

МОНИТОРИНГ ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ ПО МАТЕРИАЛАМ КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК

Марина Александровна Плотникова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, магистрант, тел. (983)322-52-15, e-mail: Plotnikova-MA2018@sgugit.ru

Елена Павловна Хлебникова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (913)901-94-58, e-mail: e.p.hlebnikova@sgugit.ru

Рассмотрена проблема выявления изменений, происходящих на территории городского пространства в связи со строительством новых объектов, реноваций и реконструкций, с помощью данных дистанционного зондирования Земли из космоса. На практике проанализированы различные алгоритмы автоматизированного выявления изменений по разновременным космическим снимкам в программе ERDAS IMAGINE 2010. Выявлены факторы, которые необходимо учитывать при мониторинге городских территорий.

Ключевые слова: мониторинг городских территорий, разновременные космические снимки, данные дистанционного зондирования, автоматизированное дешифрирование.

MONITORING OF URBAN AREA WITH SATELLITE IMAGERY

Marina A. Plotnikova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Graduate, phone: (983)322-52-15, e-mail: Plotnikova-MA2018@sgugit.ru

Elena P. Khlebnikova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, phone: (913)901-94-58, e-mail: e.p.hlebnikova@sgugit.ru

The problem of identifying changes occurring in the territory of an urban area due to construction of new facilities, renovations and reconstructions using remote sensing of the Earth was considered. Various algorithms for automated detection of changes from different-time satellite images in the ERDAS IMAGINE 2010 program are analyzed in practice. Factors that must be considered when monitoring urban areas are identified.

Key words: monitoring of urban areas, multi-temporal space images, remote sensing data, automated interpretation.

Введение

Инфраструктура российских городов подвержена изменениям под влиянием различных проектов строительства, реноваций и реконструкций. В условиях динамичной трансформации городского пространства, обусловленной тенденцией к росту урбанизации, становится актуальным постоянный мониторинг зе-

мель. На сегодняшний день эффективное решение этой задачи возможно на основе результатов автоматизированного анализа данных дистанционного зондирования Земли из космоса.

Основным элементом мониторинга по космическим снимкам является выявление произошедших изменений по материалам съемок, выполненных на разные даты. На сегодняшний день разработано большое количество методов и алгоритмов автоматизированного обнаружения изменений по разновременным снимкам [1–6].

В статье рассмотрены различные подходы к выделению изменений на снимках на примере объектов в динамике. Для исследований были выбраны следующие объекты: зона строительства ТРЦ «Европейский», территория бывшего молокозавода, которая попала под программу реновации (ЖК «Милкхаус») и Михайловская набережная, преобразившаяся после реконструкции в рамках приоритетного проекта «Формирование комфортной городской среды. Общественные пространства» [7–10].

Для анализа выбранных объектов исследования, а именно определения временных рамок и идентификации произошедших изменений за данный период, был использован Интернет-ресурс Google Earth, в котором размещены спутниковые изображения всей земной поверхности.

Цель проводимых исследований состоит в том, чтобы проанализировать работоспособность алгоритмов обнаружения изменений, а также выявить факторы, которые необходимо учитывать при мониторинге территорий для эффективного и оперативного решения задач по наблюдению за ростом и развитием индустриально-городских систем.

Методы и материалы

В качестве исходных материалов для типичных ситуаций изменения городского пространства были сформированы комплекты изображений.

Для случая крупномасштабного строительства торгово-развлекательного центра «Европейский» были взяты снимки за период с 2006 по 2018 г. Данные космические снимки представлены на рис. 1.



Рис. 1. Этапы строительства ТРЦ «Европейский»:

а) 09.06.2006; б) 08.09.2013; в) 04.09.2018

В случае отслеживания ситуации реноваций, на примере территории бывшего молокозавода, исходными материалами послужили разновременные космические снимки за период с 2014 по 2017 г. На рис. 2 показаны основные этапы реновации данной территории.



Рис. 2. Пример реновации промышленной зоны г. Новосибирска:
а) 06.05.2014; б) 21.04.2015; в) 29.08.2017

Для исследования реконструкции Михайловской набережной, преобразившейся в рамках проекта благоустройства городской территории, были выбраны снимки, полученные с 2016 по 2018 г. На рис. 3 представлены фрагменты благоустройства набережной.

