

УДК 004.9

Оперативный спутниковый мониторинг растительности и водоемов на территории городов

Д. К. Мозговой

Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара, Днепр, Украина

Предложена методика оперативного мониторинга растительности и водоемов на территории городов по спутниковым снимкам сверхвысокого пространственного разрешения видимого и ИК диапазонов. В процессе обработки мультиспектральных снимков со спутника DubaiSat-2 получены векторные слои распознанных растительных и водных объектов. Анализ результатов автоматизированной обработки спутниковых снимков показал достаточно высокую точность выделения границ распознанных объектов и хорошую разделимость классов. Разработанная методика позволяет существенно повысить оперативность и достоверность обновления карт крупных городов при одновременном снижении финансовых затрат. Благодаря высокой степени автоматизации предложенная методика может быть реализована в виде геоинформационного веб-сервиса, функционирующего в интересах широкого круга пользователей.

Ключевые слова: спутниковый мониторинг, многоспектральные снимки, спектральные индексы, обработка изображений, обновление карт

© Д. К. Мозговой. 2018

Введение

Обеспечение устойчивого развития густонаселенных территорий при чрезвычайно высоком темпе развития городской инфраструктуры невозможно без получения регулярной и достоверной информации о состоянии и динамике изменений всех типов объектов, в том числе растительных и водных [2, 4, 7]. В настоящее время контроль антропогенных изменений растительности и водных объектов больших городов является одной из наиболее важных и актуальных задач экологического мониторинга мегаполисов во всем мире.

Обзор отечественных публикаций по тематике исследований

Задачам автоматического выделения растительности и водоемов по спутниковым снимкам посвящено достаточно много публикаций последних лет, в том числе и в отечественных электронных изданиях, например [2, 4, 7]. Однако в подавляющем большинстве статей в основном описаны примеры с многоспектральными данными низкого и среднего пространственного разрешения, а также с аэросъемкой. Поэтому с целью популяризации и более широкого внедрения в прикладную сферу технологий обработки данных ДЗЗ с современных спутников сверхвысокого разрешения, кроме узкоспециализированных научных статей, нужны также публикации, которые позволяют в первую очередь в наглядной и понятной даже для неспециали-

стов в области ДЗЗ и ГИС форме демонстрировать возможности спутниковой съемки сверхвысокого разрешения при решении различных прикладных задач.

Формулировка проблемы

Для регулярного обновления баз пространственных данных при актуализации карт мегаполисов традиционно использовались данные наземных измерений и аэрофотоснимки. При этом периодичность обновления карт городов была низкой (обычно один раз в несколько лет), что было обусловлено высокой трудоемкостью сбора и обработки данных. В условиях усиливающейся урбанизации задача повышения оперативности и достоверности обновления карт мегаполисов стоит на первом месте.

Возможные пути решения

Интенсивное развитие в последние годы многоспектральных спутниковых сенсоров сверхвысокого пространственного разрешения с одной стороны, и значительный прогресс в области современных информационных технологий обработки спутниковых снимков с другой стороны позволили существенно ускорить процесс сбора и обработки пространственных данных [1, 6, 11].

Цель и задачи исследований

Основной задачей исследований является разработка методики оперативного мониторинга растительности и водоемов на террито-

