

Д.К. Мозговой, В.В. Гнатушенко

## АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА СПУТНИКОВЫХ СНИМКАХ СУБМЕТРОВОГО РАЗРЕШЕНИЯ

*Анотація. У роботі запропонований метод автоматизованого виявлення антропогенних змін рослинності на території населених пунктів. Для виділення рослинності застосовуються нормалізовані різниці індекси, розраховані для спектральних каналів видимого і інфрачервоного діапазонів. В результаті обробки різночасових супутникових знімків надвисокого просторового розрізнення отримані растрові та векторні шари рослинності, за якими були виявлені її антропогенні зміни, пов'язані з новою міською забудовою і прокладкою нових доріг. За результатами проведених експериментальних досліджень підтверджено високу ефективність запропонованого методу, в т.ч. високу достовірність і стійкість отриманих результатів.*

*Ключові слова: супутниковий моніторинг, рослинність, вегетація, антропогенні зміни, різночасові знімки, обробка зображень, спектральні індекси.*

### Постановка проблемы

Для регулярного обновления данных о состоянии и изменении зеленых насаждений на территории городов традиционно использовались данные наземных измерений и аэрофотоснимки. При этом периодичность обновления данных была чрезвычайно низкой (обычно один раз в несколько лет), что было обусловлено высокой трудоемкостью сбора информации и последующей ручной обработки полученных данных. Использование спутниковых снимков для решения таких задач было ограничено различными техническими, организационными и экономическими причинами. Свободно распространяемые данные ДЗЗ со спутников низкого (Terra, Aqua, Suomi NPP, Sentinel-3) и среднего (Landsat-7, Landsat-8, Sentinel-1A/B, Sentinel-2A/B) пространственного разрешения используются, в основном, для оценки существенных изменений растительности и водоемов, возникших в

результате масштабных природных или антропогенных явлений [1-4]. Для решения широкого спектра муниципальных задач, связанных с небольшими локальными изменениями растительности, такие снимки малопригодны ввиду недостаточной детализации на них отдельных растительных объектов.

#### **Анализ последних исследований**

Благодаря значительному прогрессу в области разработки оптико-электронных спутниковых сканеров субметрового пространственного разрешения с одной стороны, и стремительному развитию современных информационных технологий, а также созданию новых высокоэффективных методов и программ обработки данных ДЗЗ с другой стороны, ситуация в сфере прикладного использования детальных спутниковых снимков изменилась в лучшую сторону [3–5]. В частности, в последние годы для оперативной оценки динамики антропогенных изменений различных классов объектов (застройка, дороги, растительность, водоемы и др.) на территории городов все шире используются многоспектральные спутниковые снимки сверхвысокого пространственного разрешения [3, 6].

#### **Формулирование целей статьи**

Основной задачей исследований является разработка и тестирование методики автоматизированной обработки мультиспектральных спутниковых снимков субметрового пространственного разрешения видимого и ИК-диапазонов с целью обнаружения антропогенных изменений вегетирующей растительности на территории населенных пунктов.

#### **Основная часть**

**Исходные данные для исследований.** В качестве тестового участка для отработки методов автоматизированной обработки мультиспектральных спутниковых снимков субметрового пространственного разрешения видимого и ИК-диапазонов была выбрана территория города Хилдсбург, расположенного в штате Калифорния (США). Выбор этого региона был обусловлен следующими причинами:

- во-первых, в различных регионах данного штата наблюдается достаточно высокая динамика развития городской инфраструктуры, в том числе изменения застройки, в особенности жилья и коммерческих объектов;

- во-вторых, Калифорния является одним из самых засушливых штатов США, и задача охраны и сохранения зеленых насаждений здесь крайне актуальна.

В качестве мультиспектральных данных для анализа были выбраны разновременные снимки видимого и ближнего ИК-диапазонов со спутника Pleiades-1A за 31 мая 2012 г. и 18 июня 2014 г. (рис. 1). В качестве цифровой модели рельефа (DEM), используемой для орто-ректификации исходных спутниковых снимков, была выбрана (из доступных бесплатных DEM) наиболее детальная для данной территории модель US NED, имеющая пространственное разрешение 10м (рис. 2).

