

На правах рукописи

Арбузов Станислав Андреевич



РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ
АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ
ДЛЯ МОНИТОРИНГА ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

25.00.34 – «Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Новосибирск 2011

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия».

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Гук Александр Петрович.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Журкин Игорь Георгиевич;
кандидат технических наук
Кобзева Елена Александровна.

Ведущая организация – ООО «Технология 2000» (г. Екатеринбург).

Защита диссертации состоится 26 января 2012 г. в 14-00 час. на заседании диссертационного совета Д 212.251.02 при ФГБОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия» (СГГА) по адресу: 630108, Новосибирск, 108, ул. Плахотного, д. 10, ауд. 403.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «СГГА».

Автореферат разослан «___» декабря 2011 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета



Середович В. А.

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 23.12.2011. Формат 60 × 84 1/16.

Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ .

Редакционно-издательский отдел СГГА
630108, Новосибирск, 108, Плахотного, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГГА
630108, Новосибирск, 108, Плахотного, 8.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Одной из особенностей развития современной цивилизации является быстрый рост городов, особенно это характерно для крупных региональных центров и мегаполисов, таких как Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск и т. д.

Рост городских территорий требует совершенствования систем управления. Для осуществления эффективного управления современным городом необходимо своевременное получение данных, что обеспечивается ведением мониторинга. Одним из основных требований, предъявляемых к мониторингу, является оперативность получения информации. Наибольшая оперативность городского мониторинга достигается при использовании данных дистанционного зондирования, они позволяют получать актуальную информацию сразу обо всей территории города.

Всё чаще для целей мониторинга и обновления картографических материалов используются космические снимки высокого и сверхвысокого разрешения. Это обусловлено следующим:

- космические снимки сверхвысокого разрешения позволяют получать информацию, соответствующую по точности картографическим материалам вплоть до масштаба 1 : 2 000;

- космические съёмочные системы обладают высокой периодичностью получения данных;

- относительно низкая стоимость и высокие информативные свойства космических снимков высокого и сверхвысокого разрешения, причём наблюдается тенденция к постоянному удешевлению и увеличению пространственного разрешения космических снимков.

По уровню оперативности городской мониторинг можно разделить на оперативный мониторинг чрезвычайных ситуаций и плановый мониторинг.

Чрезвычайные ситуации вызывают разрушение транспортной и телекоммуникационной инфраструктуры, что часто парализует органы управления города. Данные дистанционного зондирования обеспечивают оперативное полу-

чение информации о масштабах явления, что позволяет выполнять планирование своевременных адекватных действий.

При ведении планового мониторинга осуществляется систематическое наблюдение за исследуемой территорией.

Наиболее важным при ведении мониторинга является выявление изменений и анализ причин их возникновения. Самыми распространёнными изменениями городской среды, выявляемыми по данным дистанционного зондирования, являются снос и возведение зданий, изменения площади зелёных насаждений, строительство или расширение дорог и т. д.

В ряде случаев наблюдается незаконное строительство, информация о котором не вносится в планы административных округов и управ. Космические снимки позволяют своевременно выявлять нарушения в существующей застройке, а также контролировать ход выполнения нового строительства. Примером в настоящее время может служить космический мониторинг стройки олимпийских объектов в городе Сочи.

Городская среда характеризуется тем, что включает в себя объекты различной сложности, поэтому для правильной интерпретации данных необходимы хорошо работающие методики, использующие различные алгоритмы.

Из-за близости значений спектральных яркостей различных типов объектов дешифрирование элементов городской застройки является сложной задачей. Поэтому существует необходимость в методиках, использующих, наряду с яркостными признаками, другие, дополнительные признаки, в качестве которых могут выступать структурные особенности объектов и пространственные геометрические характеристики городской среды. В связи с этим возникает задача разработки методик, использующих структурные и пространственные признаки для мониторинга городских территорий.

Степень разработанности проблемы. Решению задач автоматизированного дешифрирования аэро- и космических снимков посвящено большое количество научных работ российских ученых (Журкин И.Г., Гук А.П., Пяткин В.П., Кашкин В.Б. и др.) и зарубежных (Гонсалес Р., Вудс Р., Прэтт У., Дейвис Ш.М.,

Шовенгердт Р.А., Рис У.Г., Чандра А.М. и др.). Большой вклад в мониторинг городских территорий по космическим снимкам внесли Серебряков С.В., Кобзева Е.А., Алябьев А.А. и др. В настоящее время разработано большое количество методик для мониторинга, основанных на визуальном дешифрировании, однако визуальные методы требуют больших трудовых затрат и высокой квалификации исполнителя. Поэтому ведутся активные работы по автоматизации мониторинга, выполняемого по космическим снимкам. Эти методики находятся на первоначальном этапе развития и не всегда обеспечивают приемлемый результат.

В рамках диссертационной работы для решения задач мониторинга городской среды были разработаны и исследованы методики автоматизированного дешифрирования аэро- и космических снимков, основанные на использовании как яркостных, так и пространственных и геометрических особенностей объектов городской среды.