* E-mail: m-d-k@i.ua

Спутники с мультиспектральными сканерами сверхвысокого разрешения

Спутник	Год запуска	Страна-оператор	Разрешение			Полоса захвата, км	Точность геопривязки, м
			PAN/MS, м	Радиометрич. бит	Кол-во каналов		
Kompsat-2	2006	Корея	1.0/4.0	10	4	15	нд
GeoEye-1	2008	США	0.4/1.6	11	4	15	2..3
WorldView-2	2009	США	0.46/1.84	11	8	16	5
Pleiades-1A	2011	Франция	0.5/2	12	4	20	4.5
Kompsat-3	2012	Корея	0.5/2	14	4	17	13
Pleiades-1B	2012	Франция	0.5/2	12	4	20	4.5
DubaiSat-2	2013	ОАЭ	1.0/4.0	10	4	12	нд
SkySat-1	2013	США	0.8/2.0	11	4	8	нд
KazEOSat-1	2014	Казахстан	1.0/4.0	12	4	10..60	нд
Gaofen-2	2014	Китай	0.8/3.24	10	4	45	50
ASNARO-1	2014	Япония	0.5/2.0	11	6	10	10
WorldView-3	2014	США	0.3/1.2	11/14	8	13	3.5
SkySat-2	2014	США	0.8/2.0	11	4	8	нд
Deimos-2	2015	Канада	1.0/4.0	10	4	12	нд
TripleSat-1.2.3 (DMC-3)	2015	Великобритания	1.0/4.0	10	4	23	нд
Jilin-1A	2015	Китай	0.8/3.2	нд	4	48	нд
Kompsat-3A	2015	Корея	0.4/1.6	14	4	12	13
Cartosat-2C	2016	Индия	0.65/2.0	10	4	10	100
PeruSat-1	2016	Перу	0.7/2.0	12	4	10	нд
SkySat-3..7	2016	США	0.8/2.0	11	4	8	нд
Gokturk-1A	2016	Турция	0.7/2.8	12	4	20	10
SuperView-1A/B	2016	Китай	0.5/2	11	4	12	20
WorldView-4	2016	США	0.3/1.2	11	4	13	3
Cartosat-2D/2E	2017	Индия	0.65/2.0	10	4	10	100
Mohammed-VIA	2017	Марокко	0.7/2.8	12	4	20	нд
SkySat-8..13	2017	США	0.8/2.0	11	4	8	нд
Cartosat-2F	2018	Индия	0.65/2.0	10	4	10	100
SuperView-1C/D	2018	Китай	0.5/2	11	4	12	20

*н. д. — нет данных

рии городов по спутниковым снимкам сверхвысокого пространственного разрешения видимого и ИК диапазонов с целью повышения оперативности и достоверности обновления карт городов.

Исходные данные для исследований

В качестве тестового участка для отработки методологии автоматизированного распознавания растительности и водных объектов была выбрана территория города Дубай (рис. 1), одного из крупнейших и динамично развивающихся мегаполисов Объединённых Арабских Эмиратов. Этот город отличается очень высокими темпами изменений городской инфраструктуры (здания, дороги, парки, пляжи и др.), наличием районов как с высотной, так и с малоэтажной застройкой, а также большим количеством разнообразных промышленных и культурных объектов.

В качестве исходных данных были выбраны снимки сверхвысокого пространственного разрешения снятые спутником DubaiSat-2 22 декабря 2015 года, в видимом (рис. 2) и ИК-диапазонах (рис. 3).

Методология исследований

Суть исследований заключалась в проведении автоматизированного распознавания растительности и водных объектов на территории мегаполисов по спутниковым снимкам сверхвысокого пространственного разрешения видимого и ИК диапазонов и сравнения полученных результатов с результатами визуального дешифрирования [9, 10].

Работы, проведенные в рамках исследований, включали следующие этапы обработки и анализа снимков со спутника DubaiSat-2:

- предварительную обработку спутниковых снимков, включающую орторектификацию и повышение пространственного разрешения (рис. 4);
- тематическую обработку спутниковых снимков, включающую расчет спектральных индексов, бинаризацию, морфологическую фильтрацию и векторизацию распознанных растительных и водных объектов (рис. 5);
- определение точности автоматизированного распознавания растительных и водных объектов.