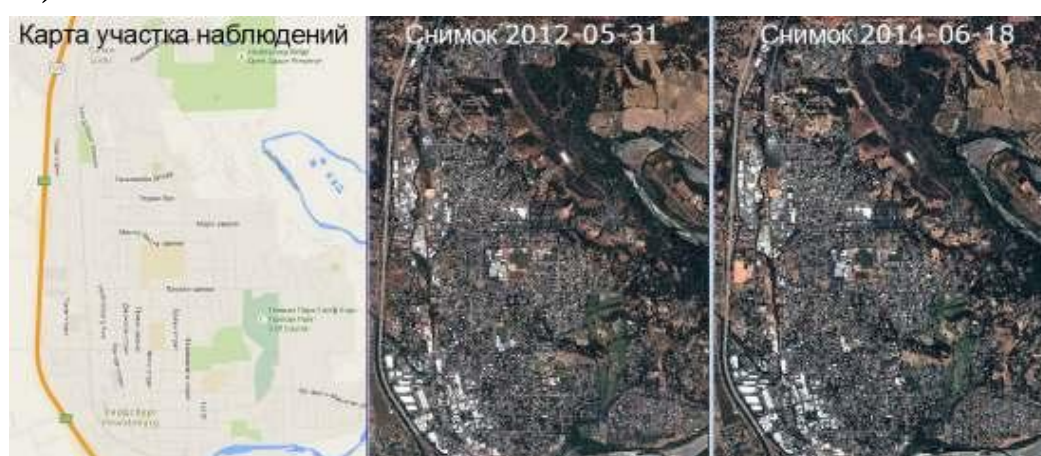


Рисунок 1 - Территория съемки и исходные спутниковые снимки

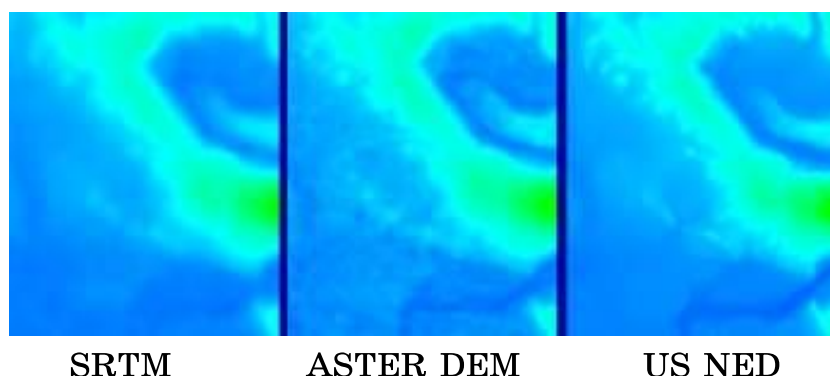


Рисунок 2 - Цифровые модели рельефа на территорию съемки

**Этапы и процедуры обработки снимков.** Процедуры обработки исходных спутниковых снимков, необходимые для обнаружения изменений растительности, были разбиты на три этапа:

- предварительную обработку (нормализацию) разновременных спутниковых снимков, одинаковую для старого и нового снимка, включающую орторектификацию, повышение пространственного разрешения и автоматическую корреляционную привязку снимка к эталону (рис. 3);

- тематическую обработку нормализованных спутниковых снимков, включающую обрезку сцены по области интереса, фильтрацию малоразмерных объектов, расчет нормализованных разностных вегетационных индексов (NDVI) для старого и нового снимка, двухпороговую бинаризацию, морфологическую и объектную фильтрацию, а также векторизацию распознанных изменений (рис.4);

- оценку устойчивости и повторяемости предложенного метода на различных тестовых участках, а также определение количественных характеристик точности автоматизированного распознавания растительных объектов.

При этом процедуры предварительной обработки спутниковых снимков выполнялись полностью в автоматическом режиме (без участия оператора), а процедуры тематической обработки - в автоматизированном режиме с минимумом ручных настроек.

