

Алтынцев Максим Александрович

РАЗРАБОТКА МЕТОДИК АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ДЕШИФРИРОВАНИЯ МНОГОЗОНАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ
ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА
ПРИРОДНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

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 физико-математических наук,
профессор Кузин Виктор Иванович;
кандидат технических наук
Глушкова Надежда Владимировна.

Ведущая организация – Филиал ФГУП «Рослесинфорг»
«Запсиблеспроект» (г. Новосибирск).

Защита состоится 29 декабря 2011 г. в 11-00 час. на заседании диссертационного совета Д 212.251.02 при ФГБОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия» (СГГА) по адресу: 630108, Новосибирск, ул. Плахотного, д. 10, ауд. 403.

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

Автореферат разослан 29 ноября 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Середович В.А.

Изд. лиц. № ЛР 020461 от 04.03.1997.
Подписано в печать 25.11.2011. Формат 60×84 1/16.
Печ. л. 1,0. Тираж 100. 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. В настоящее время при изучении природно-территориальных комплексов широко применяется мониторинг, выполняемый по космическим снимкам, которые позволяют получать уникальную информацию об искусственных и естественных объектах на поверхности Земли.

Многозональные космические снимки позволяют распознавать широкий круг объектов, определять их свойства и свойства поверхности Земли. Появление космических снимков сверхвысокого разрешения существенно расширило возможности мониторинга. Также повышается периодичность получения космических снимков при постоянном снижении их стоимости. Все эти факторы позволяют организовать эффективную систему мониторинга природно-территориальных комплексов различных типов, при которой отслеживается развитие лесных массивов, сельскохозяйственных земель, водных объектов, промышленных сооружений, трубопроводов, дорог и т. д.

Эффективность любой системы мониторинга характеризуется степенью автоматизации дешифрирования снимков. Основная проблема мониторинга по космическим снимкам – это необходимость обработки чрезвычайно большого объема данных, полученных по многозональным снимкам.

Кроме того, особенность обработки космических снимков заключается в том, что полученные спектральные характеристики разновременных изображений существенно зависят от условий и времени съемки, типа подстилающей поверхности и других факторов.

Для устранения искажений и нормализации изображений выполняется специальная обработка снимков, позволяющая нормировать яркости. Существует большое количество алгоритмов обработки, но большинство из них можно использовать только в определенных условиях и для определенных объектов.

Степень разработанности проблемы. Решению задач автоматизированного дешифрирования аэрокосмических снимков и выявления по ним изменений посвящено большое количество работ известных ученых, как оте-

чественных (Журкин И.Г., Гук А.П., Пяткин В.П., Асмус В.В., Ярославский Л.П.), так и зарубежных (Гонсалес Р., Вудс Р., Прэтт У. и др.).

Но вследствие того, что спектральные характеристики изображаемой на снимках территории сильно зависят от условий и времени съемки, до сих пор не были разработаны алгоритмы, которые позволили бы с высокой степенью достоверности выполнить дешифрирование любых объектов, изображенных на космических снимках, и выявить изменения, произошедшие на местности.

Также требуется увеличить спектральное расстояние между изображениями различных типов объектов. Существующие алгоритмы, созданные для решения этих задач, хорошо работают для снимков съемочной системы определенного типа, в то время как для снимков съемочной системы другого типа часто требуется разработка новых алгоритмов.

Таким образом, необходимо разработать комплексную методику дешифрирования космических снимков, позволяющую использовать несколько алгоритмов и определять различные типы объектов.

Кроме методов, основанных на спектральных признаках, существует другая группа методов, основанная на структурных признаках. Структурные методы в меньшей степени зависят от внешних факторов, так как здесь используется не спектральная яркость изображения объекта местности, а другая, более устойчивая характеристика. На основе структурных признаков можно выделить по снимкам информацию, определить которую было бы невозможно, используя только спектральные свойства.

Таким образом, следует разработать комплекс методов и алгоритмов, которые позволили бы использовать спектральные и структурные признаки для дешифрирования и выявления по космическим снимкам изменений, произошедших на местности.

В рамках диссертационной работы для решения задач дешифрирования космических снимков были разработаны одни и усовершенствованы другие методики, основанные на спектральных признаках, а для решения задач выявления изменений – методики, основанные на структурных признаках.

