изображений на значимые объекты и последующую их классификацию на основе спектральных, пространственных и контекстуальных свойств с использованием комбинации подходов контролируемой и экспертной классификации.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование, объектно-ориентированный анализ изображений (OBIA), картографирование земного покрова, типы леса, Узбекистан, Дехканабад, Sentinel-2, Compsat 3

*S. M. Muratov<sup>1\*</sup>, D. Sh. Fazilova<sup>2</sup>*

## **Integrating Remote Sensing and Object-based Image Analysis for Enhanced Mapping of Land Cover and Forest Types in Uzbekistan**

<sup>1</sup> National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Tashkent, Republik of Uzbekistan

<sup>2</sup> Astronomical Institute of Uzbek Academy of Sciences, Tashkent, Republik of Uzbekistan

\* e-mail: sanjarbek.muratov@list.ru

**Abstract.** This study investigates the application of remote sensing and object-based image analysis (OBIA) for accurately mapping land cover and forest types in the Dekhkanabad forestry enterprise, Uzbekistan. High-resolution satellite imagery from Sentinel-2 and Compsat 3 and elevation data from ALOS PalSAR were utilized. Crucially, the methodology incorporated ground truth data obtained through visual interpretation of sample points using the Collect Earth application. OBIA techniques were employed after image pre-processing within Trimble eCognition software. This involved segmenting the images into meaningful objects and subsequently classifying them based on spectral, spatial, and contextual properties using a combination of supervised and expert classification approaches.

**Keywords:** Remote Sensing, Object-Based Image Analysis (OBIA), Land Cover Mapping, Forest Types, Uzbekistan, Dekhkanabad, Sentinel-2, Compsat 3

### *Введение*

Дистанционное зондирование собирает данные о земле через спутники или беспилотники, помогая мониторить и классифицировать различные типы земельного покрова для экологических и землеустроительных целей [1, 2]. Существует множество методов обработки данных, включая индексацию, классификацию и объектно-ориентированный анализ изображений. Обзор литературы подчеркивает важность роли человеческого эксперта в процессе классификации изображений [3]. Методы индексирования спутниковых изображений, включая NDVI и NDWI, а также методы объектно-ориентированного анализа изображений (OBIA) для создания карт гео-покрова/землепользования играют ключевую роль в прогнозировании изменений в условиях землепользования, что важно для устойчивого управления природными ресурсами [4,5]. Преимущества и недостатки классической обработки изображений, основанные на ее эффективности и зависящие от типа данных подробно изложены в работе [6]. Анализ изображений на основе объектов (OBIA) — это современный метод, который в сочетании с данными дистанционного зондирования позволяет точно классифицировать и картировать типы почвенно-растительного покрова. Сегментируя спутниковые изображения на значимые объекты и применяя алгоритмы классификации, OBIA позволяет получить подробное представление о распределении типов лесов и классов почвенно-растительного покрова [7]. В отличие от классических методов классификации, которые основаны на пикселях, OBIA группирует пиксели в представительные векторные формы с учетом их размера, формы, текстуры, спектральных характеристик и географического контекста. Это приводит к улучшению точности карт гео-покрова/землепользования [8].

Интеграция данных дистанционного зондирования и OBIA значительно повышает эффективность и точность картографирования растительного покрова и типов лесов, позволяя ответственным лицам и экологам принимать обоснованные решения по устойчивому управлению земельными ресурсами и их сохранению в Узбекистане. В стране, где сохранение лесов и эффективное управление земельными ресурсами имеют первостепенное значение, такая интеграция представляет собой перспективное решение. Используя эту технологию, можно получить исчерпывающую информацию о распределении различных типов лесов и классов почвенно-растительного покрова в разнообразных ландшафтах Узбекистана, что поможет разработать целевые стратегии по сохранению, устойчивому землепользованию и сохранению окружающей среды. Более того, точные данные дистанционного зондирования и OBIA способствуют принятию решений на основе фактических данных, позволяя ответственным лицам реализовывать меры, соответствующие целям сохранения окружающей среды в стране. Такая интеграция также способствует текущему мониторингу, позволяя своевременно выявлять изменения в почвенно-растительном покрове и типах лесов, тем самым

расширяя возможности для упреждающего вмешательства и снижения потенциальных экологических рисков. По мере развития технологий дистанционного зондирования и ОБИА их применение для картографирования земель в Узбекистане открывает перспективы для развития экологически устойчивой практики и сохранения природных ресурсов страны для будущих поколений. Целью данного исследования является для точного картирования растительного покрова и типов леса с использованием этих методов на примере территории Дехканабадского лесхоза в Узбекистане.