Цель и задачи исследования. Целью диссертации является разработка методики автоматизированного мониторинга городской среды по аэро- и многозональным космическим снимкам высокого и сверхвысокого разрешения на основе комплексных алгоритмов, использующих данные дистанционного зондирования.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

– выполнить анализ особенностей мониторинга городской среды на основе данных дистанционного зондирования и исследовать различные подходы к выявлению изменений на космических снимках;

– разработать методику комплексного автоматизированного дешифрирования космических снимков для оперативного мониторинга городской среды, использующую яркостные, структурные и геометрические признаки;

– разработать комплексную методику дешифрирования и выявления изменений, произошедших на застроенной территории, по аэро- и космическим снимкам с использованием цифровых моделей поверхности.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является технология использования аэро- и многозональных космических снимков высокого разрешения для мониторинга застроенных территорий, а предметом – алгоритмы автоматизированного дешифрирования аэро- и многозональных космических снимков и выявление по ним изменений.

Методологическая, теоретическая и эмпирическая база исследований. В работе использованы методы цифровой обработки изображений, аналитической и цифровой фотограмметрии. Для разработки и исследования методик автоматизированного дешифрирования и выявления изменений использовались космические снимки QuickBird и IKONOS, а также аэроснимки, полученные аэрофотокамерой RC 30 и сканирующей камерой ADS 40. Обработка выполнялась в программных продуктах PhotoMod 4.1, PhotoMod 5, ENVI 4.6.1 и Surfer 8, кроме того, использовались разработанные автором программы, реализованные на языках программирования Delphi 7 и MATLAB.

Основные научные положения диссертации, выносимые на защиту:

– методика выполнения мониторинга городских территорий на основе комплексного дешифрирования аэро- и многозональных космических снимков высокого и сверхвысокого разрешения;

– методика повышения эффективности автоматизированного дешифрирования космических снимков с использованием информации о границах объектов;

– методика выявления изменений по цифровым моделям поверхности и рельефа, полученным по разновременным аэрокосмическим снимкам.

Научная новизна результатов исследования. Научная новизна диссертации заключается в том, что в результате исследований была разработана методика комплексного использования яркостных, пространственных и геометрических признаков для автоматизированного дешифрирования аэро- и космических снимков.

Разработана методика получения и использования цифровых моделей поверхности для определения высот зданий и выявления изменений, произошедших на застроенной территории.

Научная и практическая значимость работы. Практическая ценность работы состоит в том, что разработанную методику комплексного использования яркостных, пространственных и геометрических признаков для дешифрирования аэро- и космических снимков можно применять для определённых классов объектов застроенных территорий (растительность, здания и сооружения с определением этажности, проезжие части улиц и т. д.) в автоматизированном режиме, что позволяет вести оперативный мониторинг.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертация соответствует паспорту научной специальности 25.00.34 – «Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия», разработанному экспертным советом ВАК Минобрнауки РФ, по соответствующим позициям:

№ 4 – «Теория и технология дешифрирования изображений с целью исследования природных ресурсов и картографирования объектов исследований»;

№ 5 – «Теория и технология получения количественных характеристик динамики природных и техногенных процессов с целью их прогноза».

Апробация и реализация результатов исследования. Результаты исследований были доложены и одобрены на конференциях: международной научно-практической конференции «Индустриально-инновационное развитие на современном этапе: состояние и перспективы», 10–11 декабря 2009 г., г. Павлодар; VI Международном научном конгрессе «ГЕО-Сибирь-2010», 19–23 апреля 2010 г., г. Новосибирск; VII Международном научном конгрессе «ГЕО-Сибирь-2011», 27–29 апреля 2011 г., г. Новосибирск.

Основные результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс СГГА и используются при изучении специальных дисциплин студентами специальностей «Аэрофотогеодезия» и «Исследование природных ресурсов аэрокосмическими средствами», а также студентами направления «Геодезия и дистанционное зондирование» профиля «Аэрокосмические съемки, фотограмметрия».

Публикации по теме диссертации. Основное содержание работы опубликовано в 10 статьях, из них 3 статьи – в изданиях, входящих в Перечень рекомендуемых ВАК Минобрнауки РФ.

Структура диссертации. Общий объем диссертации составляет 132 страницы. Диссертация состоит из введения, заключения, трех разделов, включает 1 таблицу, 54 рисунка, 10 приложений и список, содержащий 109 наименований использованных источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первом разделе рассмотрены основные направления ведения городского мониторинга, а также нормативные документы, регулирующие ведение мониторинга. Рассмотрены современные аэро- и космические системы, которые можно применять для городского мониторинга. Приведены спектральные свойства природных объектов, а также описаны основные методики обработки аэрокосмической информации.

Государственный мониторинг земель представляет собой систему наблюдений за состоянием земель. Информация, получаемая в результате ведения мониторинга земель, используется в процессе государственного управления земельными ресурсами и планирования развития городских территорий (планирование будущей застройки, дорожно-транспортной сети, парков и т. д.).

Наиболее полную и наглядную информацию об изменениях при ведении городского мониторинга можно получить, используя данные дистанционного зондирования.

Современные аэро- и космические системы ведут съёмку в нескольких зонах электромагнитного спектра, что позволяет получать спектральные характеристики различных объектов, которые используются при дешифрировании снимков.

Рассмотрены современные методики выявления изменений по разновременным изображениям, такие как Image differencing, Image ratioing, vegetation index differencing, background subtraction, Chi-square и др. Эти методы базируются на выявлении изменений яркости соответствующих пикселей. Ввиду неустойчивости яркостных характеристик объектов эти методы, как правило, ма-

лоэффективны. Наиболее устойчивыми признаками на застроенной территории являются конфигурация границ объектов, структура и рельеф.