Цель и задачи исследования. Цель диссертационной работы заключается в повышении эффективности дешифрирования космических снимков природно-территориальных комплексов различных типов и выявления по ним изменений путем разработки общей технологической схемы проведения их мониторинга, включающей комплексную методику, основанную на использовании спектральных и структурных свойств изображений объектов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать существующие методики дешифрирования и выявления изменений по космическим снимкам;
- разработать схему расчета коэффициентов преобразования Tasseled Cap для снимков FORMOSAT-2, отличающуюся способом выбора и отбраковки фрагментов для повышения статистической эффективности значений коэффициентов;
- разработать единую методику многоступенчатого автоматизированного дешифрирования космических снимков высокого разрешения на основе совместного применения результатов преобразования Tasseled Cap и других алгоритмов, использующих спектральные свойства изображений объектов, в дереве решений;
- усовершенствовать методику автоматизированного выделения изменений, основанную на использовании вейвлет-анализа и отличающуюся новым способом деления на фрагменты в виде пирамиды изображений;
- разработать методику автоматизированного выделения изменений границы леса, основанную на вейвлет-анализе и новом способе генерализации лесной территории;
- провести экспериментальные исследования разработанных методик;
- сформулировать рекомендации по применению разработанных методик для различных природно-территориальных комплексов.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является технология использования многозональных космических снимков высокого разрешения для мониторинга природно-территориальных комплексов, а предметом –

алгоритмы автоматизированного дешифрирования многозональных космических снимков и выявления по ним изменений.

Методологическая, теоретическая и эмпирическая база исследований. В работе были использованы методы цифровой обработки изображений для дешифрирования космических снимков и выделения изменений. Для автоматизированного дешифрирования космических снимков были использованы алгоритмы Tasseled Cap и «Дерево решений», а для выделения изменений – вейвлет-преобразование и коэффициенты корреляции.

Базой для исследований являются выполненные ранее исследования в области разработки методик дешифрирования аэрокосмических снимков и выделения изменений. При проведении экспериментальных работ были использованы космические снимки IKONOS, FORMOSAT-2, SPOT-5, QuickBird, WorldView-2; аэроснимки; тематическая карта на территорию Суйгинского лесничества Молчановского района Томской области; пробные участки на территорию Молчановского района, содержащие информацию о породе и возрасте леса.

Основные научные положения диссертации, выносимые на защиту:

- комплексная методика автоматизированного дешифрирования космических снимков на основе использования алгоритма «Дерево решений» и преобразования Tasseled Cap;
- усовершенствованная методика выявления изменений в лесных массивах по разновременным космическим снимкам на основе вейвлет-анализа;
- методика автоматизированного выделения изменений границы лесной территории по разновременным космическим снимкам на основе вейвлет-анализа;
- методика получения коэффициентов преобразования Tasseled Cap для снимков FORMOSAT-2.

Научная новизна результатов исследования. Научная новизна заключается в следующем:

- разработаны новые методики автоматизированного дешифрирования космических снимков высокого разрешения на основе комплексного использования спектральных и структурных признаков;

- рассчитаны коэффициенты преобразования Tasseled Cap для снимков FORMOSAT-2 по фрагментам изображений;
- усовершенствована методика выявления изменений на основе вейвлет-анализа, что обеспечило повышение точности выделения изменений и позволило определить площадь этих изменений;
- разработана методика автоматизированного выделения изменений границы лесной территории по разновременным космическим снимкам на основе вейвлет-анализа, в рамках которой был предложен новый способ генерализации лесной территории в соответствии с тематической картой.

Научная и практическая значимость работы. Практическая ценность заключается в следующем:

- полученные коэффициенты преобразования Tasseled Cap позволяют ускорить обработку снимков;
- разработанная методика применения вейвлет-преобразования позволяет локализовать изменения.

Практическая значимость заключается в том, что предложенные методики были использованы для классификации территории Молчановского района Томской области по типам растительного покрова, для выявления мест рубок, а также для определения направления смещения северной границы леса в центре Мурманской области.

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. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались на VI Международном

научном конгрессе «ГЕО-Сибирь-2010», 19–23 апреля 2010 г., г. Новосибирск; на международном студенческом форуме «ГЕОМИР – 3S 2010», 21–25 сентября 2010 г., г. Новосибирск; VII Международном научном конгрессе «ГЕО-Сибирь-2011», 27–29 апреля 2011 г., г. Новосибирск; на Международном студенческом форуме «ГЕОМИР — 3S 2011», 9–13 октября 2011 г., г. Ухань.

Разработанные методики были использованы при выполнении научно-исследовательских работ по теме: «Разработка методологии аэрокосмического мониторинга природных и антропогенных объектов на региональном уровне». Номер государственной регистрации НИР: 01 2007.03297.

