

На правах рукописи



МИЛОВАНОВА МАРИЯ СЕРГЕЕВНА

**РАЗРАБОТКА СОДЕРЖАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ
ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО
ТОПОГРАФИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АРКТИЧЕСКИХ
ТЕРРИТОРИЙ**

Специальность 25.00.35 – Геоинформатика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2012

Работа выполнена на кафедре прикладной экологии и химии в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский государственный университет геодезии и картографии».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Малинников Василий Александрович

Официальные оппоненты: Цветков Виктор Яковлевич
доктор технических наук, профессор,
Московский государственный университет
геодезии и картографии, профессор
кафедры экономики и предпринимательства

Зайцева Ольга Викторовна
кандидат технических наук,
Федеральное государственное автономное
учреждение «Федеральный институт развития
образования», заведующая отделом статистики
Центра мониторинга и статистики образования

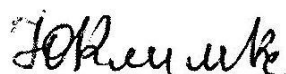
Ведущая организация: ФГУП «Государственный научно-
исследовательский и производственный центр
«Природа»

Защита диссертации состоится «15» ноября 2012 г. в 10 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.143.03 при Московском государственном университете геодезии и картографии (МИИГАиК) по адресу: 105064, г. Москва, Гороховский пер. д.4, зал заседаний Ученого совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного университета геодезии и картографии.

Автореферат разослан «11» октября 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

 Климов Юрий Михайлович

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Современная геоинформатика основана на интеграции многих наук. Это создает возможности для междисциплинарного переноса знаний. Согласно международному стандарту ISO OSI/TC 211: Geographic Information/ Geomatics, International Draft Standart геоинформатика направлена на развитие и приложение методов и концепций информатики для исследования пространственных объектов и явлений. Связующим элементом в геоинформатике являются пространственные отношения.

Интеграция, как направление развития геоинформатики, обусловила создание геоинформационного мониторинга как комплексного инструмента исследования.

Сложность экологической ситуации на арктических территориях России обусловлена слабой восстановительной способностью природных компонентов на фоне постоянно растущего техногенного пресса со стороны горнодобывающей, нефтедобывающей и горноперерабатывающей промышленности, частых аварий на нефте- и газопроводах, буровых платформах и установках, промышленных выбросов в атмосферу и сбросов сточных вод в реки и моря.

Современные технические средства дистанционного зондирования земных покровов позволяют получать цифровые изображения практически любых участков земной поверхности с высоким пространственным разрешением и в широком диапазоне спектра электромагнитных волн. Кроме того, значительное развитие получили автоматизированные методы обработки цифровых изображений (пространственно-спектральный анализ, вейвлет анализ, мультифрактальный анализ, радарная интерферометрия), которые при соответствующей адаптации алгоритмической базы могут быть с успехом применены для обработки цифровых изображений ледового покрова и других элементов рельефа северных территорий.

Таким образом, в настоящее время появились реальные возможности для разработки научно-обоснованной концепции и методологии космического мониторинга арктических территорий и реализации на основе этой концепции космического географического метода изучения топографических изменений на земной поверхности в северных регионах России. Поэтому задача создания спутникового топографического мониторинга арктических территорий несомненно актуальна и требует немедленного решения.

Исследования, проведенные автором настоящей работы, позволили ввести еще ряд функций в систему мониторинга арктических территорий. Это функции картографического представления, визуального моделирования,

ретроспективного моделирования и анализа, когнитивного анализа, объективизации.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является разработка содержания и технологии геоинформационного обеспечения космического топографического мониторинга арктических территорий и экспериментальное апробирование предложенной технологии на примере архипелага островов Земли Франца-Иосифа (ЗФИ).

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Анализ методов геоинформатики, применяемых при исследовании арктических территорий.
2. Разработка технологической схемы космического топографического мониторинга арктических территорий, состава и содержания ее базовых блоков.
3. Разработка содержания геоинформационного обеспечения космического топографического мониторинга арктических территорий.
4. Разработка и адаптация существующих технологий обработки материалов космических съемок с целью создания геоинформационного обеспечения топографического мониторинга на территорию ЗФИ.
5. Разработка геоинформационных моделей для анализа и прогноза топографических изменений объектов арктических территорий.

Объектом диссертационного исследования являются элементы арктической топографии и их сочетания.

Предметом диссертационного исследования является разработка геоинформационного обеспечения космического топографического мониторинга арктических территорий.