### *Методы и материалы*

Изображения дистанционного зондирования на протяжении десятилетий были важнейшим источником данных для инвентаризации и картирования лесов во многих развитых странах. Автоматизированная обработка может привести к существенной экономии средств в условиях все более цифровой интерпретации данных [9]. Автоматизированным процедурам, основанным исключительно на анализе отдельных пикселей, часто не хватает точности, поскольку они игнорируют пространственное распределение или текстуру. Для автоматизированной классификации ландшафтных структур необходимо определить спектральные, текстурные и геометрические признаки классов земного покрова. Перекрытие спектральных кривых может затруднить дифференциацию этих классов. Однако при наличии уверенного подхода и правильного опыта эту проблему можно преодолеть.

Создание осмысленных объектов предполагает поиск изменений в неоднородности или однородности объекта изображения. Было разработано несколько методов сегментации, таких как [1, 10]. Общие подходы используют алгоритмы определения порога или увеличения области, а также различные типы алгоритмов сегментации текстур. Кроме того, в операционных приложениях используются подходы, основанные на знаниях. Баатц и Шепе [1] предложили алгоритм сегментации с несколькими разрешениями, который был впервые представлен в коммерческом программном обеспечении объектно-ориентированного анализа изображений eCognition [11, 12]. Эта процедура объектной классификации учитывает спектральные и текстурные свойства объектов, а также их размер и поведение на разных уровнях шкалы. Алгоритм строит объекты изображений поэтапно с целью минимизировать их взвешенную неоднородность. Современные подходы основаны на создании исходных примитивов объектов и их пошаговом восстановлении с использованием контролируемых процессов, специфичных для региона, на нескольких уровнях.

Классификация на основе контролируемых объектов основана на спектральной информации изображений Sentinel-2, Compsat 3, высоте из цифровой модели местности (DTM), полученной на основе данных ALOS PalSAR, и вспомогательных данных ГИС.

Достаточным источником для определения границ лесов в автоматизированном режиме могут служить спутниковые снимки высокого пространственного разрешения с четырьмя диапазонами в ближней инфракрасной электромаг-

нитной области и еще двумя в коротковолновых инфракрасных диапазонах. Были обработаны несколько сцен Sentinel-2 лета 2018-2020 годов, охватывающих территорию Дехканабадского лесхоза.

Классификация изображений спутниковых данных основана на спектральной информации из 10 спектральных диапазонов (10-метровые и 20-метровые изображения Sentinel-2) и 3 спектральных диапазонов (3-метровые изображения Compsat 3) с использованием информации визуально оцененных Collect Earth точек, в качестве данных для обучения и проверки (Рис. 1) [13, 14].