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

Публикации по теме диссертации. Основное содержание работы отражено в 6 опубликованных статьях, из которых 2 статьи изданы в рецензируемых журналах, входящих в Перечень рекомендуемых ВАК Минобрнауки РФ.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения, списка использованных источников, содержащего 117 наименований, и 10 приложений. Общий объем составляет 172 страницы печатного текста, работа содержит 42 рисунка, 13 таблиц.

Диссертация и автореферат диссертации оформлены в соответствии с СТО СГГА 012–2011 «Докторская, кандидатская диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

В первом разделе рассмотрены современные космические съемочные системы, методики мониторинга природно-территориальных комплексов, особен-

ности проектирования лесных участков и таксации лесов, алгоритмы дешифрирования космических снимков, спектральные методы преобразования космических снимков, методики выявления изменений, программные продукты, используемые для обработки данных ДЗЗ.

Для проведения мониторинга природно-территориальных комплексов применяются космические снимки высокого и среднего разрешений, а также аэроснимки. Результат обзора методик мониторинга природно-территориальных комплексов показал, что все этапы дешифрирования космических и аэроснимков и выявления по ним изменений в большинстве случаев выполняются вручную без использования каких-либо автоматизированных методик.

Анализ существующих алгоритмов дешифрирования космических снимков показал, что при применении данных алгоритмов не всегда достигается высокая достоверность выделения того или иного класса объектов на различных снимках.

Для повышения дешифровочных свойств природных и антропогенных объектов для космических снимков применяют различные спектральные преобразования, суть которых заключается в переходе от одного пространства спектральных признаков к другому. Однако при конкретном преобразовании дешифровочные свойства могут повыситься только у одних классов объектов, а у других – остаться без изменений. Поэтому необходимо использовать различные спектральные преобразования в комплексе.

Учитывая, что спектральная яркость изображений объектов сильно зависит от влияния внешних факторов, при дешифрировании космических снимков и выявлении изменений необходимо применять в дополнении к алгоритмам, основанным на преобразовании спектральной яркости, алгоритмы, использующие структурные признаки. Структурные признаки в различных спектральных каналах сохраняются, в отличие от спектральных.

Таким образом, возникает необходимость в разработке комплексной методики, позволяющей совместно использовать спектральные и структурные признаки.

Во втором разделе предложена технологическая схема комплексного мониторинга природно-территориальных комплексов (рисунок 1). Данная схема включает разработанные методики автоматизированного дешифрирования космических снимков на основе преобразования Tasseled Cap и алгоритма «Дерево решений», а также методику выявления изменений по космическим снимкам на основе вейвлет-анализа.



Рисунок 1 – Технологическая схема проведения комплексного мониторинга природно-территориальных комплексов

При дешифрировании земель, почв и растительности по предложенным методикам следует использовать многозональные космические снимки высокого либо среднего разрешений с достаточно большим числом спектральных каналов, а для выявления изменений с помощью вейвлет-анализа достаточно использовать панхроматические снимки.

Преобразование Tasseled Cap – это один из методов обработки многоспектральных снимков, который позволяет осуществлять переход из пространства измерений спектральных яркостей объектов в пространство признаков, связанных со свойствами заданного класса объектов. Для этого находится ортогональный базис, и яркости исходного изображения преобразуются в соответствии с выбранным базисом.

Значения элементов нового изображения будут являться проекцией вектора измерений \bar{P}_{ij} на соответствующие оси нового базиса, который определяется путем нахождения собственных векторов и собственных значений ковариационной матрицы измерений C .

Собственные векторы и собственные значения зависят от масштаба снимков, условий съемки и от изображенной на снимке местности. Они различны для каждого изображения. Подход Tasseled Cap основан на предположении, что собственные векторы должны быть одинаковыми для участков изображений, которые были получены одной съемочной системой и содержат один и тот же набор объектов.

Для каждой съемочной системы требуется получать свои коэффициенты преобразования Tasseled Cap. Автором были рассчитаны коэффициенты для снимков FORMOSAT-2. Схема расчета коэффициентов преобразования Tasseled Cap отличается от общепринятой тем, что расчет выполняется по фрагментам снимков размером $N \times N$ с использованием метода MCD (Minimum Covariance Determinant):

- расчет исходной ковариационной матрицы C по всем элементам матрицы многоспектрального изображения P для каждого тестового участка;
- выбор критерия n – количества точек, взятых в обработку, и определение количества точек $(I - n)N \times N$, которые следует отбраковать;
- вычисление расстояния Махаланобиса для всех точек:

$$\bar{D}_{ij} = \sqrt{(\bar{P}_{ij} - \bar{\mu})^T C^{-1} (\bar{P}_{ij} - \bar{\mu})}; \quad (1)$$

- отбраковка точек с максимальным расстоянием Махаланобиса D_{ij} ;
- вычисление ковариационной матрицы C' для каждого тестового участка по оставшимся после отбраковки точкам;
- расчет собственных векторов каждой ковариационной матрицы;
- расчет коэффициентов преобразования Tasseled Cap.