Методы исследования. В основу исследований положены опыт и методы проведения космического мониторинга окружающей среды, достижения в области геоинформатики, методы цифровой обработки космических изображений, разработки баз пространственных данных и систем спутникового дистанционного зондирования.

Автором были изучены труды известных ученых в области картографии, геоинформатики, дистанционного зондирования и географических исследований арктических территорий: Берлянда А.М., Бондура В.Г., Бровко Е.А., Верещаки Т.В., Зверева А.Т., Касимова Н.С., Книжникова Ю.Ф., Котлякова В.М., Кравцовой В.И., Кронберга П., Малинникова В.А., Ракунова С.В., Савиных В.П., Сладкопевцева С.А., Потапова И.И., Цветкова В.Я., Шарова А.И. и многих других.

Достоверность результатов подтверждается корректным применением методов, составляющих научную базу исследований, полевыми и камеральными экспериментальными исследованиями, а также практической апробацией разработанной методики.

Научная новизна результатов научных исследований, полученных в ходе выполнения диссертационной работы, заключается в следующем:

1. Разработано содержание геоинформационного обеспечения космического топографического мониторинга арктических территорий.
2. Разработана технология создания геоинформационного обеспечения космического топографического мониторинга арктических территорий, базирующаяся на современных интерферометрических методах и алгоритмах обработки цифровых изображений.
3. Впервые разработаны и предложены геоинформационные модели для анализа и прогноза топографических изменений объектов.
4. Впервые выполнена оценка изменения площадных характеристик 191 острова архипелага Земля Франца-Иосифа на основе разработанных геоинформационных моделей.

Практическая ценность работы. Практическая ценность научных результатов состоит в том, что разработанное содержание геоинформационного обеспечения, методика его получения, включая технологию обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), могут быть использованы для обработки данных космического мониторинга и научных исследований, направленных на изучение динамики изменения элементов топографии и организацию рационального природопользования Арктики. Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры» по теме «Географические исследования северных территорий России по материалам космических съемок», № 02.740.11.00.38.

Основные результаты диссертации, выносимые на защиту:

1. Содержание геоинформационного обеспечения космического топографического мониторинга арктических территорий.
2. Технология создания геоинформационного обеспечения космического топографического мониторинга арктических территорий.
3. Результаты экспериментальных исследований топографических изменений, произошедших на островах архипелага ЗФИ за последние десятилетия на основе разработанных геоинформационных моделей.

Личный вклад автора. Лично принимала участие в разработке содержания геоинформационного обеспечения космического топографического мониторинга

Арктики. Проводила сбор материалов на исследуемую территорию и экспериментальные исследования по оценке изменения топографических характеристик островов Земли Франца-Иосифа. В сотрудничестве с учеными МИИГАиК реализовывала технологическую схему обработки данных ДЗЗ для создания геоинформационного обеспечения космического топографического мониторинга ЗФИ.

Апробация работы. Положения диссертационной работы обсуждались на научных заседаниях кафедры прикладной экологии и химии МИИГАиК, на 3-ем Международном студенческом форуме «Образование, наука, производство» (2006г., Белгород), на 23 конференции Международной Картографической Ассоциации (2007г.), на 62-й, 64-й научно – технических конференциях аспирантов и молодых ученых МИИГАиК.

Публикации. Основные положения и результаты диссертационной работы опубликованы в 4 статьях, в научных журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки России.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений. Материал изложен на 159 страницах машинописного текста, содержит 20 таблиц, 34 рисунка. Список использованной литературы состоит из 117 наименования, в числе которых 45 иностранных.

Содержание работы

Во **Введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены и сформулированы цель и основные задачи, научная новизна, практическая ценность и основные результаты диссертации, представляемые на защиту.

В **первой главе** «Анализ первичной геоинформации, описывающей арктические территории» описаны особенности и проблемы получения геоинформации, а также рассмотрены особенности арктических территорий, проведен обзор ранних исследований Арктики, определены проблемы современной Арктики, дано обоснование выбранному направлению исследований.

Островное оледенение высокоширотной Арктики быстро и активно реагирует на глобальные атмосферные изменения и, поэтому, является более чутким индикатором климатических перемен, чем ледники умеренных широт или громадные ледниковые покровы Антарктиды и Гренландии. Современные результаты целого ряда гляциологических исследований ледниковых куполов в

Арктике указывают на характерные признаки сокращения оледенения в регионе и развития обстановки в соответствии с упомянутым сценарием, который является далеко не самым пессимистичным. Поэтому, сбор и анализ новых достоверных физико-географических данных о внешних воздействиях и природных изменениях (возможных и действительных), происходящих в акваториях Ледовитого океана и северных морей, наземных экосистемах: полярные пустыни, арктические и субарктические тундры, является одной из наиболее актуальных задач как национального, так и международного развития, прежде всего в связи с предстоящими изменениями климата и готовящимися планами «вторжения».