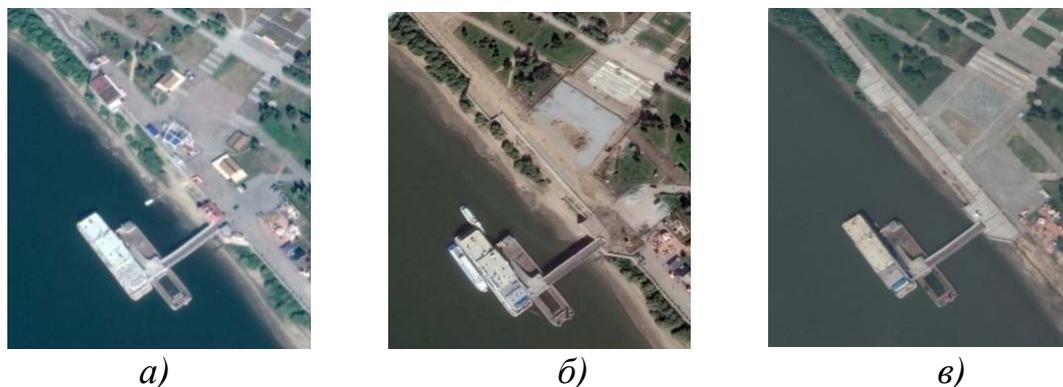


Рис. 3. Фрагменты благоустройства Михайловской набережной:
а) 05.09.2016; б) 29.08.2017; в) 25.07.2018

Предварительно снимки были приведены к единой системе координат. Далее эксперименты предполагали применение различных алгоритмов автоматизированного выявления изменений по разновременным снимкам в программе ERDAS IMAGINE 2010, представленных на рис. 4.



Рис. 4. Алгоритмы выявления изменений по разновременным снимкам

Выявить изменения по разновременным снимкам можно используя различные подходы.

Один из них заключается в отдельной обработке исходных либо преобразованных изображений для их поэлементного сравнения с помощью встроенной опции Change Detection.

Метод дифференцирования разновременных снимков (Image differencing) основан на поэлементном вычитании яркостей исходных изображений. На неизменившихся участках разность значений яркости будет близка к нулю, а на изменившихся – иметь положительные или отрицательные значения (в зависимости от направленности изменений).

Стоит отметить что, так как снимки представлены в виде отдельных спектральных каналов, есть возможность выбора наиболее информативного канала. Таким образом, можно выявить произошедшие изменения либо в одном, представляющем интерес канале, либо в каждом канале, а затем произвести слияние данных одноканальных изображений.

Метод сопоставления снимков после классификации (Post-classification comparison) заключается в поэлементном сравнении разновременных классифицированных изображений. Используются алгоритмы классификации как с обучением, так и без него. Однако возникают серьезные затруднения в сопоставлении результатов классификации, связанные с несовпадением как количества классов, так и их соотношения с объектами. Эти сложности можно преодолеть путем перекодировки полученных растров, тем не менее, данная процедура довольно трудоемка, а результат зависит от множества факторов.

Так же для улучшения визуального восприятия классификации можно воспользоваться функцией генерализации изображений, которая позволяет максимально устранить островные полигоны и мелкие по площади изменения.

Методы, основанные на использовании индексных изображений, также заключаются в поэлементном сравнении, соответственно, после математического преобразования (расчета индекса).

Выявление изменений по разновременным изображениям, преобразованным по методу главных компонент (РСА) базируется на поэлементном вычитании значений яркостей соответствующих пикселей главных компонент.

Однако существует и другой подход, заключающийся в совместной обработке совокупности снимков за разные даты, которые геометрически совмещаются и обрабатываются вместе, подобно многозональному снимку. К нему также относится метод создания композитных и синтезированных изображений. При этом нужно принять во внимание, что одновременный анализ трех и более снимков – задача достаточно сложная и трудоемкая, поэтому, как правило, одновременно обрабатывают два снимка, хотя это и необязательное условие.

Для обработки синтезированных разновременных изображений целесообразно использовать метод главных компонент. При этом анализируются компоненты с меньшей корреляцией, которые в большей мере содержат информацию об изменениях.

Результаты

Рассмотрим результаты обнаружения изменений городской территории. Данные исследования показали работоспособность всех методов. Однако в случае со строительством ТРЦ «Европейский» наилучшие результаты показал метод предварительной классификации с учетом генерализации. В данном случае результат во многом зависел от качества кластерного анализа. На рис. 5 представлен результат использования метода предварительной классификации с учетом генерализации.