Значение n выбирается таким образом, чтобы обеспечивать наибольшую устойчивость матрицы C' , для которой среднее квадратическое отклонение (СКО) собственных значений минимально:

$$\sigma_n^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (A_{ni} - \overline{A_n})^2}{k}, \quad (2)$$

где A_n – вектор-столбец из собственных значений λ_i для определенного значения n ;

k – количество фрагментов, взятых в обработку.

Собственные значения и собственные векторы зависят не только от условий съемки, но и от набора объектов участка местности. Существенное влияние на результаты преобразования Tasseled Cap оказывает время года и месяц, в которые были получены снимки. Учитывая то, что время получения снимков всегда известно, и то, что можно получить сведения о погодных условиях на любую дату, для получения наилучших результатов автоматизированного дешифрирования космических снимков следует рассчитывать коэффициенты преобразования Tasseled Cap для каждого месяца отдельно.

По представленной схеме были рассчитаны коэффициенты преобразования Tasseled Cap для снимков, полученных в июле, августе и сентябре, и для всех трех месяцев одновременно:

$$U_{TC} = \begin{pmatrix} 0,303 & 0,730 & -0,470 & -0,122 \\ 0,218 & 0,337 & 0,772 & -0,212 \\ 0,084 & 0,231 & 0,284 & 0,748 \\ 0,894 & -0,316 & -0,065 & 0,021 \end{pmatrix}, U_{TC_июль} = \begin{pmatrix} 0,244 & 0,674 & -0,519 & -0,103 \\ 0,204 & 0,376 & 0,713 & -0,207 \\ 0,071 & 0,237 & 0,340 & 0,664 \\ 0,908 & -0,212 & -0,056 & 0,019 \end{pmatrix},$$

$$U_{TC_as} = \begin{pmatrix} 0,340 & 0,851 & -0,381 & -0,077 \\ 0,208 & 0,252 & 0,817 & -0,432 \\ 0,078 & 0,227 & 0,373 & -0,876 \\ 0,912 & -0,394 & -0,077 & 0,049 \end{pmatrix}, U_{TC_cen} = \begin{pmatrix} 0,388 & 0,789 & -0,413 & -0,166 \\ 0,243 & 0,295 & 0,853 & -0,169 \\ 0,106 & 0,222 & 0,174 & 0,851 \\ 0,871 & -0,464 & -0,078 & 0,017 \end{pmatrix}.$$

Основываясь на результатах дешифрирования снимков FORMOSAT-2, преобразованных с использованием подобранных коэффициентов Tasseled Cap, была разработана технологическая схема автоматизированного дешифрирования:

- по набору изображений тестовых участков, число которых должно быть не менее 50, определяются коэффициенты преобразования Tasseled Cap;
- выполняется преобразование Tasseled Cap исходного изображения, полученным компонентам изображения присваиваются следующие цвета: Red – первой компоненте, Green – второй компоненте, Blue – третьей компоненте;
- объекты на псевдоцветном изображении выделяются определенным цветом;
- для каждого объекта в пространстве Tasseled Cap рассчитываются средние значения вектора и средние квадратические отклонения;
- по рассчитанным параметрам выполняется кластеризация и автоматизированная векторизация – рисовка контуров;
- результаты дешифрирования отображаются в виде графической тематической карты и одновременно вычисляются площади участков.

Для получения более достоверных результатов дешифрирования космических снимков необходимо использовать комплексный подход. Данный подход заключается в совместном использовании нескольких методов.

Алгоритмом, позволяющим осуществить комплексный подход, является «Дерево решений».

Деревья решений представляют собой различные способы описания правил разделения данных в виде иерархической и последовательной структуры, где каждому объекту соответствует единственный дающий решение узел.

На рисунке 2 приведена технологическая схема методики автоматизированного дешифрирования с помощью алгоритма «Дерево решений».



Рисунок 2 – Технологическая схема методики автоматизированного дешифрирования снимков с помощью алгоритма «Дерево решений»

В целях выделения изменений на разновременных космических снимках была усовершенствована разработанная в 2010 г. автором и канд. техн. наук Гордиенко А.С. методика выявления изменений по разновременным космическим снимкам высокого и среднего разрешений на основе выполнения вейвлет-

преобразования для небольших участков местности, полученных в результате разделения на фрагменты исходных снимков.