Существенным препятствием для планирования и проведения комплексных исследований в Арктике является отсутствие соответствующего актуального картографического обеспечения. Имеющиеся топографические, морские и тематические карты, содержащие основной объем информации об Арктическом бассейне, рассредоточены по большому количеству ведомств и не могут быть оперативно обобщены для анализа. Большинство ранее изданных карт уже устарело и подлежит обновлению.

Огромные размеры и труднодоступность, особенности природно-географических условий и развития инфраструктуры арктических территорий побуждают рассматривать дистанционные, и в особенности космические методы, в качестве одного из приоритетных источников информации об их состоянии и динамики. Космические методы мониторинга в настоящее время представляют источник основополагающей информации при проведении мониторинговых исследований. Эффективность космических технологий и их вклад в решение научных и прикладных задач в этой области непрерывно растет, что связано с более высокими темпами их развития по сравнению с другими средствами, благодаря использованию системной методологии и возможностей более полной ее реализации по космическим данным.

В настоящее время особая роль отводится интеграции космической информации и геоинформационных систем (ГИС), где результаты дистанционного зондирования являются регулярно обновляемым источником данных, необходимых для формирования различного рода тематических карт и других приложений, охватывая широкий спектр масштабов (от 1:10000 до 1:10000000). При этом информация дистанционного зондирования позволяет оперативно оценивать и, в случае необходимости, проводить обновление используемых графических слоев.

В нормативно-технической литературе не учитываются исходные космические данные как источник составления карт арктических территорий. Это

обуславливает необходимость разработки соответствующего информационного обеспечения для картографирования Арктики.

В целом результаты аналитического исследования, проведенного в данной главе, позволили выявить и обосновать основные направления диссертационного исследования и решаемые задачи.

Во **второй главе** «Космический топографический мониторинг Арктики» рассматриваются геоинформационные технологии ведения космического топографического мониторинга, объектный состав такого вида мониторинга, его цели и задачи. Предлагается технологическая схема космического топографического мониторинга. Описывается содержание технологии обработки данных ДЗЗ, и приводятся соответствующие функциональные схемы.

При определении содержания топографического мониторинга нами принимался во внимание следующий ряд характерных аспектов: *пространственно-временной аспект*, заключающийся в том, что исследованию подлежит совокупность состояний местности, т.е. собственное реальное физическое пространство объектов со всеми его изменениями во времени. Результаты мониторинга определяются обычно на момент последней съемки; *аналитический аспект* мониторинга, подразумевающий поэлементное изучение природных (гидрография, рельеф, грунты, растительность) и антропогенных (населенные пункты, технические конструкции, политико-административные границы, топонимы) особенностей местности и воздействий на них, исходя из предположения функциональной независимости этих элементов; *картографический аспект*, предполагающий воспроизведение топографических элементов и их совокупностей на картах и планах в заданной картографической проекции и системе координат с акцентом, сделанным на синтетическое описание конфигурации земной поверхности и взаимного положения объектов, их классификацию и количественные характеристики; *субъективный аспект* обязательно вносится исполнителем на стадии получения и воспроизведения результатов топографических исследований, что, с одной стороны, облегчает восприятие информации другими людьми, но с другой стороны искажает или упрощает реальное состояние местности, например, в результате классификации, символизации, генерализации, присвоения названий и т.д. В связи с этим, особое внимание должно быть уделено повышению объективности результатов топографического мониторинга посредством наиболее полного использования разносторонней информации, имеющейся на регион исследований.

Объектами топографического мониторинга Арктики могут служить любые элементы арктической топографии и их сочетания. Наибольший интерес для

спутникового мониторинга представляют ледниковые комплексы, гидрографическая сеть, береговые линии, рельеф, грунты и участки относительно медленно растущей, но долговечной растительности высокоарктических тундр. Немаловажное значение при топографическом мониторинге островных территорий приобретает инспекция пунктов государственной геодезической сети и оценка положения среднего уровня моря, являющегося стандартной поверхностью, от которой отсчитываются все высоты и глубины в регионе.