Во втором разделе приводятся результаты исследования различных методов выявления изменений на основе композитных изображений и различных дешифровочных признаков. Выполнен анализ эффективности исследованных методов.

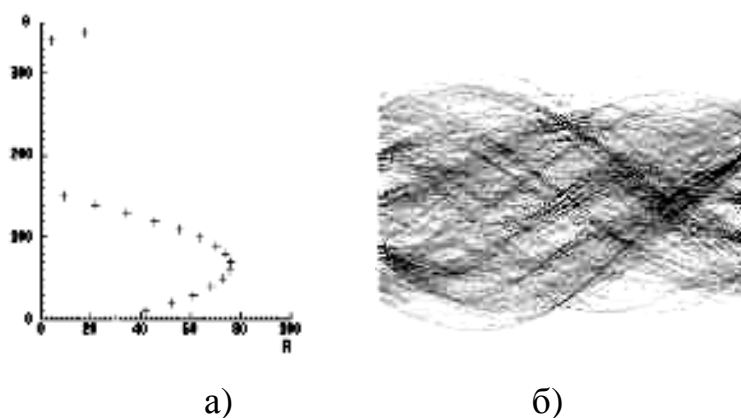
Для выделения границ объектов на изображении используются различные алгоритмы. Одним из наиболее эффективных алгоритмов выделения контуров является фильтр Кенни, основанный на градиентной фильтрации Собеля.

Основной отличительной особенностью контуров объектов архитектуры и дорожной сети является наличие прямолинейных участков.

Для выявления прямолинейных отрезков на изображении был исследован широко применяющийся метод Хафа. Этот метод сводится к обнаружению групп пикселов на изображении, через которые можно провести прямую. Если прямые заданы параметрически, то в пространстве r, θ (пространстве Хафа) множество прямых, проходящих через точку, образуют синусоиду (рисунок 1, а).

$$r(\theta) = x_0 \times \cos \theta + y_0 \times \sin \theta. \quad (1)$$

Точки на изображении, через которые можно провести прямую, в пространстве r, θ образуют общую точку пересечения соответственных синусоид (рисунок 1, б).



а – одна точка; б – множество точек

Рисунок 1 – Образ точек в пространстве r, θ

При выявлении объектов городской среды по яркостным признакам возникает проблема неразделимости классов, вызванная близостью значений яркости различных объектов, строящихся из материалов со схожими спектральными признаками (дороги, крыши домов, автостоянки и т. д.).

Для повышения достоверности автоматизированного дешифрирования городских территорий в представленной работе предлагается использовать при классификации контуры объектов, полученные после градиентной фильтрации. На первом этапе выполняется увеличение пространственного разрешения многоспектрального снимка при помощи процедуры Pansharpening. Затем выполняется удаление растительности с использованием маски, построенной при помощи нормализованного индекса вегетации NDVI. Контуры объектов городской среды выделяются при помощи градиентной фильтрации.

Для внесения информации о контурах в многоканальный снимок изображение контурной части зданий подвергается пороговой обработке, инвертируется и умножается на один из каналов снимка. Далее выполняется классификация многоспектрального снимка с изменными компонентами (добавлена контурная часть). В обучающую выборку, как отдельный класс, включаются контуры, это необходимо для разделения объектов. Классифицированное изображение векторизуется. Затем полученный векторный слой классифицируется по площади.

Блок-схема методики автоматизированной классификации с использованием градиентных фильтров изображена на рисунке 2.

Для мониторинга растительности в пределах городской территории используются индексированные изображения. На изображении, полученном при помощи NDVI, выделяется диапазон значений, соответствующий растительности. Изображение растительного покрова векторизуется и сравнивается с аналогичным векторным изображением, полученным по снимку на другую дату, либо с картой. При сравнении границ растительности с картой необходимо выполнить генерализацию автоматизированно полученного векторного изображения. Для генерализации растительности удобно использовать преобразование Фурье:



Рисунок 2 – Технологическая схема методики автоматизированной классификации с использованием градиентных фильтров

$$a(u) = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} s(k) e^{-i2\pi uk / K}. \quad (2)$$

Для восстановления границы применяется обратное преобразование Фурье:

$$s(k) = \frac{1}{K} \sum_{u=0}^{K-1} a(u) e^{-i2\pi uk / K}. \quad (3)$$

При использовании только P первых коэффициентов будет наблюдаться сглаживание границы и чем меньше P , тем больше деталей границы будет утеряно.

Изменение границ растительного покрова может служить не только показателем освоения территории (постройка домов, дорог, стадионов, создание парков и т. д.), но и индикатором процессов образования оползней и оврагов.

Также были разработаны методики, основанные на использовании цифровых моделей поверхности (ЦМП). Для построения ЦМП и цифровых моделей рельефа (ЦМР) стереофотограмметрическим методом используются цифровые фотограмметрические станции (ЦФС). Для автоматизации процесса создания ЦМР и ЦМП в современных программных продуктах используются различные алгоритмы идентификации соответствующих точек. В работе исследовалось несколько типов таких алгоритмов (SIFT, нейронная сеть и функция взаимной корреляции).