Разделение разновременных снимков на фрагменты необходимо выполнять для того, чтобы найти изменения, небольшие по площади. Коэффициенты, вычисляемые с помощью вейвлет-преобразования, зависят от резких перепадов значений яркости, которые происходят на границах какого-либо объекта. На основе сравнения значений вычисленных коэффициентов для фрагментов разновременных снимков можно определить, в каком месте произошли изменения.

В качестве критерия для выявления изменения в разработанной методике используется коэффициент корреляции между соответствующими уровнями вейвлет-разложения для фрагментов разновременных снимков.

Первоначальным этапом в разработанной методике является определение в результате визуального анализа размера участков, по которым будет в дальнейшем произведен поиск и выделение изменений. Для автоматизации этого этапа в разработанную методику был добавлен этап, заключающийся в многократном и повторном разделении снимка на фрагменты в виде пирамиды изображений. Деление на фрагменты прекращается на том уровне пирамиды, на котором по коэффициентам корреляции будут найдены все фрагменты с изменениями.

В усовершенствованной методике также была учтена ситуация, при которой, например, одна часть вырубki оказывается на одном фрагменте, а вторая, более малая, на соседнем. В этом случае по коэффициенту корреляции малая часть вырубki может быть не найдена. Для решения данной проблемы было предложено выполнять разделение снимков на фрагменты со смещением несколько раз.

Оконтуривание производится по экспериментально подобранному пороговому значению яркости в определенном уровне вейвлет-разложения разностного изображения. После этого фрагменты объединяются в единое изображение и совмещаются с картографическим материалом или снимком на раннюю дату.

В 2010 г. автором совместно с канд. техн. наук Гордиенко А.С. также была разработана методика локализации изменений на основе выполнения вейвлет-

преобразования для фрагментов, на которые разделяются исходные снимки. Работоспособность данной методики была проверена на различных космических и аэроснимках, покрывающих лесную территорию. Методика позволяет локализовать участки снимка, на которых изображена вырубка.

В отличие от выделения границ вырубок, задача выделения границы лесной территории представляется более сложной. Учитывая то, что разработанная методика локализации лесной территории основана на расчете коэффициентов вейвлет-разложения изображений, зависящих от перепадов значений яркости, при решении задачи выделения границы лесной территории необходимо учесть следующие особенности:

- меньшие различия между лесной и прилегающей к ней территорией по яркости, тону и структуре по сравнению с различиями между изображениями сплошных рубок леса и лесной территории;

- присутствие разнообразных природных и антропогенных объектов на прилегающей к лесной территории, имеющей большие перепады яркости.

Для решения первой проблемы следует использовать более высокий уровень вейвлет-разложения, а второй – выполнять маскирование нелесной территории.

Кроме этого, необходимо определить, какую местность можно отнести к лесной территории, где проходит ее граница, а также учесть правила генерализации, которые применяются при составлении тематических карт определенного масштаба.

Выделив границу леса с учетом правил генерализации на двух разновременных аэрокосмических снимках, предварительно привязанных и трансформированных, можно определить направление ее смещения.

В третьей главе описаны экспериментальные исследования методик дешифрирования космических снимков и выявления по ним изменений.

Исследование методики автоматизированного дешифрирования снимков с помощью преобразования Tasseled Cap было выполнено на примере космических снимков FORMOSAT-2.

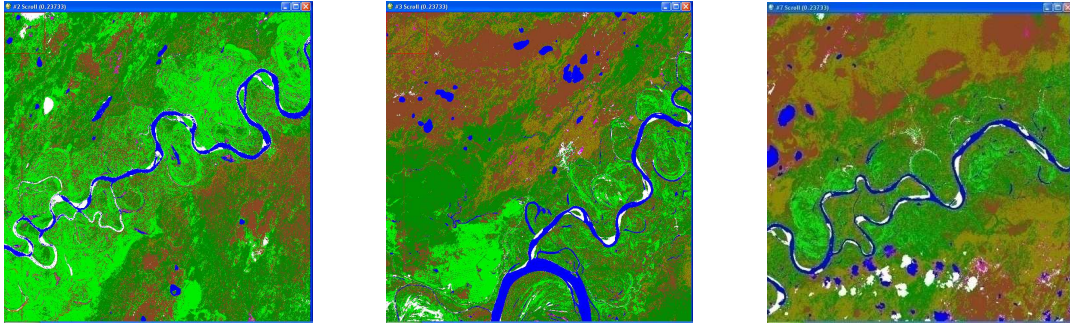


Рисунок 4 – Результат классификации для космических снимков по общему дереву решений