Основной задачей топографического мониторинга является обнаружение, трактовка и прогнозирование устойчивых топографических изменений на местности или в регионе с представлением результатов в документальном (фотографическом, схематическом, картографическом и т.п.) виде. Оценка изменения положения объекта может производиться относительно выбранной системы координат в абсолютном выражении либо относительно других объектов местности в относительном выражении. Наиболее удобными и простыми для целей регионального мониторинга являются относительные измерения по снимкам, хотя, в некоторых случаях, например, при выборе в качестве опорных объектов геодезических сигналов с известными координатами, может происходить слияние обоих подходов. Более того, при работе с геокодированными изображениями происходит дальнейшее стирание различий между абсолютными и относительными определениями и можно говорить о комбинированном подходе к анализу топографических изменений по материалам космической съемки.

Необходимо уточнить, что не только пространственные (геометрические) изменения объектов, но и качественные изменения их состояний, например, образование новых пятен фирна в зоне абляции ледников или разрушение снежных мостов над ледниковыми трещинами, представляют интерес для топографического мониторинга. Вместе с тем, изучение сугубо сезонных, преходящих объектов или явлений, например, состояния морского льда в прибрежных водах, не входит в круг задач топографического мониторинга, хотя и может быть весьма полезным при косвенном изучении глубин, а также направлений и скоростей морских вдоль береговых поверхностных течений. Сказанное не означает, что только динамичные объекты арктической топографии подлежат наблюдению.

В определенных случаях оказывается крайне важным поиск стабильных топографических объектов для использования их в качестве опорных точек при фотограмметрической обработке и сопоставлении материалов разновременных съемок, а также при прогнозировании последующих топографических изменений

в регионе. Учитывая, что абсолютно устойчивых объектов в природе не существует, приходится допускать возможность изменения положения любых объектов на местности, и, следовательно, необходимость контроля положения опорных точек. Поскольку, в общем случае изменения опорных объектов гораздо меньше изменений исследуемых объектов, контроль их положения должен осуществляться с более высокой точностью, что требует проведения полевых топографо-геодезических работ. Наряду с необходимостью полевого контроля точности результатов мониторинга и другими факторами, это обуславливает необходимость совместного использования различных видов топографических съемок.

Принципиальная технологическая схема организации космического топографического мониторинга включает шесть блоков, функционально связанных друг с другом: блок сбора исходных данных, блок предварительной обработки и анализа данных, блок базовой обработки мониторинговых данных (включая специализированные алгоритмы и виды тематической обработки), блок анализа мониторинговых данных и прогноза, блок заключений и представления результатов мониторинга, блок организации хранения данных (рис. 1).

Блок сбора исходных данных. Для выявления изменений топографических объектов используется разнородная информация об исследуемой территории: материалы ДЗЗ, тематические карты, а также базовая пространственная основа – цифровые топографические карты различных масштабов, при этом изображения земной поверхности используются в качестве основного источника информации о состоянии объектов в фиксированные моменты времени.

Блок предварительной обработки и анализа данных в целях обеспечения метричности и сопоставимости данных. Исходные разновременные аэрокосмические снимки могут иметь разный масштаб и быть представлены в различных проекциях. Поэтому должна осуществляться геометрическая коррекция, геопривязка и трансформирование исходных аэрокосмических снимков временного ряда с целью их представления в определенной единой проекции, системе координат и масштабе.

Блок базовой обработки мониторинговых данных включает в себя специальную и тематическую обработку данных.

Основными целями данного блока являются:

- констатация (оценка) современной топографической ситуации;
- обнаружение, измерение и определение характера топографических изменений, происшедших на местности с момента предшествующих оценок;

- построение геоинформационных моделей для анализа и прогнозирования последующих изменений, представление результатов.