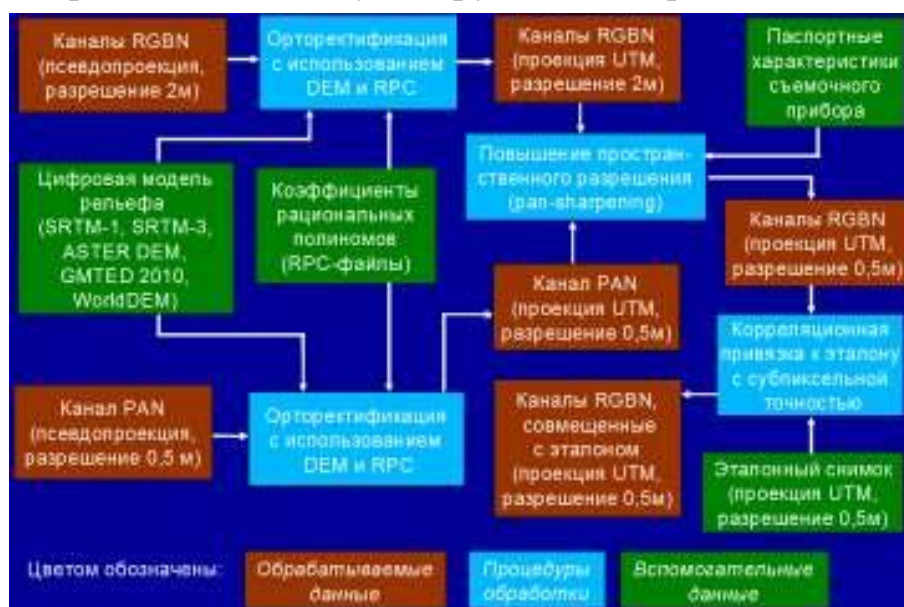


Рисунок 3 - Основные этапы предварительной обработки спутниковых снимков

### Требования к программному и аппаратному обеспечению.

Размеры файлов мультиспектральных снимков сверхвысокого пространственного разрешения, как правило, достаточно большие (например, одна сцена, снятая в видимом и ИК диапазоне, может

занимать несколько гигабайт). Поэтому для оперативной обработки снимков со спутника Pleiades-1A в реальном времени необходимо использовать современные компьютеры с многоядерными процессорами класса Intel I-7 или выше и объемом оперативной памяти не менее 64 Гбайт.



Рисунок 4 - Основные этапы тематической обработки спутниковых снимков

Программное обеспечение может быть как платным (ERDAS, ENVI, ArcGIS и т.п.), так и свободным (SNAP, SAGA, GRAAS, QGIS и т.п.), работающим как в среде MS Windows, так и в среде Linux. Для обеспечения большей степени автоматизации процедур обработки возможно использование соответствующих инструментов (например, инструмент *Imagine Model Maker* в пакете ERDAS, инструмент *Graph Builder* в пакете SNAP) или языков программирования и специализированных утилит (например, IDL в пакете ENVI, Python + GDAL в системе QGIS).

**Результаты обработки снимков.** После нормализации исходных данных ДЗЗ со спутника Pleiades-1A были получены орторектифицированные мультиспектральные снимки видимого и ближнего ИК диапазонов с пространственным разрешением исходного панхроматического канала (рис. 5). В ходе выполнения тематической обработки нормализованных спутниковых снимков были рассчитаны значения нормализованных разностных индексов снимков за 31 мая 2012 г. и 18 июня 2014 г., а также бинарные растровые слои распознанной вегетирующей растительности на старом и но-

вом снимках (рис. 6). Затем было получено разностное бинарное изображение, представляющее растровую маску обнаруженных изменений. После выполнения морфологической фильтрации и векторизации был получен векторный слой распознанных изменений растительности, а также рассчитаны площади измененных участков. При этом на различных тестовых участках территории съемки (рис. 7) подтверждена высокая устойчивость предложенного метода даже без использования дополнительных масок теней.



Рисунок 5 - Фрагменты нормализованных снимков видимого диапазона (вверху) и ближнего ИК диапазона (внизу) за 31.05.2012 г. и 18.06.2014 г.

**Оценка точности выделения растительности.** Наиболее широко используемыми методами определения точности классификации спутниковых снимков являются следующие:

- сопоставление результатов классификации данных ДЗЗ с результатами синхронных наземных наблюдений и измерений, выполненных непосредственно во время спутниковой съемки (или с небольшим временным интервалом);

- сравнение с результатами автоматической классификации этих же данных, полученных с помощью сертифицированных про-

граммных пакетов по обработке спутниковых снимков (однако при этом сложно или невозможно оценить точность самого эталона);

- сравнение с результатами ручной классификации, проведенными операторами и оцененными экспертной группой (этот метод используется для сравнительно небольших объемов данных или для ограниченного набора тестовых областей, которые должны быть равномерно распределены на исследуемой территории).