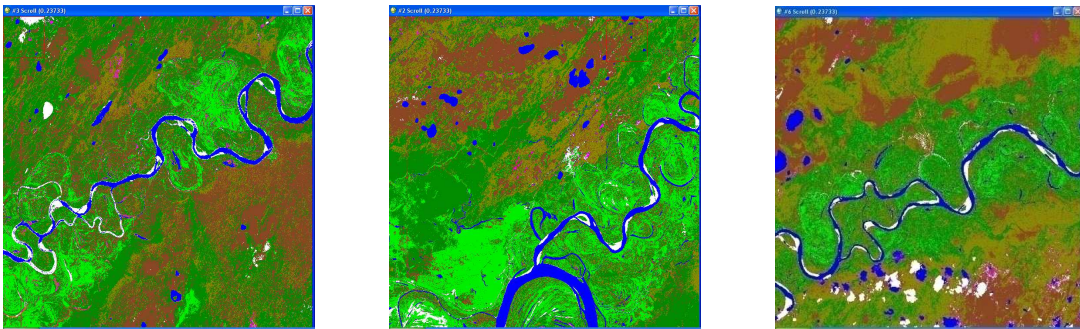


Рисунок 5 – Результаты классификации космических снимков по деревьям решений, построенным для снимков разных месяцев

Для оценки точности результатов классификации было выполнено сравнение средних значений яркости пикселей различных классов по всем преобразованным изображениям, классифицируемым по деревьям решений, построенным для каждого месяца отдельно, и для общего дерева решений, а также сравнение СКО данных значений, из которых следует, что чем меньше СКО, тем меньше различий в пределах класса на различных снимках.

Наибольшим получилось СКО значений яркости классов «облака» и «затопленные хвойные леса». СКО значений яркости классов, представленных на снимках, классифицированных по единому дереву решений, больше, чем на снимках, классифицированных по деревьям решений, построенным для сним-

ков различных месяцев. Например, максимальное СКО значений яркости классов растительности, представленных на снимках и классифицированным по единому дереву решений, составило 24, а максимальное СКО значений яркости классов растительности, представленных на снимках и классифицированным по деревьям решений, построенным для снимков различных месяцев, – 12.

Таким образом, с помощью алгоритма «Дерево решений» была выполнена классификация космических снимков FORMOSAT-2 лесной территории. В результате были выделены 7 классов: лиственный лес, хвойный лес, травянистая растительность, болото, вода, облака и затопленный хвойный лес. Для классификации каждого из типов объектов в дереве решений был использован определенный алгоритм, подобраны общие параметры классификации снимков и параметры классификации снимков каждого из трех месяцев отдельно. В результате сравнения классифицированных с помощью различных деревьев решений космических снимков было показано, что при использовании в дереве решений параметров, подобранных отдельно для снимков различных месяцев, точность классификации выше. Построенное дерево решений можно применять для классификации любых других снимков FORMOSAT-2, полученных в июле, августе или сентябре для территорий, характеризующихся таким же набором объектов. При классификации космических снимков других видов земель по данной методике следует заново построить дерево решений. Коэффициенты преобразования Tasseled Cap, используемые в дереве решений, также необходимо заново рассчитать с учетом типа изображенной на снимках территории.

Для исследования методики выявления изменений по разновременным космическим снимкам на основе вейвлет-анализа были выбраны снимки SPOT-5, которые были первоначально привязаны и трансформированы.

С помощью программы, написанной на языке программирования IDL, изображения были несколько раз разделены на соответствующие фрагменты в виде пирамиды изображений со смещением по оси x , со смещением по оси y и без смещения.

Далее с помощью программы IDL Wavelet Toolkit было произведено вейвлет-преобразование каждого фрагмента по функции Добеши 5-го порядка.

Для автоматического определения, на каких фрагментах произошли изменения, были рассчитаны коэффициенты корреляции между соответственными фрагментами вейвлет-разложения каждого уровня с помощью функции «correlate» языка программирования IDL. Для определения фрагментов с изменениями был выбран коэффициент корреляции между соответствующими 8-ми уровнями вейвлет-разложения разновременных фрагментов.

На следующем этапе было произведено вычитание соответственных разновременных фрагментов с изменениями. Для получившихся разностных фрагментов было выполнено вейвлет-преобразование. После определения, на каких фрагментах произошли изменения, с помощью программы, написанной на языке IDL, была выполнена автоматическая рисовка области изменения по пороговому значению на каждом фрагменте. Далее автоматически выполнялось последовательное объединение обрисованных фрагментов с изменениями и исходных фрагментов без изменений.