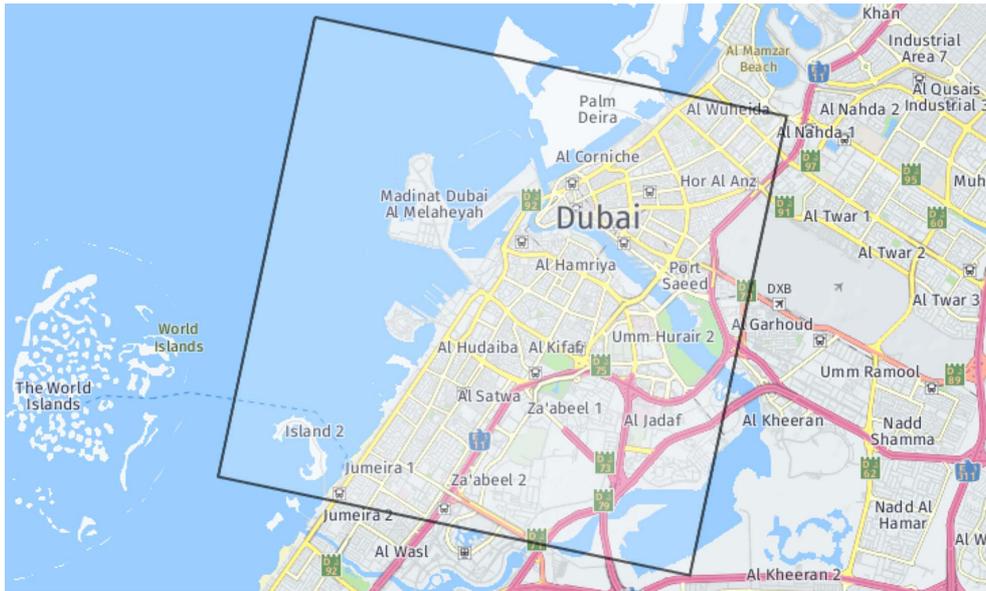


Рис. 1. Территория съемки

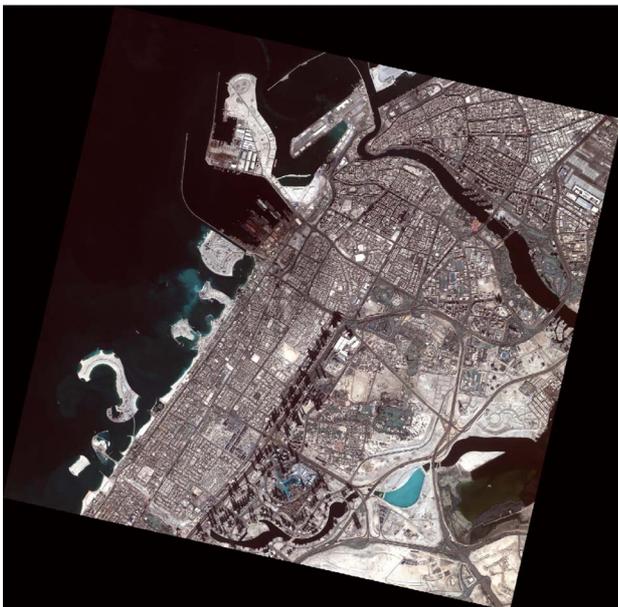


Рис. 2. Исходный снимок (каналы видимого диапазона)

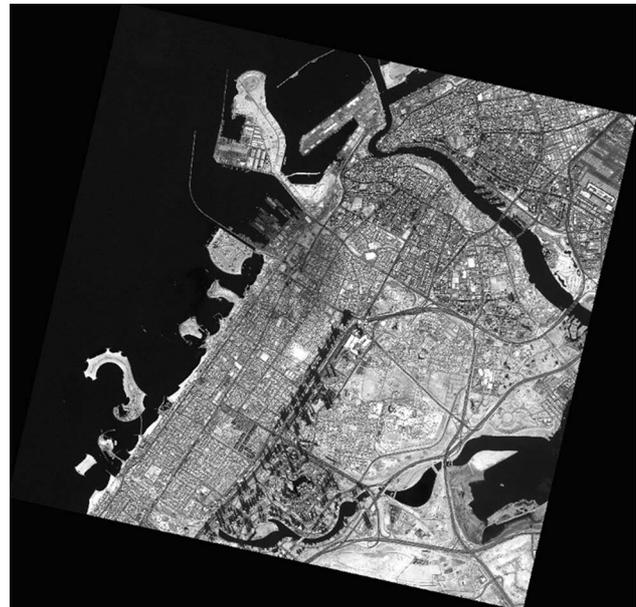


Рис. 3. Исходный снимок (канал ИК диапазона)



Рис. 4. Основные этапы предварительной обработки спутниковых снимков

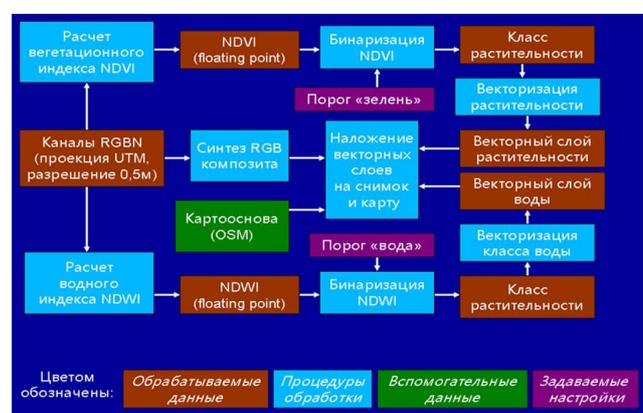


Рис. 5. Основные этапы тематической обработки спутниковых снимков

Оценка точности классификации

Наиболее широко используемыми методами определения точности классификации спутниковых снимков являются следующие [8, 10]:

- 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 программных 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).