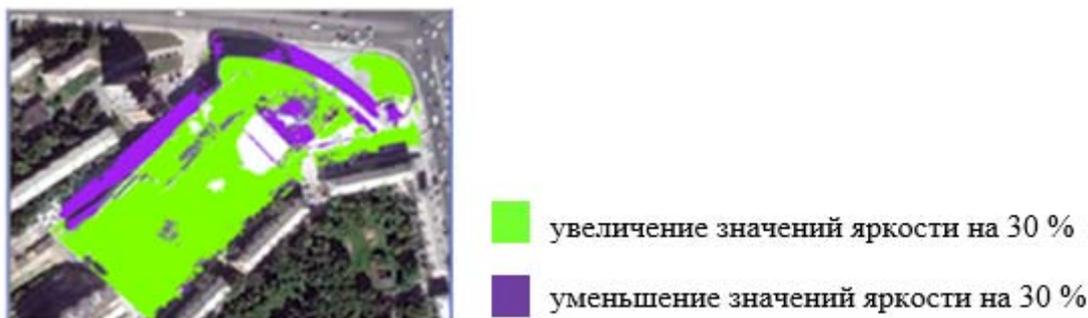


Рис. 5. Результаты использования методов выявления изменений между датами 09.06.2006 и 04.09.2018 методом предварительной классификации с учетом генерализации

При исследовании территории бывшего молокозавода маски, полученные методами дифференцирования и предварительной классификации изображений, не дали удовлетворительных результатов.

Кроме того, необходимо отметить, что сопоставление снимков на крайние даты показывают значительно худшие результаты, чем результаты последовательного анализа различных фаз изменения территории.

В свою очередь, метод главных компонент оказался самым оптимальным в ходе проведенных исследований, что можно наблюдать на рис. 6.



Рис. 6. Результаты выявления изменений между датами 12.07.2014 и 29.08.2017 методом главных компонент

В случае использования композитных изображений целесообразно слияние двух изображений поэтапно («наличие старого объекта – снос», «снос – строительство»), что позволяет проследить динамику изменения объектов. Таким образом, использование композитных изображений, составленных из верного количества снимков, позволяет повысить достоверность выявления изменений на территории реновации.

Рассмотрим результаты выявления изменений реконструкции Михайловской набережной. В данном случае эксперимент предполагал синтез двух разновременных изображений. Затем полученное синтезированное изображение было преобразовано с помощью метода PCA. Соответственно, были получены шесть компонент. Анализ компонент показал, что наиболее информативной с точки зрения отображения изменений оказалась четвертая компонента, что показано на рис. 7.



Рис. 7. Преобразование PCA:

a) снимок 2016 г.; *б)* снимок 2018 г.; *в)* первая компонента; *г)* четвертая компонента

На рис. 8 показан результат синтеза четвертой компоненты с разновременными снимками. На снимке отчетливо выделяются объекты, которые были подвержены изменениям (строительство, снос). Таким образом, использование компонент с меньшей корреляцией является хорошим инструментом для выявления изменений.

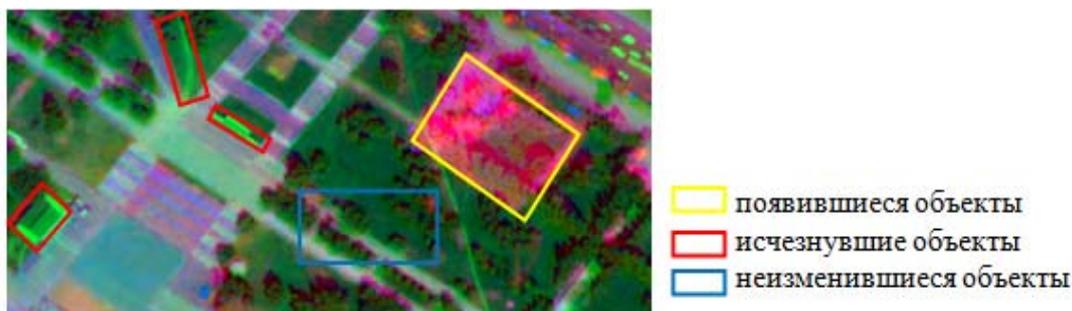


Рис. 8. Результат комбинации снимков

Заключение

Анализ полученных результатов исследований показал, что алгоритмы автоматизированного выявления изменений в условиях городской застройки не всегда дают стабильно высокие результаты. Это объясняется такими факторами, как разные условия съемки, которые выражаются в изменении конфигурации теней на снимках, различные углы наклона снимков и положения точек надира приводят к наличию геометрических искажений, влекущие за собой выявление фиктивных изменений. Стоит отметить, что в ситуации, когда происходит снос старого объекта и возведение нового, необходимо тщательно подбирать даты снимков для получения достоверной картины.