На рисунке 6 показан снимок SPOT-5 с выделенными изменениями с использованием 5-го уровня пирамиды изображений.

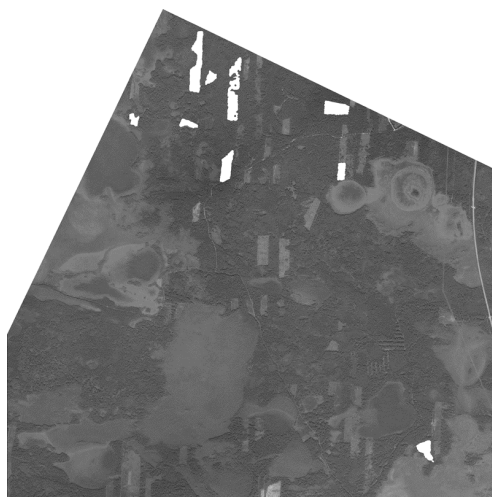


Рисунок 6 – Снимок SPOT-5 с выделенными изменениями с использованием 5-го уровня пирамиды изображений

В таблице 1 приведена оценка точности выделенных изменений. Как видно, ошибка на 5-м уровне мала, и дальнейшее деление не имеет смысла. Также из таблицы 1 видно, что при выделении изменений без смещения точность оказалась очень низкой, так как постоянно возникала ситуация, когда часть вырубки располагалась вблизи границы фрагмента, и этот фрагмент мог быть не определен по коэффициенту корреляции как фрагмент с изменениями.

Таблица 1 – Оценка точности выделенных изменений

Уровень пирамиды	Выделение изменений без смещений		Выделение изменений со смещениями	
	Число найденных вырубок	Количество неверно выделенной информации, %	Число найденных вырубок	Количество неверно выделенной информации, %
4-й уровень	7	32,2	8	9,7
5-й уровень	8	13,8	9	2,2

Также была решена техническая проблема определения направления смещения северной границы леса. Эта задача связана с решением фундаментальной проблемы изменения климата на поверхности Земли. Смещение границы на север должно свидетельствовать о потеплении, а на юг – о похолодании. Для этого были выбраны разновременные аэроснимки с пятидесятилетним интервалом территории центральной части Мурманской области.

В ПК ENVI была выполнена привязка аэроснимка к космическому снимку QuickBird. Точность привязки по контрольным точкам составила 5 м.

Выделение изменившейся границы леса выполнялось на основе сравнения классифицированных изображений. Лес был принят за первый класс, а вся остальная территория – за второй.

Выделение лесной территории выполнялось по фрагментам снимков, для которых было выполнено вейвлет-разложение по функции Добеши 5-го поряд-

ка. Классификация фрагментов выполнялась с помощью написанной на IDL программы по пороговому значению 4-го уровня вейвлет-разложения каждого фрагмента с учетом правил генерализации.

Классифицированные фрагменты были объединены в единые изображения. На аэроснимке площадь леса составила 6 112 187 м², а на снимке QuickBird – 6 427 065 м². То есть по результатам классификации площадь леса за 49 лет увеличилась на 314 878 м². На рисунке 7 приведен участок снимка QuickBird с выделенной красным цветом изменившейся границей леса.

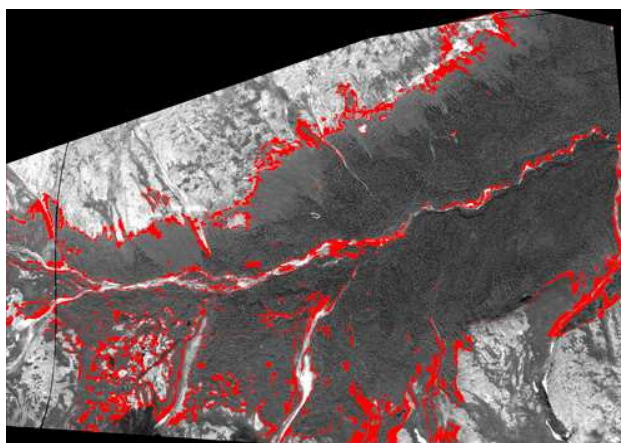


Рисунок 7 – Снимок QuickBird с выделенной границей леса

Анализируя выделенную границу, можно сделать следующие выводы:

- лес стал более густым, произошло зарастание многих опушек лесов с площадью до (50×50) м²;
- произошло смещение границы леса по направлению к руслу реки в среднем на 20 м;
- произошло неравномерное смещение границы леса на север. В одних областях – на 15 м, в других – на 30 м. Самое большое смещение произошло в области на северо-восточной части снимка – на 55 м;
- новый лес представляет собой невысокие деревья с низкой густотой и с кустарниками, травой между деревьями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа современных методов дешифрирования космических снимков и выявления по ним изменений при мониторинге природно-территориальных комплексов было установлено, что необходима комплексная обработка, позволяющая при дешифрировании космических снимков использовать как спектральные яркости объектов, так и их структурные признаки.