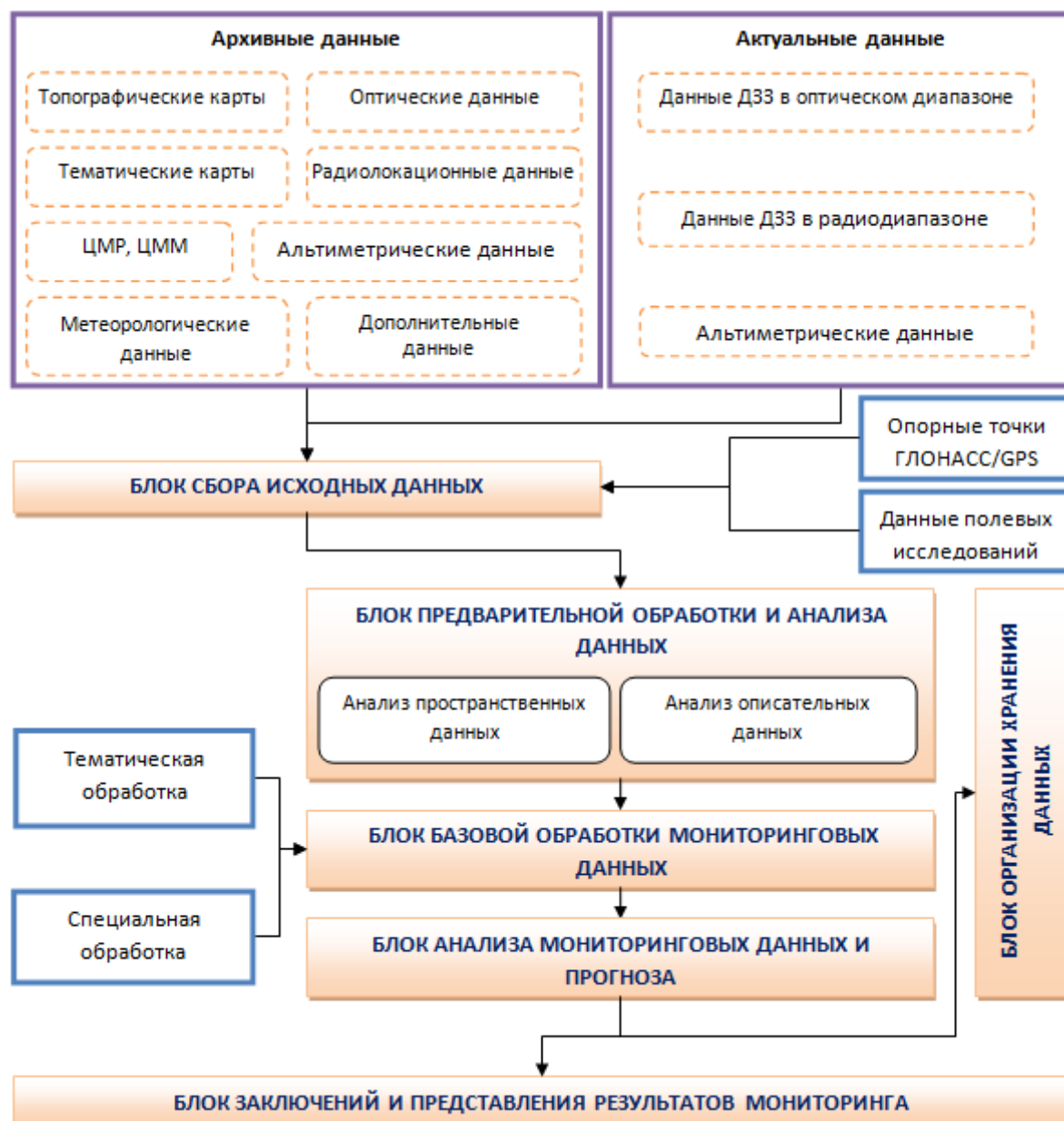


Рис. 1. Технологическая схема космического топографического мониторинга арктических территорий

Обнаружение, измерение и определение характера изменений заключается в сравнении изображений идентичных объектов, в фиксации изменений топографических объектов и установлении их качественных и количественных характеристик. Качественные характеристики изменений определяются путем сопоставления морфологических признаков идентичных объектов, а также тона и рисунка изображения на космоснимках. Установление иных дешифровочных признаков свидетельствует о наличии изменения. Количественные характеристики изменений могут быть получены непосредственно путем сравнения размеров объектов, зафиксированных на снимках разных лет. Анализ динамики топографических объектов по одноразовым космоснимкам заключается

в фиксации дешифровочных признаков стадий их развития, сопоставления с идентичными объектами в пределах исследуемого участка, в установлении общей тенденции развития объектов и далее классификации их по динамическому состоянию.

Все изменения (качественные и количественные) делятся на группы: смещение границ топографических объектов; трансформация площадей; исчезновение объекта; появление объекта; изменение формы контура; раздробление площади на части (пятна, полосы); изменение характеристик.