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, 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 3...5% для растительных объектов и 2...3% для водных.

Метрики точности классификации

При обработке спутниковых снимков для количественной оценки точности автоматической классификации чаще всего используются следующие метрики [8, 10]:

- 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, хорошо известный и часто используемый 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.

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 Гбайт). Поэтому для оперативной обработки таких снимков в реальном времени желательно использовать современные компьютеры с многоядерными процессорами класса Intel I-7 или выше и объемом оперативной памяти не менее 64 Гбайт. 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, Imagine Model Maker в пакете ERDAS, Graph Builder в пакете SNAP) или языков программирования (например, IDL в пакете ENVI, Python+GDAL в системе QGIS).

Результаты исследований

В ходе обработки исходных многоспектральных снимков со спутника DubaiSat-2 были получены RGB-снимки повышенного разрешения (рис. 6) и индексные изображения NDVI и NDWI (рис. 7).

В результате бинаризации, морфологической фильтрации и векторизации индексных изображений были получены векторные слои распознанных растительных и водных объектов (рис. 8). При этом точность автоматической классификации для различных тестовых участков была в пределах 86...93%, а значения коэффициента Каппа были в пределах от 0.71 до 0.85.

Анализ результатов обработки снимков показал достаточно высокую точность выделения границ распознанных объектов и хорошую разделимость классов растительности и воды на различных тестовых участках при одних и тех же настройках порогов бинаризации. Однако, следует отметить, что на затененных участках все же наблюдалось незначительное ложное выделение воды (см. рис. 8), а также ложное выделение растительности (рис. 9). Последнее, кроме того, может быть связано и с сезонным цветением воды.

Основные преимущества предложенной методики по сравнению с наземными методами измерений и аэрофотосъемкой [8, 10]:

- широкая обзорность (съемка обширных территорий за короткий срок);
- высокая оперативность (выполнение съемки и обработка занимают менее 1 суток);
- минимизация субъективных погрешностей (высокая степень автоматизации процедур обработки);