К достоинствам метода SIFT можно отнести инвариантность по отношению к сдвигу, развороту, масштабу и изменению яркости. Главным недостатком алгоритма является большое количество вычислений, что требует значительных затрат ресурсов компьютера.

Также исследовалась разработанная автором методика идентификации соответственных точек при помощи трёхслойной нейронной сети обратного распространения, реализованной на языке программирования Delphi. Основным недостатком предложенного подхода идентификации соответственных точек при помощи нейронной сети является большое количество вычислений, связанное с итеративным процессом обучения.

В современных программных комплексах идентификация соответственных точек на стереопаре выполняется путем вычисления двумерной корреляционной функции. Алгоритм идентификации соответственных точек на основе взаимной корреляции при небольших взаимных углах наклона и поворота работает устойчиво, а из-за небольших объёмов вычислений – достаточно быстро решает задачу идентификации. В результате исследований, для построения ЦМП был выбран метод, основанный на использовании функции взаимной корреляции.

Для выявления объектов путем анализа ЦМР и ЦМП необходимо построить их с заданной точностью и детальностью. Детальность определяется шагом сетки, используемой для построения ЦМП. Шаг сетки для построения ЦМП

выбирается в соответствии с теоремой Котельникова о дискретизации. Таким образом, выбор шага дискретизации ЦМП Δ зависит от размеров объекта, который необходимо выявить на снимках. Для надёжного измерения ЦМП было принято:

$$\Delta_x = \Delta_y = l / 3, \quad (4)$$

где l – размер выявляемого объекта.

При построении цифровых моделей поверхности на крышах зданий после отбраковки могут оставаться грубые измерения (локальные выбросы) по высоте, вследствие ошибочной идентификации соответственных точек. Такие ошибки могут возникать, например, при использовании некачественных снимков, а так как для выявления изменений приходится брать архивные фотоматериалы, то исправление таких ошибок является необходимым. Для сглаживания ошибочных элементов матрицы высот было предложено применять медианную фильтрацию.

Схема методики выявления изменений по ЦМП представлена на рисунке 3.

Главным дешифровочным признаком ЦМП является превышение точки объекта над ЦМР или нулевым уровнем. Дешифровать по этому признаку можно как результаты выявления изменений по ЦМП, так и цифровую модель поверхности отдельно.

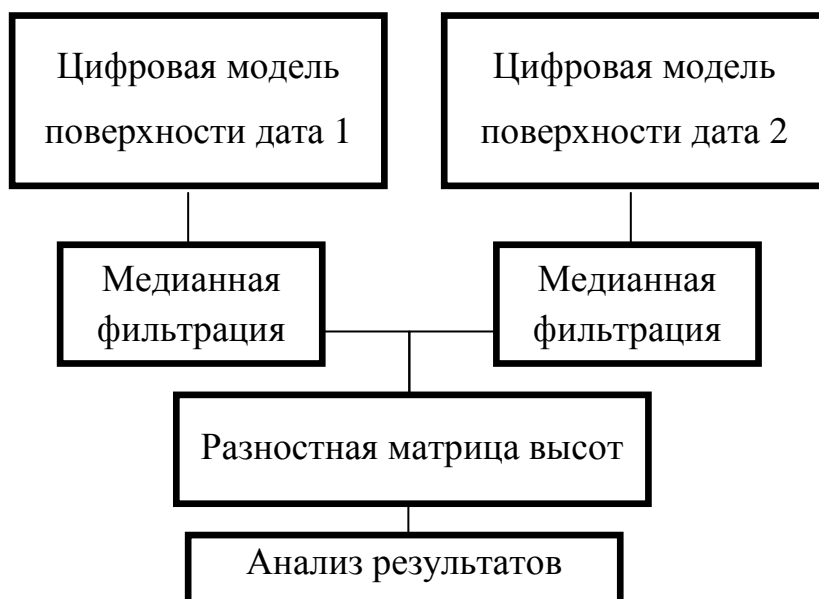


Рисунок 3 – Технологическая схема выявления изменений по разновременным ЦМП

При определении высот наземных объектов необходима цифровая модель объектов ситуации (ЦМО), её можно получить путём вычитания ЦМР из ЦМП. Получившуюся матрицу высот можно классифицировать по значениям высот с использованием алгоритма дерева принятия решений. При векторизации результата классификации получаем векторные слои, представляющие собой изолинии, соединяющие точки с одинаковыми высотами. Для определения высот наземных объектов получившиеся векторные слои совмещаем с ортофотопланом. Технологическая схема методики автоматизированного определения высот наземных объектов по ЦМО представлена на рисунке 4.