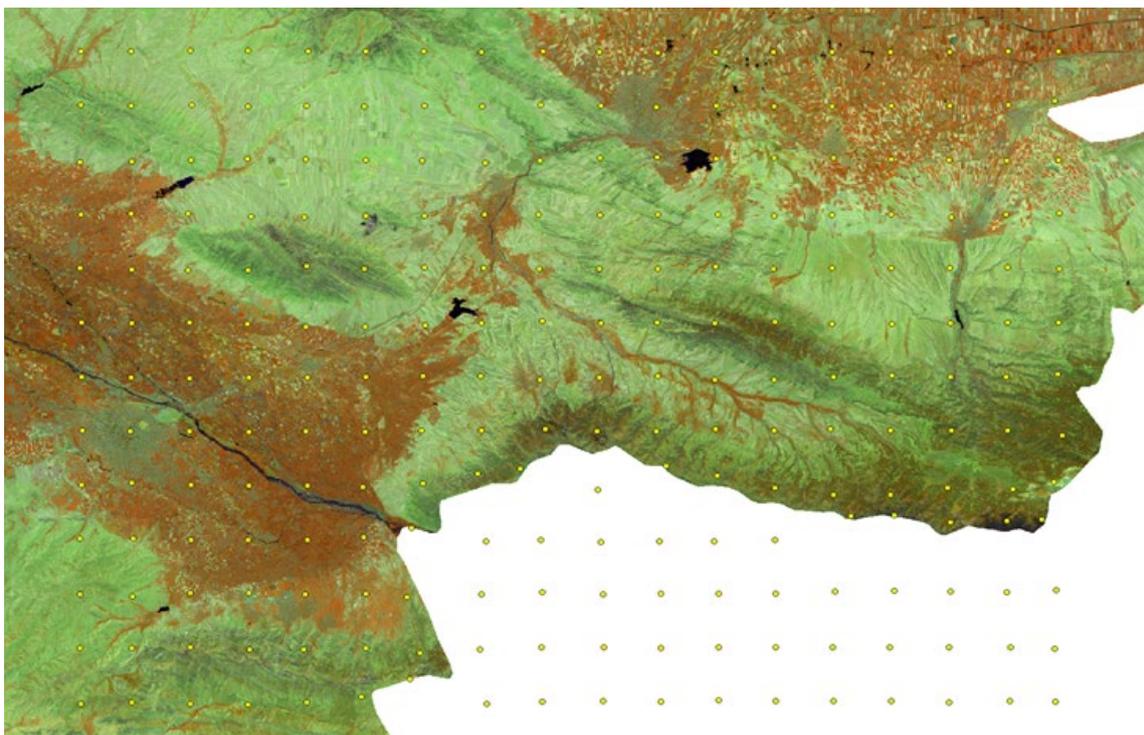


Рис. 1. Сгенерированная сетка выборки размером 8,5 на 8,5 км для точек CollectEarth

Предварительное визуальное дистанционное зондирование направлено на сбор опорной (наземной) информации о классах растительного покрова, присутствующих в соответствии с определениями ОЛР ФАО и МГЭИК. Это выполняется вручную на сгенерированной сетке выборочных площадей Национальной инвентаризации лесов с использованием приложения Collect Earth, разработанного ФАО (инициатива Open FORIS). Качество съемки Collect Earth и последовательность в интерпретации пробных площадей являются обязательным условием для автоматизированного производства спутниковых карт лесов на территории Узбекистана. Визуальная интерпретация класса LULC, присутствующего на существующих точках, выполняется на основе снимков очень высокого разрешения из сервиса Google, BING maps WMS.

Классификация землепользования/почвенно-растительного покрова точки будет соответствовать определению классов землепользования/покрытия земель

(LULC) с классификацией Межправительственной группы экспертов по изменению климата [15]:

1. Лес (Forest) - земли, покрытые лесом.
2. Обрабатываемые земли (Cropland) - земли, которые регулярно обрабатываются (распахиваются) с целью выращивания сельскохозяйственных культур.
3. Пастбища - участки земли, покрытые многолетними травами или злаками. Пастбища и постоянные пастбища включают как ухоженные, так и неухоженные участки.
4. Водно-болотные угодья - земли, покрытые или насыщенные водой полностью или частично в течение года.
5. Населенный пункт - земля, являющаяся частью городской или сельской жилой инфраструктуры.
6. Прочие земли - земли, не включенные в другие категории.

Для объектно-ориентированный анализа изображений (OBIA) с использованием Trimble eCognition в качестве обучающих наборов данных использованы точки выборки, созданные с помощью визуальной интерпретации (ground truth). Экспертные знания (интерпретация) с проверкой значений признаков здесь не требуются. Нам необходимо выбрать набор признаков, которые будут служить спектральными сигнатурами для каждого класса. Для классификатора Random Forest может быть выбрано множество признаков.

Для классификации спутниковых изображений в первую очередь в нашей методологии мы соберем статистику признаков для объектов изображения, классифицированных как выборки, в соответствии с набором обучающих данных точек обучения. Для этого мы используем алгоритм назначения класса по тематическому слою. Следующий алгоритм обновления выборочной статистики классификатора позволяет нам выбрать набор признаков и использовать его в качестве внутренней выборочной статистики для классификатора. Сбор статистики из множества выборочных объектов позволит создать большой набор данных для оценки сигнатур классов и функций выбора, которые соответствуют сильным предикторам [16].

Основываясь на многолетнем опыте тематического картирования лесного хозяйства с использованием данных дистанционного зондирования очень высокого разрешения, в качестве подхода к классификации изображений был выбран объектно-ориентированный анализ изображений (OBIA). Классификация объектов состоит из двух основных этапов:

- 1) Сегментация изображения на значимые объекты
- 2) Классификация объектов изображения по их спектральным, пространственным и контекстным свойствам.