Основные результаты исследований, проведенных в данном направлении, следующие:

– разработана схема расчета коэффициентов преобразования Tasseled Cap, по которой для снимков FORMOSAT-2 для различных условий были впервые рассчитаны данные коэффициенты по фрагментам изображений с определенным набором объектов. Для расчета коэффициентов была написана программа на языке программирования Matlab;

– разработана методика автоматизированного дешифрирования космических снимков с помощью преобразования Tasseled Cap. Полученные для снимков FORMOSAT-2 коэффициенты были использованы в «Дереве решений»;

– усовершенствована методика автоматизированного выявления изменений по разновременным космическим снимкам на основе вейвлет-анализа, при которой для выделения изменений были написаны подпрограммы на языке программирования IDL;

– разработана методика автоматизированного выделения изменений границы лесной территории по разновременным космическим снимкам на основе вейвлет-анализа, для реализации которой на языке IDL была написана программа для генерализации и классификации;

– проведены экспериментальные исследования разработанной методики автоматизированного дешифрирования с помощью алгоритма «Дерево решений» и преобразования Tasseled Cap на примере космических снимков FORMOSAT-2. В результате классификации с высокой степенью достоверно-

сти были выделены 7 типов территории: болота, водные объекты, облака, травянистая растительность, лиственный, хвойный и затопленный хвойный лес;

– проведены экспериментальные исследования усовершенствованной методики выявления изменений на основе вейвлет-анализа на примере разновременных космических снимков SPOT-5 лесной территории, которые показали возможность выделения изменений по космическим снимкам полностью в автоматическом режиме, а также более высокую скорость процесса выделения;

– проведены экспериментальные исследования разработанной методики выделения изменений границы леса, которые показали, что за пятидесятилетний временной интервал в Мурманской области произошло смещение границы леса в среднем от 15 до 55 м на север;

– разработанные методики автоматизированного дешифрирования природно-территориальных комплексов показали высокую эффективность дешифрирования земель водного и лесного фонда (по типу растительного покрова), а также возможность своего применения при мониторинге других видов земель;

– разработанные методики автоматизированного дешифрирования и выявления изменений использованы в филиале ФГУП «Рослесинфорг» «Запсиблеспроект» и внедрены в учебный процесс кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования СГГА.

СПИСОК НАУЧНЫХ РАБОТ, В КОТОРЫХ ОПУБЛИКОВАНЫ ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

1 Локализация изменений объектов природно-территориальных комплексов по разновременным космическим снимкам [Текст] / А.П. Гук, Л.Г. Евстратова, А.С. Гордиенко, М.А. Алтынцев // Геодезия и картография. – 2010. – № 2. – С. 19–25.

2 Гордиенко, А.С. Разработка методики многоступенчатого дешифрирования космических снимков / А.С. Гордиенко, М.А. Алтынцев, С.А. Арбузов // Геодезия и аэрофотосъемка. – 2011. – № 2. – С. 29–33.

3 Алтынцев, М.А. Исследование возможности применения корреляционного анализа Фурье-образов изображений для автоматического дешифрирования снимков [Текст] / М.А. Алтынцев // Сборник научных трудов аспирантов и молодых ученых Сибирской государственной геодезической академии под общ. ред. Т.А. Широковой. – Новосибирск: СГГА, 2010. – Вып. 7. – С. 57–63.

4 Алтынцев, М.А. Вейвлет-анализ для выявления вырубок в лесных массивах по аэрофотоснимкам [Текст] / М.А. Алтынцев, А.С. Гордиенко, А.А. Гук // ГЕО-Сибирь-2010: сб. материалов VI Междунар. науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2010», 19–23 апр. 2010 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2010. – Т. 4, ч. 1. – С. 3–8.

5 Алтынцев, М.А. Преобразование Tasseled Cap по космическим снимкам IKONOS для дешифрирования растительности [Текст] / М.А. Алтынцев // ГЕО-Сибирь-2011: сб. материалов VII Междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2011», 27–29 апр. 2011 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2011. – Т. 4. – С. 30–35.

6 Altyntsev, M.A. Practical Automatic disafforestation detection in multi-temporal space images. Summer Student Seminar / M.A. Altyntsev // SSGA, 3S, 2010. – PP. 31–35.