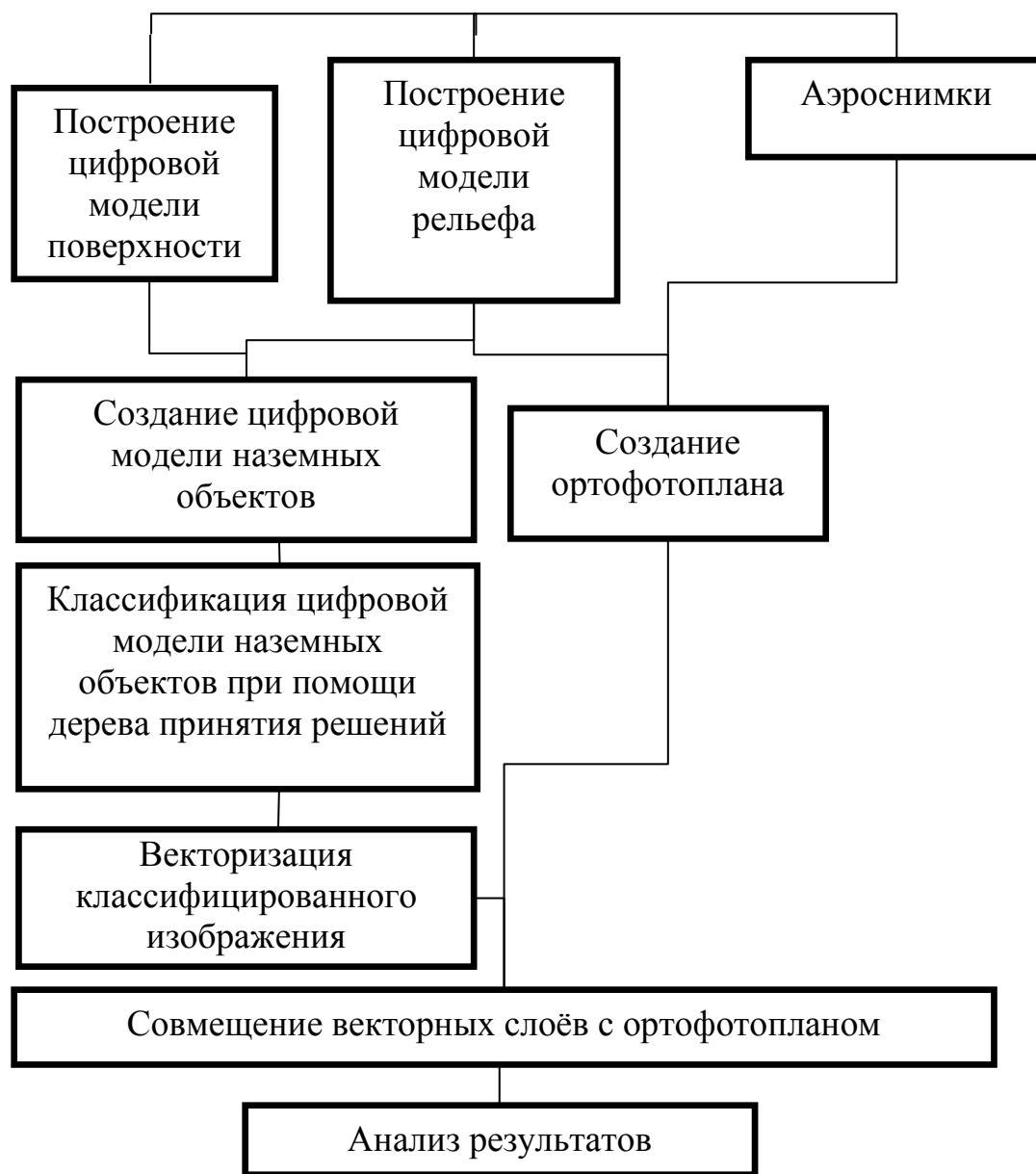


Рисунок 4 – Технологическая схема методики определения высот наземных объектов по ЦМО

На основе предложенных методик и выполненных исследований их эффективности разработана технологическая схема комплексной методики мониторинга городской среды по данным дистанционного зондирования (рисунок 5).