Программа позволяет создавать набор правил из отдельных процессов (алгоритмов), которые могут выполняться в конкретной области объекта изображения. Результирующий набор правил представляет собой последовательность отдельных процессов, обеспечивающих решение определенной проблемы анализа изображений в заранее определенном порядке.

## Результаты

Тематические карты, полученные на основе изображений дистанционного зондирования, должны обеспечивать меры тематической точности классификации. Широко используются такие показатели, как общая точность и погрешность, ошибки упущения/совершения, точность пользователя, точность производителя, статистика точности (например, Каппа). Они рассчитываются на основе матрицы корреляции (ошибок), в которой оценивается соответствие между классами на карте и точками проверки (Рис. 2).

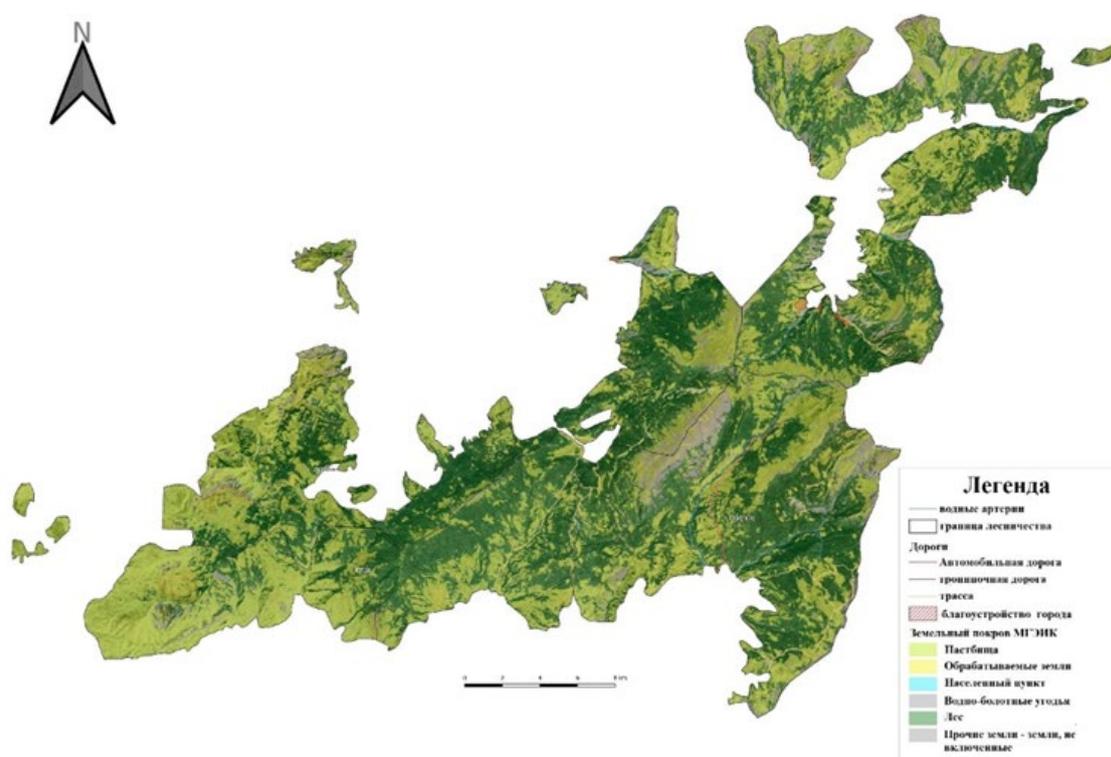


Рис. 2. Карта классов почвенного и растительного покрова Дехканабадского лесхоза

## Заключение

Исследование демонстрирует эффективность ОБИА для картографирования растительного покрова, достигая высокой точности для различных классов, включая пастбища (91%), пахотные земли (89%), леса (80%) и населенные пункты (53%). Полученные в результате тематические карты предоставляют ценную информацию для устойчивого управления земельными ресурсами, охраны лесов и экологического планирования в Узбекистане. Подход ОБИА оказался особенно полезным для точного определения типов растительного покрова в разнообразном ландшафте Узбекистана. Подробные тематические карты, созданные с помощью

этого метода, предлагают важную информацию для политиков, исследователей и заинтересованных сторон, участвующих в планировании землепользования и усилиях по сохранению во всем регионе. Высокая точность классификации, достигнутая для ключевых классов земельного покрова, подчеркивает потенциал ОБИА как ценного инструмента для поддержки практик устойчивого развития и процессов принятия обоснованных решений в Узбекистане.