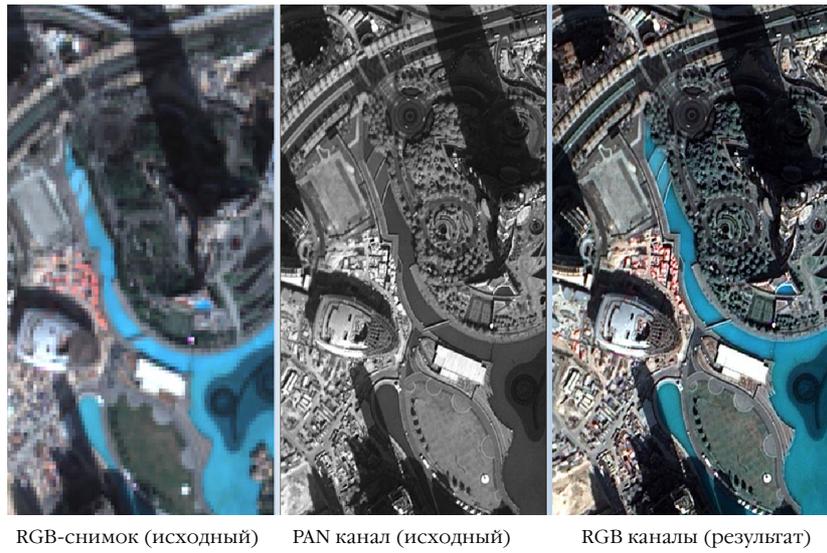


Рис. 6. Фрагменты исходных снимков и результат повышения разрешения

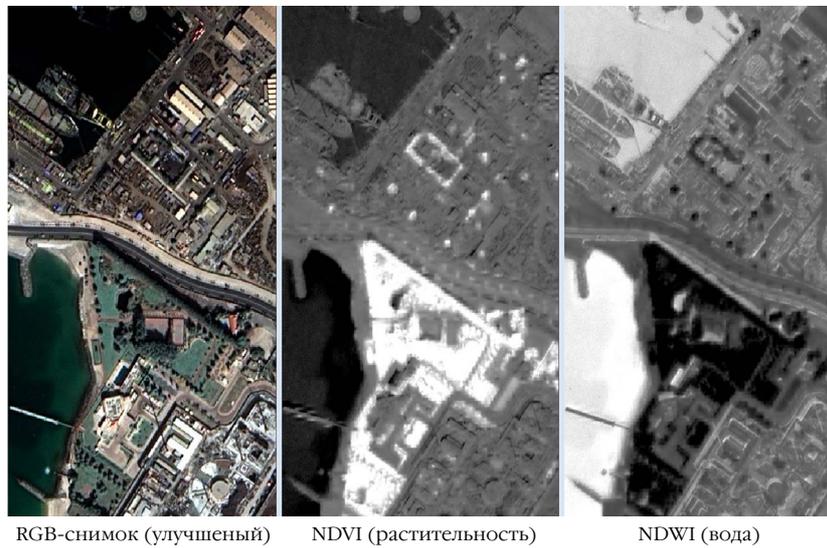


Рис. 7. Фрагменты RGB-снимка и индексных изображений NDVI и NDWI

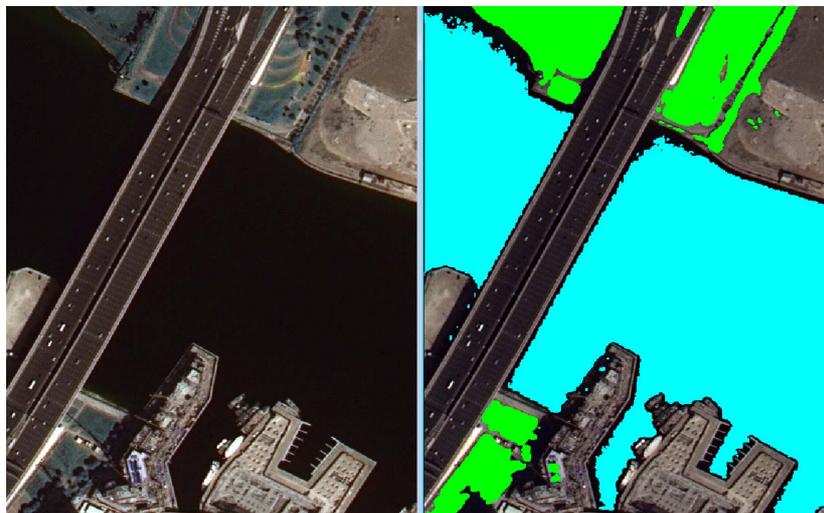
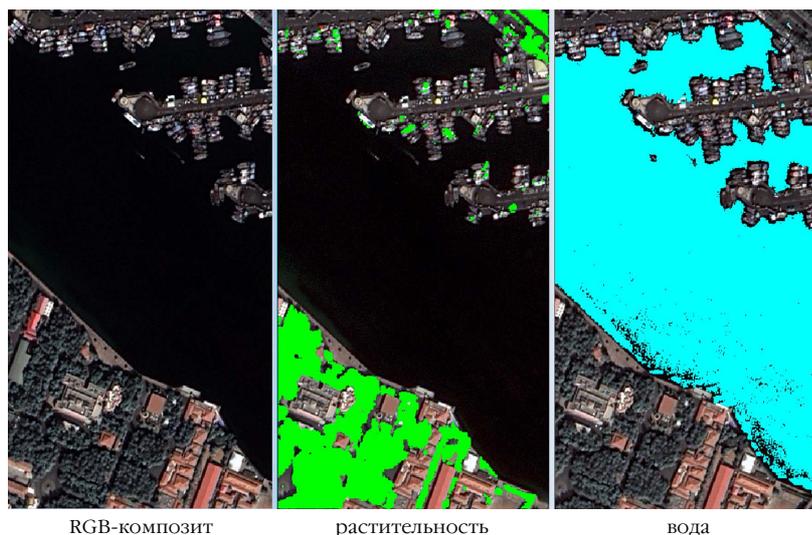


Рис. 8. Пример автоматизированного распознавания растительных и водных объектов



RGB-композит

растительность

вода

Рис. 9. Пример ложного выделения растительности (вверху посредине)