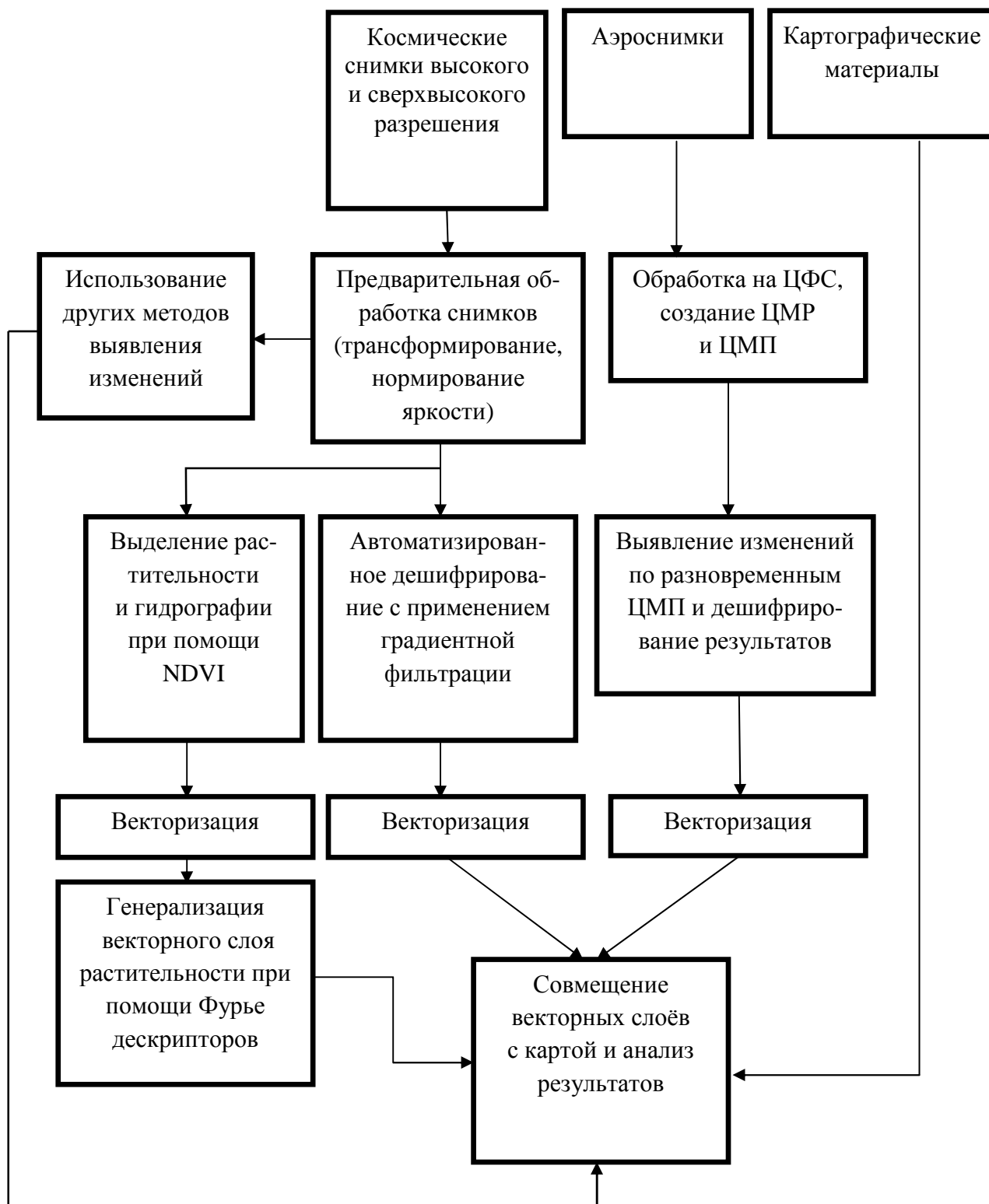


Рисунок 5 – Технологическая схема комплексной методики мониторинга городской среды по данным дистанционного зондирования

В третьем разделе описаны результаты исследования разработанных методик по реальным данным.

В процессе экспериментальных работ были выполнены исследование и корректировка предложенных технологических схем.

Для этого были использованы стереопары аэрофотоснимков масштаба 1 : 12 000, полученных аэрофотокамерой RC30 на территорию города Красноярска. При выполнении экспериментальных работ были использованы программные продукты: PhotoMod 4.1, PhotoMod 5, ENVI 4.6.1 и Surfer 8.

На первом этапе были выполнены исследования по космическим снимкам QickBird, которые показали, что использование метода Хафа малоприменимо для мониторинга из-за сложности подбора параметров, обеспечивающих выделение всех прямолинейных участков (рисунок 6).

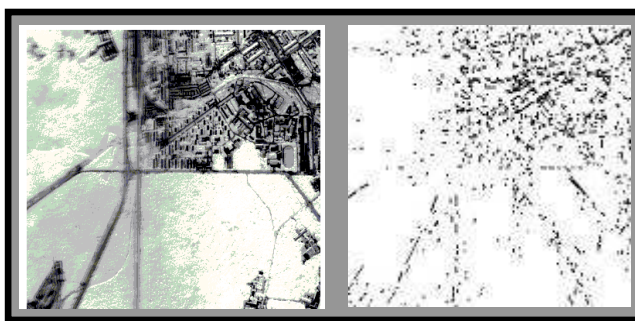


Рисунок 6 – Результат применения метода Хафа



Рисунок 7 – Цифровая модель поверхности

Затем выполнялось исследование методики выявления изменений по ЦМП. Обработка снимков производилась в программном комплексе PHOTOMOD. Целью обработки было создание цифровой модели поверхности. Перед построением модели поверхности был задан шаг сетки, в узлах которой рассчитывались значения Z. Использовался шаг сетки 4 м. Фрагмент ЦМП, состоящей из 280 000 точек, представлен на рисунке 7.

Средняя квадратическая ошибка построения ЦМП составила 1,1 м. Максимальная ошибка после отбраковки 2 000 точек (т. е. менее 1 % от общего числа) составила 2,2 м.

На втором этапе производился поиск изменений по разновременным моделям поверхности в программном комплексе ENVI 4.6.1. Поиск изменений производился простым вычитанием значений высот соответственных элементов двух матриц. В результате были обнаружены изменения городской застройки, показанные на рисунке 8.



Рисунок 8 – Изменения, произошедшие на местности

По результатам исследования были даны рекомендации, которые необходимо учитывать при использовании цифровых моделей поверхности для выявления изменений:

- необходимо выбирать такой шаг набора высотных отметок, чтобы даже на небольшие строения приходилось несколько измерений;
- построенная ЦМП имеет шумы, которые необходимо подавить, используя медианную фильтрацию.

Автоматизированное определение высот наземных объектов с использованием ЦМР и ЦМП

Целью эксперимента являлась оценка возможностей автоматизированного определения высот зданий с использованием цифровой модели объектов и циф-

ровой модели поверхности, построенных по материалам кадровой аналоговой и цифровой сканерной аэрофотосъёмки.