Построение геоинформационных моделей – крупномасштабное совместное представление исходных или базовых и актуальных мониторинговых данных необходимо для визуального анализа изменений элементов топографии, определения локализации изменений, типов объектов, оперативного получения результатов мониторинга. Необходимость таких моделей также определяется тем, что на мелкокомасштабных картах и снимках появившиеся изменения элементов топографии трудно различимы, и их рекогносцировка требует специальных методов обработки. Проблему визуализации полностью решают геоинформационные модели, которые в свою очередь более информативны в отличие от отдельных геоинформационных слоев, по которым изменения элементов топографии визуально определить невозможно.

Блок анализа мониторинговых данных и прогноза

Моделирование и документальное представление результатов предназначено для подготовки материалов к созданию цифровой карты либо включению в обновляемую цифровую карту базы данных ГИС. Включает в себя фильтрацию полученных изображений измененных участков для исключения отдельных пикселей или их небольших групп, не представляющих интереса с точки зрения картографического отображения на данном уровне детальности. Последующая векторизация изображений направлена на получение границ участков изменений, необходимых для актуализации электронных топографических карт. Документальное представление подразумевает описание полученных результатов в виде текстовых документов, таблиц.

Прогнозирование. При условии проведения исследований на основе нескольких серий разновременных данных, покрывающих достаточно большой промежуток времени, можно спрогнозировать дальнейшие изменения при условии в дальнейшем тех же условий, что и при исследовании.

Блок заключений и представления результатов мониторинга. На основе полученных данных, цифровых карт и прогнозов формируется заключение о проведенных исследованиях, результаты исследований представляются в удобном

для пользователя виде.

Блок организации хранения данных предназначен для систематизации, хранения, накопления и поиска необходимых данных в информационной системе мониторинга.

Приведенная схема описывает современную методологию, применяемую при решении задач ДЗЗ. По отношению к традиционным подходам она позволяет:

- проводить исследования одновременно на всей интересующей нас территории;
- представляется возможность комплексирования и совместного анализа различных пространственно-распределенных данных, что позволяет значительно углубить предмет исследований.

Все задачи в рамках предлагаемого предметно ориентированного подхода выполняются в специализированной информационно-вычислительной среде — геоинформационной системе (ГИС). При наполнении банка данных и выбора показателей топографического состояния для космического топографического мониторинга необходимо руководствоваться рядом требований, несоблюдение которых ставит под сомнение эффективность мониторинга. Во-первых, все показатели должны с высокой степенью достоверности определяться по материалам дистанционного зондирования поверхности Земли. Во-вторых, показатели изменения природных и природно-техногенных систем (объектов) должны отражать интенсивность развития ведущего природного или природно-техногенного процесса и поддаваться дешифрированию на космоснимках. В-третьих, показатели состояния природных и природно-техногенных систем должны выражаться общей количественной мерой, дающей возможность их сравнения и обобщения при расширении территории мониторинга. В-четвертых, использование показателей состояния систем для количественной характеристики устойчивости ландшафтов к техногенным воздействиям говорит об их способности выразить собой относительное изменение показателей природно-техногенной системы.

В данной главе также рассмотрены теоретические и методические аспекты тематического дешифрирования космических изображений. Показано, что достоверное дешифрирование материалов космической съемки является одной из основных проблем спутникового топографического мониторинга высокоширотной Арктики. Своеобразная природная специфика и слабая изученность региона затрудняют использование общеизвестных методик для семантического анализа спутниковых изображений высокоширотных архипелагов. Наибольшие трудности возникают при необходимости проведения

автоматического распознавания и классификации основных групп природных объектов, например, в случае точного определения положения береговой линии островов или при измерении площади оледенения и оценке ее изменчивости цифровыми методами. Серьезным препятствием при выполнении топографического дешифрирования ледниковых ландшафтов по космическим изображениям является облачный покров, спектральная яркость которого в большинстве случаев не уступает яркости свежего снега практически во всей видимой области спектра. Наряду с маскирующим влиянием, присутствие облаков может вызвать ошибки в топографических определениях.

Показано, что совместное использование радарных и оптических изображений во многих случаях значительно облегчает решение вопросов интерпретации, в частности, позволяет детализировать процесс топографического моделирования ледниковых ландшафтов, дополнить результаты дешифрирования количественными характеристиками выделяемых объектов.