Отдельными факторами, затрудняющими процесс автоматизированного поиска различий, являются движение автотранспорта, озеленение городских территорий (вырубка и посадка деревьев), изменения, произошедшие не с самими зданиями, а с их кровлей, смена дорожного покрытия и разметки, сезонные изменения и т. д.

Перечисленные выше эксперименты проводились на трехканальных изображениях. Можно предположить, что использованные методы показали бы большую эффективность, если бы в качестве исходных данных выступали мультиспектральные снимки.

Таким образом, проведенные исследования выявили множество факторов, которые необходимо учитывать при мониторинге городских территорий.

Основными из них можно назвать:

- наличие комплекта снимков сверхвысокого пространственного разрешения с максимальным совпадением условий съемки;
- выбор алгоритма проведения автоматизированного мониторинга должен осуществляться с учетом всех привходящих факторов;
- наличие дополнительной информации и применение методов учета фиктивных изменений, связанных с несущественными локальными трансформациями объектов.

Очевидно, что высокие темпы изменений объектов застройки городской территории должны сопровождаться комплексным мониторингом данного про-

цесса, который во многом может быть обеспечен современными возможностями оперативного получения данных дистанционного зондирования и методиками реализации многофункциональных алгоритмов определения изменения объектов по их изображениям, что позволит значительно ускорить и оптимизировать процесс обновления картографических материалов различного целевого назначения, как в контурной части, так и в атрибутивной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бровко Е. А., Кандоба И. Н., Корнилов Ф. А., Перевалов Д. С. Оперативный мониторинг структурных изменений изображений объектов на космических снимках земной поверхности // Программные продукты и системы. – 2015. – № 1 (109).
2. Гук А. П., Евстратова Л. Г., Хлебникова Е. П., Алтынцев М. А., Арбузов С. А., Гордиенко А. С., Гук А. А. Разработка методик автоматизированного дешифрирования аэрокосмических снимков. Выявление изменения состояния территорий по многозональным космическим снимкам, полученным на разные даты // Геодезия и картография. – 2013. – № 8. – С. 33–41.
3. Гук А. П., Евстратова Л. Г. Фотограмметрическая обработка многоспектральных аэрокосмических снимков при мониторинге территорий // Геодезия, Картография, Геоинформатика и Кадастры. От идеи до внедрения. II Международная научно-практическая конференция. – СПб. : Политехника, 2017. – С. 136–142.
4. Гордиенко А. С. Применение индексных изображений при выявлении изменений по разновременным космическим снимкам // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 1. – С. 67–70.
5. Солонько Е. В., Хлебникова Е. П. Использование разновременных космических снимков для оценки развития оползневых процессов на территории города Барнаула // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Магистерская научная сессия «Первые шаги в науке» : сб. материалов (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – С. 156–161.
6. Хлебникова Е. П., Абишева М. Т. Особенности обнаружения изменений инженерно-технических сооружений при интерпретации и анализе космических изображений // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 1. – С. 9–14.
7. Благоустройству определили приоритет. ИД «Коммерсантъ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.kommersant.ru/doc/34679531>. – Загл. с экрана.
8. Новосибирск-2030: зачистят весь город. Сетевое издание "НГС. НОВОСТИ" [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://news.ngs.ru/articles/50695241/>. – Загл. с экрана.
9. Открытие ТРЦ «Европейский» в Новосибирске переносится еще на год. Официальный сайт города Новосибирска [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://nsknews.info/materials/otkrytie-trts-evropeyskiy-v-novosibirske-perenositsya-eshchye-nagod/>. – Загл. с экрана.
10. Реновация территории – что это? Сайт компании «РемСтрой» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ap7.ru/blagoustroystvo/renovatsiya-territorii-chtoeto.html>. – Загл. с экрана.

© М. А. Плотникова, Е. П. Хлебникова, 2019