Использование снимков, полученных кадровой съёмочной системой RC30

Обработка снимков RC30 выполнялась на ЦФС PHOTOMOD 4.4. Целью обработки было создание ЦМП и ЦМР.

Для создания ЦМР был задан шаг 50 м на местности. После набора пикетов автокоррелятором в стереоскопическом режиме производилось редактирование TIN.

Средняя квадратическая ошибка построения ЦМР по высоте равна 0,02 м, максимальное значение ошибки – 0,05 м. Для дальнейшей работы необходимо получить цифровую модель наземных объектов. Получение ЦМО выполнялось в программном комплексе ENVI 4.6.1 путём вычитания ЦМР из ЦМП.

Для автоматизированного определения высот зданий использовалась классификация ЦМО при помощи дерева принятия решений.

В результате классификации каждый класс (диапазон высот) был представлен отдельным цветом.

Далее было выполнено построение модели по снимкам ADS40.

Вследствие того, что элементы внешнего ориентирования каждого снимка ADS40 известны и содержатся в метаданных, после загрузки снимков можно строить цифровую модель рельефа.

Результаты классификации ЦМО в дереве решений были векторизованы и совмещены с ортофотопланом.

Использование градиентной фильтрации для повышения эффективности классификации снимков

Для повышения достоверности автоматизированного дешифрирования антропогенных объектов в представленной работе при классификации предлагается использовать данные о контурах объектов, полученные после градиентной фильтрации.

В исследованиях использовался снимок QuickBird, полученный на городскую территорию в панхроматическом и многоспектральных каналах. Обработка выполнялась в программном комплексе ENVI.

Для увеличения пространственного разрешения многоканального снимка использовалась процедура pansharpning. Далее для каждого из четырёх каналов многоканального изображения была выполнена градиентная фильтрация Собеля.

Для удаления растительности была использована маска, которая строилась по изображению, полученному с помощью нормализованного индекса вегетации NDVI.

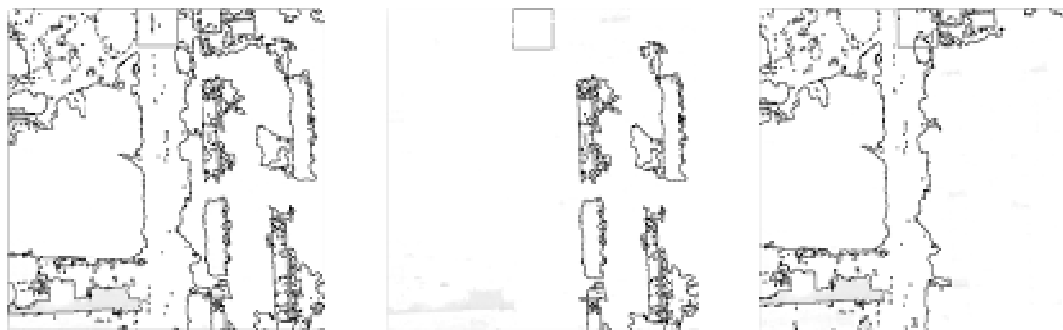
Затем проводилась фильтрация получившегося изображения фильтром Собеля. Далее при помощи булевой логики был выделен диапазон яркостей таким образом, чтобы контуры объектов оставались замкнутыми.

Для внесения информации о контурах в многоканальное изображение контурная часть зданий, полученная на предыдущем этапе, инвертировалась и домножалась на красную компоненту снимка.

Далее выполнялась классификация многоспектрального снимка с измененным изображением в красном канале. Классификация выполнялась при помощи алгоритма расстояния Махаланобиса. Обучающая выборка состояла из 10 эталонов, при этом контурная часть, полученная на предыдущем этапе, была отнесена в отдельный класс. Все классы, в которых оказались здания, были объединены.

Результаты классификации были векторизованы. Полученный векторный слой состоит из замкнутых объектов, что позволяет автоматически удалять или оставлять объекты нужной площади (рисунок 9).

Как видно из рисунка 9, предложенная методика позволяет достаточно эффективно проводить классификацию объектов застроенной территории. Она позволяет приблизительно оценить площади, занятые различными классами объектов, что может быть полезно при мониторинге различного уровня и назначения. Проведённая таким образом классификация разновременных космических снимков может быть использована для выявления изменений.



а)

б)

в)

а – удалены мелкие объекты (шум); б – оставлены только здания;
в – оставлены только крупные объекты
(крупные промышленные комплексы и дороги с парковками)

Рисунок 9 – Фильтрация векторного слоя

Также при анализе методов выявления изменений была исследована оползневая зона города Барнаула.

Исследование оползневой зоны города Барнаула

Для исследования оползневой зоны г. Барнаула были использованы снимки QuickBird 2002 г., IKONOS 2008 г., 2010 г. Обработка выполнялась в программном комплексе ENVI 4.6.1. На первоначальном этапе производилось трансформирование снимков IKONOS по 20 опорным точкам, координаты которых были взяты со снимка QuickBird. Контроль точности осуществлялся по 21 контрольной точке (таблица 1).

Таблица 1 – Средние квадратические ошибки планового положения контрольных точек

	IKONOS 2008 г.	IKONOS 2010 г.
	СКО (м)	СКО (м)
m_x	0,6	1,7
m_y	1,0	0,6

Границы растительности определялись при помощи маски, построенной по индексированному изображению. Затем выполнялась векторизация бинарного изображения маски. На последнем этапе производилось совмещение векторных слоёв на снимке QuickBird.