Третья глава «Геоинформационное обеспечение космического топографического мониторинга арктических территорий». В соответствие с сегодняшними представлениями *геоинформационное обеспечение* космического топографического мониторинга арктических территорий, как вид информационного обеспечения, должно содержать геопространственную, функционально-ориентированную, информацию об изучаемых объектах земной поверхности. При этом геоинформационное обеспечение, используемое для проведения топографического мониторинга, с точки зрения его назначения и решаемых функциональных задач должно подразделяться на следующие виды: картографическое, геодезическое, фотограмметрическое и тематическое.

Картографическое обеспечение предназначено для создания карт, позволяющих определять требуемые геопространственные характеристики топографических объектов в арктических регионах посредством проведения картометрических измерений в ручном, автоматизированном и автоматическом режимах.

Геодезическое обеспечение предназначено для получения геопространственной информации о топографических объектах для целей создания планово-высотной основы, построения топографических и специальных карт и планов крупных масштабов посредством геодезических измерений, выполняемых непосредственно на объектах земной поверхности.

Фотограмметрическое и тематическое обеспечения предназначены для получения геопространственной информации о земной поверхности на основе их изображений, полученных наземными, воздушными и космическими

съемочными системами, с целью последующего функционального описания геологических процессов и явлений, происходящих в геопространстве исследуемых территорий.

На рисунке 2 представлена разработанная блок-схема содержания геоинформационного обеспечения космического топографического мониторинга арктических территорий.

Исходные мониторинговые данные космического топографического мониторинга АТ включают 2 группы: архивные данные; актуальные данные.

Архивные данные включают в себя следующие материалы за предшествующий точке актуальности временной интервал наблюдения арктических территорий.

Актуальные данные. К актуальным мониторинговым данным относятся космические изображения, получаемые в разных зонах электромагнитного спектра, новые альтиметрические данные, данные по физическим полям Земли и метрологические данные, данные новых полевых исследований, а также дополнительные виды данных, например, по экологической ситуации, и ее обострении в природных и природно-техногенных системах.

Справочная информация из разных источников может быть непосредственно отображена на обновляемой карте или зарегистрирована на специальной карте учета изменений.

Блок предварительной обработки и анализа данных включает предварительную обработку данных, анализ пространственных и описательных данных.

Блок специальной обработки данных включает в себя обработку картографических материалов, фотограмметрическую обработку данных и интерферометрическую обработку радиолокационных изображений РЛИ.

Обработка картографических материалов охватывает работы по оцифровке топографических и тематических карт с созданием цифровых векторных карт, контуров и изолиний, создание цифровых моделей рельефа (ЦМР) по топографическим картам. Результаты обработки затем используются как самостоятельные продукты мониторинга, так и при фотограмметрической обработке данных.

Фотограмметрическая обработка данных включает следующие последовательно выполняемые виды работ: обработка стерео данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), создание цифровой модели рельефа (ЦМР) по актуальным стерео данным и по историческим данным, создание актуализированной цифровой модели местности (ЦММ) с использованием

результатов интерферометрической обработки данных, результатов обработки картографических материалов, альтиметрических данных и сторонних ЦМР. После чего на основе актуализированной ЦММ выполняется ортотрансформирование данных, цветокоррекция и синтезирование цветных снимков, создание бесшовных мозаик и мультिवременных композитных изображений. Результатом фотограмметрической обработки космических материалов являются ортотрансформированные данные, синтезированные космические снимки, мультिवременные композитные изображения, бесшовные мозаики данных.



Рис 2. Блок-схема содержания геоинформационного космического топографического мониторинга арктических территорий

Интерферометрическая обработка радиолокационных изображений (РЛИ) включает работы по созданию ЦМР по интерферометрическим данным и получению различных продуктов интерферометрической обработки серий РЛИ, в том числе карт когерентности, интерферограмм, дифференциальных интерферометрических данных и.д. Интерферометрическая обработка пар и серий снимков с целью построения ЦММ либо определения просадок земной поверхности является одним из перспективных направлений в тематической обработке радиолокационных снимков. Технология интерферометрической обработки радиолокационных данных предполагает получение нескольких когерентных изображений одного и того же района земной поверхности со сдвигом в пространстве приёмной антенны радиолокатора. По результатам

интерферометрической обработки получают два основных выходных продукта: ЦММ и карты смещений (точность расчета смещений может достигать первых сантиметров).

Для работы с интерферометрическими радиолокационными данными рекомендуется использовать следующие специализированные программные продукты: SARscape (ENVI), RSG, Gamma, Radar (ERDAS Imagine), RAT tools, NEST.