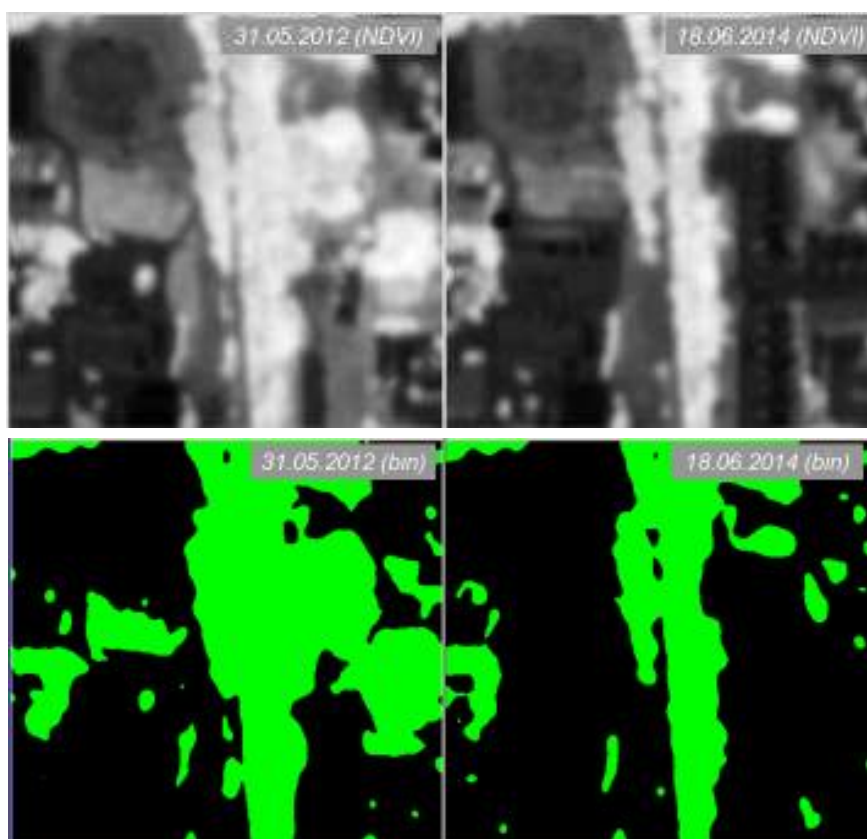


Рисунок 6 - Фрагменты изображений NDVI (вверху) и бинарные классы растительности (внизу) за 31.05.2012 г. и 18.06.2014 г.



Рисунок 7 - Векторный слой обнаруженных изменений, наложенный на исходные снимки (каналы RGB) за 31.05.2012 г. и 18.06.2014 г.

Ввиду отсутствия данных наземных измерений по исследуемой территории, в данной работе для оценки точности классификации использован последний из перечисленных выше методов: сравнение результатов автоматической классификации с результатами ручной классификации растительных объектов, которая была выполнена для отдельных фрагментов RGB-изображения в интерактивном режиме в программной среде QGIS. Экспертная оценка точности полученного таким образом эталона в среднем составила около 5%, что для проводимых исследований было достаточно.

**Метрики точности классификации.** При обработке спутниковых снимков для количественной оценки точности автоматической классификации чаще всего используются следующие метрики [7]:

- матрица ошибок классификации для одного класса, позволяющая определить количество нераспознанных пикселей класса, количество ложно распознанных пикселей класса, а также общую точность результата классификации;

- матрица соответствий для нескольких классов (она вычисляется практически во всех программных пакетах по обработке данных ДЗЗ).

- статистические показатели (например, коэффициент Каппа, вычисляемый по матрице соответствий).

В данном случае в качестве основных количественных показателей точности классификации были выбраны матрица соответствий для двух классов (вода и растительность) и коэффициент Каппа.

Анализ результатов обработки снимков показал достаточно высокую точность выделения границ распознанных растительных объектов и хорошую делимость класса растительности на различных тестовых участках при одних и тех же настройках порогов бинаризации. При этом точность автоматической классификации (без учета погрешностей эталона) для различных тестовых участков была в пределах 80....91%, а значения коэффициента Каппа были в пределах от 0.65 до 0.81.