На протяжении всей оползневой зоны, расположенной на снимках, наблюдаются значительные изменения

оползневого склона, вызванные как образованием новых оползней, так и зарастанием старых. Стоит заметить, что часть оголённых склонов, зафиксированных на снимке QuickBird 2002 г., к 2010 г. покрылась растительностью. Кроме того, векторные слои, полученные по использованным разновременным снимкам, совмещались с картой 1996 г. В результате был обнаружен участок, где максимальное смещение бровки срыва оползня с 1996 по 2002 г. достигло 30 м. При этом в последующие 2008, 2010 гг. наблюдалось зарастание этого оползневого склона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты исследований, проведенных в диссертации, следующие:

– выполнен анализ особенностей мониторинга городской среды с использованием данных дистанционного зондирования, который показал, что алгоритмы автоматизированного дешифрирования, используемые в популярных программных комплексах по обработке данных дистанционного зондирования, основанные на использовании только яркостных признаков, малоэффективны для дешифрирования снимков застроенной территории;

– исследована возможность использования фильтра Кенни и преобразования Хафа для получения контуров объектов застройки;

– разработана методика автоматизированного дешифрирования космических снимков с использованием информации о границах объектов, полученной при градиентной фильтрации;

– разработана методика выявления изменений, произошедших на застроенной территории по цифровым моделям поверхности, и методика определения высот наземных объектов с использованием цифровой модели поверхности и ЦМР;

– разработана комплексная методика мониторинга застроенных территорий по аэро- и космическим снимкам высокого разрешения на основе использования как яркостных, так и пространственных признаков;

– проведены исследования разработанных методик по реальным космическим снимкам QuickBird и IKONOS, полученным на территорию города Барнаула, аэрофотоснимкам RC 30 на территорию города Красноярска и сканерным аэроснимкам ADS 40 на территорию города Новосибирска.

СПИСОК НАУЧНЫХ РАБОТ, В КОТОРЫХ ОПУБЛИКОВАНЫ ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

1 Арбузов, С.А. Исследование возможности оперативной привязки космических снимков по космическим снимкам более высокого разрешения [Текст] / С.А. Арбузов // Сб. научных трудов аспирантов и молодых ученых СГГА, 2009. – Вып. 6. – С. 55–57.

2 Гук, А.П. Космический мониторинг территорий на основе цифровой обработки многозональных космических снимков среднего и высокого разрешения [Текст] / А.П. Гук, Л.Г. Евстратова, А.С. Гордиенко, Р.А. Попов, М.М. Лазерко, С.А. Арбузов // Индустриально-инновационное развитие на современном этапе: состояние и перспективы: сб. материалов междунар. научно-практ. конф. – 2009. – Т. 1. – С. 122–123.

3 Гук, А.П. Исследование точности автоматического измерения координат точек снимков с помощью масштабно-инвариантного преобразования SIFT [Текст] / А.П. Гук, Йехия Хассан Мики Хассан, С.А. Арбузов // ГЕО-Сибирь-2010. Т. 4, ч. 1: сб. матер. VI междунар. науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2010», 19–23 апр. 2010 г. – Новосибирск: СГГА, 2010. – С. 35–38.

4 Implementation of automated interpretation and increasing of high resolution images geometrical properties when mapping urban territories [Текст] / Stanislav Arbuzov//International Summer Student Seminar, 21–25 September 2010, Novosibirsk. – P. 32–36.

5 Арбузов, С.А. Использование цифровых моделей поверхности для выявления изменений на городской территории / С.А. Арбузов // ГЕО-Сибирь-2010. Т. 4, ч. 1: сб. материалов VI междунар. науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2010», 19–23 апр. 2010 г. – Новосибирск: СГГА, 2010. — С. 24–26.

6 Гордиенко, А.С. Разработка методики многоступенчатого дешифрирования космических снимков [Текст] / А.С. Гордиенко, М.А. Алтынцев., С.А. Арбузов // Геодезия и аэрофотосъемка. – 2011. – № 2. – С. 29–32.

7 Гук, А.П. Использование цифровых моделей поверхности для дешифрирования зданий и выделения изменений объектов городской территории [Текст] / А.П. Гук, С.А. Арбузов // Геодезия и картография. – 2011. – № 3. – С. 24–28.

8 Арбузов, С.А. Использование нейронной сети для идентификации соответственных точек [Текст] / С.А. Арбузов // ГЕО-Сибирь-2011. Т. 4.: сб. матер. VII Междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2011», 27–29 апреля 2010 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2011. – С. 26–29.

9 Арбузов, С.А. Исследование алгоритма «дерево решений» в программном комплексе ENVI [Текст] / С.А. Арбузов, А.А. Гук // Геодезия и картография. – 2011. – № 2. – С. 11–14.

10 Arbuzov S., Chermoshentsev A., Shirokova T. Automated Determining the Heights of Ground Objects for 3D Modelling Using Aerial Survey Data. Innovative technologies for an efficient geospatial management of earth resources: proceedings of the international workshop, 4–8 sept. 2011. – Ulaanbaatar, Mongolia: Sorhkontsagaan LLC, 2011. – P. 175-177.