Таблица 1

Матрица неточностей для классификации земного покрова МГЭИК и Точек CollectEarth

Класс МГЭИК	Обрабатываемые земли	Лес	Пастбища	Населенный пункт	Прочие земли	Водно-болотные угодья	Погрешность класса классификации
Обрабатываемые земли	448	0	50	3	2	1	0.111
Лес	2	514	120	5	0	0	0.198
Пастбища	33	74	1372	31	1	0	0.091
Прочие земли	21	27	313	133	1	0	0.731
Населенный пункт	28	1	26	2	64	0	0.471
Водно-болотные угодья	4	1	7	2	1	0	1.000

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баатц М., Шепе А. Сегментация с несколькими разрешениями — подход к оптимизации высококачественной многомасштабной сегментации изображений. // *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII. Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg – 2000*, Зальцбург.
2. SUHET, Руководство пользователя Sentinel-2. ЕКА – 2015, ЕКА
3. Khatami R., Mountrakis G., Stehman S.V. A meta-analysis of remote sensing research on supervised pixel-based land cover image classification processes: general guidelines for practitioners and future research. *Remote Sens. Environ.*, Vol. 177, 2016, pp. 89-100
4. Pettorelli N. The normalized difference vegetation index. 1<sup>st</sup> Edition, Kindle Edition. OUP Oxford. 2013, 224 p.
5. Hay G.J., Castilla G. Geographic object-based image analysis (GEOBIA): a new name for a new discipline. In: (Blaschke T., Lang S., Hay G.J. eds.) *Object-based image analysis: spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications*. Springer. Berlin, Germany, 2008, pp. 75-89.
6. Hay G.J., Castilla G. Object-based image analysis, strengths, weaknesses, opportunities, and threats (SWOTs). From OBIA 2006 International Archives of Photogrammetry, Remote sensing, and Spatial Information Science, 2006.
7. ФАО. Глобальная оценка лесных ресурсов. ФАО. Рим. 2015

8. Rasouli A.A., Mammadov R., Pishnamaz M., Hushmand A., Safarov E. Assessment of forest cover changes by applying object-oriented procedures inside the Qarabağ Occupied Region. Eurasian GIS 2018 Congress 04-07 September 2018 – Baku, Azerbaijan. Published by Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti Baku/Azerbaijan. 2018b, p. 74.

9. Хэй, Дж., Г., Кастилья, М. А. Вулдер и Руис. Автоматизированный объектно-ориентированный подход для многомасштабной сегментации изображений лесных сцен. // Международный журнал прикладного наблюдения Земли и геоинформации – 2005. - №.7, стр. 339–359.

10. Харалик, Р.М. и Шапиро, Л.Г. Техника сегментации изображений. // Графика компьютерного зрения и обработка изображений - 1985., 29, 100–132. doi:10.1016/S0734-189X(85)90153-7

11. Документация Trimble, Руководство пользователя eCognition Developer 9.5 - 2020, Тримбл, Мюнхен Германия

12. НАСА, Справочник пользователя научных данных Landsat 7 - 2013.

13. Райхерд С., Вудкок С.Е. Объединение спектральных и текстурных данных при сегментации изображений, полученных с помощью дистанционного зондирования. // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing- 1996, 62(2):181-194.

14. Шиве, Дж. Сегментация данных дистанционного зондирования высокого разрешения – концепции, приложения и проблемы. // Симпозиум по геопространственной теории - 2012, Оттава.

15. МГЭИК, Изменение климата и земля: специальный доклад МГЭИК об изменении климата, опустынивании, деградации земель, устойчивом управлении земельными ресурсами, продовольственной безопасности и потоках парниковых газов в наземных экосистемах. // МГЭИК -2019

16. Уиллхок Г., Шнайдер Т., Де Кок Р. и Аммер У. Сравнение методов объектно-ориентированной классификации и стандартного анализа изображений для использования обнаружения изменений между многоспектральными спутниковыми изображениями SPOT и аэрофотоснимками. // Материалы XIX Конгресса ISPRS - 2019, Амстердам.

© С. М. Муратов, Д. Ш. Фазилова, 2024