- максимальная достоверность (минимизация ошибок и исключение фальсификации);
- высокая периодичность (возможность осуществлять съемку с периодичностью до нескольких раз в сутки);
- многодисциплинарность (возможность использования одних и тех же снимков для решения широкого перечня прикладных задач в интересах различных потребителей);
- отсутствие необходимости получения юридических разрешений на съемку объектов, что позволяет снимать любые желаемые объекты;
- полная безопасность (можно проводить мониторинг не контактируя при этом с опасным объектом, исключая риски для здоровья и жизни людей);
- максимальная доступность (можно снимать объекты, которые располагаются в труднодоступных местах);
- высокая детальность, достаточная для большинства практических задач (пространственное разрешение до 30 см для коммерческих спутников);
- синхронность получения данных (одновременное наблюдение за большим количеством объектов, расположенных на значительном удалении друг от друга);
- высокая экономическая эффективность (существенное сокращение затрат, особенно при использовании специализированных веб-сервисов).

Область практического применения предложенной методики достаточно обширна, поскольку она позволяет более эффективно и оперативно проводить обновление карт крупных городов, которые в настоящее время повсеместно используются представителями самых различных отраслей:

- государственными структурами (муниципальными

- службами, контролирующими органами, ведомственными организациями и др.);
- коммерческими структурами (туристическими агентствами, торговыми фирмами, транспортными компаниями, частными предпринимателями и др.);
- населением, проживающим на территории мегаполисов (как правило, это самый массовый пользователь картографических веб-сервисов).

Использование в образовательном процессе

Материалы исследований использованы при подготовке лекционных и лабораторных занятий, включенных в состав учебно-методического комплекса «Обработка многоспектральных спутниковых снимков сверхвысокого пространственного разрешения», который преподается студентам старших курсов Днепровского национального университета имени Олеся Гончара в рамках учебной дисциплины «Системы ДЗЗ», а также используется при написании курсовых и дипломных работ. В ходе лабораторных работ студентами ведется экспериментальная отработка и тестирование предложенной методики с использованием многоспектральных снимков различных участков Земли, полученных с действующих спутников ДЗЗ.

Направления дальнейших исследований

В настоящее время ведутся работы по модернизации данной методики с целью последующей ее реализации в виде геоинформационного веб-сервиса [3, 5]. Это даст по сравнению с использованием специализированных программ и мощных компьютеров 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 веб-сервис на мобильных устройствах;
- возможность сохранения результатов обработки снимков на сервере, что позволяет всем клиентам пользоваться веб-сервисом 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).

Также ведется тестирование предложенной методики с использованием многоспектральных снимков различных участков Земли, полученных с различных оптико-электронных спутников сверхвысокого разрешения с целью определения оптимальных параметров обработки для основных типов современных бортовых сканеров с учетом региона и условий съемки. Кроме того, проводится успешное тестирование упрощенной версии данной методики (без процедур предварительной обработки) с использованием многоспектральных аэрофотоснимков видимого и ИК-диапазонов с разрешением 7.5...15 см.

Выводы

Предложена методика оперативного мониторинга растительности и водоемов на территории городов по спутниковым снимкам сверхвысокого пространственного разрешения видимого и ИК диапазонов, позволяющая существенно повысить оперативность и достоверность обновления карт крупных городов при одновременном снижении финансовых затрат. Благодаря высокой степени автоматизации и минимизации необходимых вычислений (по сравнению с методами, использующими сложные классификаторы и нейронные сети) разработанная методика может быть реализована в виде геоинформационного веб-сервиса, функционирующего как в интересах широкого круга государственных служб и коммерческих структур, так и в интересах населения мегаполисов.