Основные преимущества предложенной методики заключаются, во-первых, в достаточно хорошей устойчивости и повторяемости, а, во-вторых, в простоте и возможности высокой степени автоматизации. Это позволяет реализовать ее в виде геоинформационного веб-



сервиса, что дает дополнительные существенные организационные, технические и экономические преимущества, такие, как:

- возможность работы непосредственно в браузере, что не требует дополнительного программного обеспечения, устанавливаемого у клиента;

- программная и аппаратная независимость, что позволяет использовать данный вебсервис на мобильных устройствах;

- возможность сохранения результатов обработки снимков на сервере, что позволяет всем клиентам пользоваться вебсервисом независимо от их места нахождения;

- высокая экономическая эффективность (не требуется закупка мощных компьютеров и дорогостоящего программного обеспечения);

- минимальные требования к уровню подготовки пользователей (нет необходимости тратить много времени на изучение больших и сложных программных пакетов).

**Направления дальнейших исследований.** В настоящее время ведется экспериментальная отработка предложенной методики с целью оценки повторяемости результатов при использовании спутниковых снимков, полученных с различных современных оптико-электронных сканеров для различных географических и климатических зон. Это позволит сравнить и выбрать наиболее эффективные алгоритмы обработки снимков, а также определить оптимальные настройки процедур обработки снимков для основных типов современных бортовых сканеров с учетом региона и условий съемки. Кроме того, проводится модернизация данной методики в части использования дополнительных масок теней с целью повышения достоверности распознавания.

### **Выводы**

В ходе проведенных исследований были выполнены разработка и тестирование методики автоматизированного обнаружения антропогенных изменений вегетирующей растительности на территории населенных пунктов по спутниковым снимкам видимого и ИК-диапазонов. Предложенная методика обладает достаточно хорошей устойчивостью и повторяемостью, и может быть использована для работы с данными, полученными практически от всех современных спутников ДЗЗ, имеющих мультиспектральные оптико-электронные сканеры. Благодаря высокой степени автоматизации процессов обра-

ботки спутниковых снимков позволяет минимизировать или исключить ошибки оператора, снизить трудоемкость, т.е. существенно повысить оперативность и достоверность обнаружения изменений.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Beatrice Ambo Fonge, Pascal Tabi Tabot, Mor-Achankap Bakia & Che Clovis Awah (2018): Patterns of land-use change and current vegetation status in peri-urban forest reserves: the case of the Barombi Mbo Forest Reserve, Cameroon, *Geology, Ecology, and Landscapes*, doi: 10.1080/24749508.2018.1508981
2. Hnatushenko V.V. Satellite monitoring of deforestation as a result of mining / V.V. Hnatushenko, D.K. Mozgovoy, V.V. Vasyliiev // *Scientific Bulletin of National Mining University*, 2017. № 5 (161). С. 94-99.
3. Hnatushenko V.V. Satellite Monitoring of Consequences of Illegal Extraction of Amber in Ukraine / V.V. Hnatushenko, D.K. Mozgovoy, V.V. Vasyliiev, O.O. Kavats // *Scientific Bulletin of National Mining University*, 2017. № 2 (158). С. 99-105.
4. Bashir Adamu, Kevin Tansey & Booker Ogutu (2018) Remote sensing for detection and monitoring of vegetation affected by oil spills, *International Journal of Remote Sensing*, 39:11, 3628-3645, doi: 10.1080/01431161.2018.1448483
5. Mozgovoy, D.K., Hnatushenko, V.V., Vasyliiev, V.V. Automated recognition of vegetation and water bodies on the territory of megacities in satellite images of visible and IR bands. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 2018.
6. Мозговой Д.К. Автоматизированное обнаружение изменений городской застройки по мультиспектральным спутниковым снимкам субметрового разрешения // *Системні дослідження та інформаційні технології*, № 2 (2018). – С. 15-21.
7. Dmitriy Mozgovoy, Volodymyr Hnatushenko, Volodymyr Vasyliiev. Accuracy evaluation of automated object recognition using multispectral aerial images and neural network. *Proc. SPIE 10806, Tenth International Conference on Digital Image Processing (ICDIP 2018)*, 108060H (9 August 2018); doi: 10.1117/12.2502905.