Литература

1. Бурштинська Х. В. Дослідження методів класифікації космічних знімків високого розрізнення / Х. В. Бурштинська, Б. В. Поліщук, О. Ю. Ковальчук // Геодезія, картографія та аерофотознімання: зб. наук. пр. — Львів, — 2013, — Вип. 78. — С. 101–110.
2. Використання матеріалів дистанційного зондування землі при вирішенні завдань екологічної геоморфології в міських умовах (на прикладі долини р. Либідь в м. Києві) [Електронний ресурс] / Н. В. Пазинич, Л. П. Ліщенко, А. Г. Мичак, В. Є. Філіпович, О. М. Теремченко // Український журнал дистанційного зондування Землі. — 2015. — № 5. — С. 33–36. — Режим доступу до журналу: <http://www.ujrs.org.ua/ujrs>. — Назва з екрану.
3. Мозговой Д. К. Мониторинг природных и антропогенных процессов с помощью веб-сервиса Landsat Viewer / Д. К. Мозговой, В. В. Васильев // Вісник ДНУ. Ракетно-космічна техніка. — 2016. — Вип. 13, — Т. 24. — № 4. — С. 95–101.
4. Соколовська А. В. Космічний моніторинг екологічного стану міських територій (на прикладі міста Києва) / А. В. Соколовська // Косм. наука технол. — 2013. — № 19(4). — С. 44–49.
5. Станкевич С. А. Геоінформаційний сервіс оброблення даних для оцінювання стану рослинності урбанізованих територій / С. А. Станкевич, І. О. Пестова // Вісник геодезії та картографії. — 2014. — № 3. — С. 23–26.
6. Томченко О. В. Вегетаційні індекси, як інструмент оцінки і моніторингу стану земельних ресурсів / О. В. Томченко, А. В. Хижняк // Новітні технології: зб. наукових праць ПВНЗ “Університет новітніх технологій”. — 2016. — № 1 (1). — С. 13–15.
7. Філіпович В. Є. Особливості космічного моніторингу урбанізованих ландшафтів / В. Є. Філіпович // Фізична географія та геоморфологія. — 2013. — Вип. 3. — С. 143–150.
8. Automatic vegetation classification using multispectral aerial images and neural network [Електронний ресурс]. / V. V. Hnatushenko, D. K. Mozgovoy, I. Ju. Serikov, V. V. Vasyliiev // Системні технології. — Режим доступу: http://st.nmetau.edu.ua/journals/107/7_a_en.66-72.pdf. — Названня з екрану.
9. Mozgovoy D. K. Automated recognition of vegetation and water bodies on the territory of megacities in satellite images of visible and IR bands. ISPRS Ann. Photogramm / D. K. Mozgovoy, V. V. Hnatushenko, V. V. Vasyliiev // Remote Sens. Spatial Inf. Sci. — 2018. — IV-3. — P. 167–172.
10. Mozgovoy D. Accuracy Evaluation of Automated Object Recognition Using Multispectral Aerial Images and Neural Network / D. Mozgovoy, V. Hnatushenko, V. Vasyliiev // International Conference on Digital Image Processing (ICDIP 2018). — Shanghai, East China Normal University, May 11–14, 2018.
11. Satellite Missions Database [Електронний ресурс] / eo Portal Directory. — Режим доступу: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions>. — Названня з екрану.

ОПЕРАТИВНИЙ СУПУТНИКОВИЙ МОНІТОРИНГ РОСЛИННОСТІ ТА ВОДОЙМ НА ТЕРИТОРІЇ МІСТ

Д. К. Мозговой

Запропоновано методику оперативного моніторингу рослинності та водойм на території міст за супутниковими знімками надвисокого просторового розрізнення видимого та інфрачервоного діапазонів. В процесі обробки мультиспектральних знімків зі супутника DubaiSat-2 отримані векторні шари розпізнаних рослинних і водних об'єктів. Аналіз результатів автоматизованої обробки супутникових знімків показав досить високу точність виділення кордонів розпізнаних об'єктів і хорошу роздільність класів. Розроблена методика дозволяє істотно підвищити оперативність і достовірність поновлення карт великих міст при одночасному зниженні фінансових витрат. Завдяки високому ступеню автоматизації запропонована методика може бути реалізована у вигляді геоінформаційного веб-сервісу, який може функціонувати в інтересах широкого кола користувачів.

Ключові слова: супутниковий моніторинг, багатоспектральні знімки, спектральні індекси, обробка зображень, оновлення карт

OPERATIONAL SATELLITE MONITORING VEGETATION AND WATER OBJECTS IN THE TERRITORY OF CITIES

D. K. Mozgovoy

A technique for the operational monitoring of vegetation and water objects in the territory of cities by satellite images of ultra-high spatial resolution of the visible and IR ranges is proposed. In the process of processing multispectral images from the satellite DubaiSat-2, vector layers of recognized vegetation and water objects were obtained. The analysis of the results of the automated processing of satellite images showed a sufficiently high accuracy of distinguishing the boundaries of recognized objects and a good separation of classes. The developed methodology allows to significantly increase the efficiency and reliability of updating maps of large cities while reducing financial costs. Due to the high degree of automation, the proposed methodology can be implemented in the form of a geoinformation web service, functioning in the interests of a wide range of users.

Keywords: satellite monitoring, multispectral images, spectral indices, image processing, map updating