Блок тематической обработки мониторинговых данных и анализа результатов включает в себя работы по визуальному и автоматизированному дешифрированию данных и построение геоинформационных моделей с целью выявления причин и закономерностей строения и распространения, изменения исследуемых природных и природно-техногенных систем (явлений, объектов). Результаты камерального дешифрирования контролируются полевыми исследованиями на тестовых участках. Важным условием успешного автоматического дешифрирования является высокая метричность информации и неизменность (инвариантность) дешифровочных признаков в пределах снимка и на разных снимках.

Результатом тематической обработки данных являются геоинформационные модели, для каждого из островов архипелага ЗФИ.

На рис. 2а представлена геоинформационная модель острова Земля Вильчека, базовым слоем которой является растровый фрагмент топографической карты 1950 г., векторные слои ледяной части острова и суши, полученные в результате оцифровки топографической карты и космических снимков 2010 г. Для векторных слоев, полученных по космическим снимкам, определено значение прозрачности 50%, для наилучшего визуального анализа изменений.

Блок организации хранения данных топографического мониторинга

Прикладное программное обеспечение, используемое для реализации алгоритмов сбора, обработки, хранения и представления данных, предлагается разместить на следующих серверах:

- Сервер хранения данных (например, SUN M4000);
- Сервер приложений (например, HP BL460).

Все данные предлагается храниться на RAID-массивах, имеющих повышенную надежность относительно обычной системы хранения на жестких дисках. Для повышения производительности системы рекомендуется файлы данных БД и файлы с первичной и обработанной информацией или электронных и/или сканированных копий документов располагать на физически разных

устройствах хранения информации. Для обеспечения восстановления данных системы в случае сбоя необходимо предусмотреть периодическое резервное копирование всех данных на ленточные накопители.



Рис. 2а Геоинформационная модель, на примере острова Земля Вильчека

Состав данных и структура их хранения. Все исходные, промежуточные и итоговые данные, используемые или получаемые в процессе топографического мониторинга, с учетом особенностей хранения делятся на следующие типы:

- данные космо- и аэросъемки (космо- и аэроснимки в различных зонах электромагнитного спектра),
- векторные данные (цифровые карты),
- сканированные данные (копии бумажных карт и атласов),
- данные моделирования (рельеф, местность, физические поля Земли, метеорология),
- документы (нормативно-справочные и служебные документы),
- описательные данные (метаданные, полевые наблюдения).

Каждый из этих типов включает архивные и актуальные данные.

Систему хранения данных топографического мониторинга предлагается построить на базе СУБД Oracle 10g Enterprise Edition. Для обеспечения доступа

специалистов по топографическому мониторингу к блоку хранения данных, блокам обработки данных, а также возможности формирования картографических отчетов предлагается разработать специальную геоинформационную систему.

В третьей главе также рассмотрены требования, предъявляемые к обрабатываемым архивным и актуальным данным, удовлетворение которых обеспечивает решение задач, ставящихся перед космическим топографическим мониторингом арктических территорий.

В **четвертой главе** «Экспериментальные исследования топографических изменений территории архипелага Земля Франца-Иосифа» представлены результаты экспериментальных исследований топографических изменений на территории архипелага Земля Франца-Иосифа, выполненные с использованием описанных выше технологий. Особое внимание уделялось: динамике ледников и эволюции береговой линии; ледниковой и подледниковой топографии.

Архипелаг Земля Франца-Иосифа расположен на севере Баренцева моря; входит в Архангельскую область РФ. Состоит из 191 острова, делится на 3 части: восточную, отделенную от других Австрийским проливом, с крупными островами Земля Вильчека, Грэм-Бэлл; центральную – между проливами Австрийский и Британский канал, где расположена наиболее значительная по численности группа островов, и западную – к западу от Британского канала, включающую наиболее крупный остров архипелага – Земля Георга.

Краткое описание архивных исходных материалов: советские топографические карты (1:50000-1:1000 000, 46 листов), советские морские карты (1:200000-1:500000, 5 листов), советские тематические карты (1:500 000-1:2 500000, 5 листов), американские навигационные карты (1:500000, 2 листа), исторические карты (1:500000-1:1000000, 47 листов), каталог навигационных ориентиров (1 книга), координаты опорных геопунктов (84 пункта), космические изображения на исследуемую территорию (148 моно- и стереоснимков).

В качестве актуальной информации использовались обработанные снимки с КА Terra, полученные сенсором ASTER (21 снимок). За базовую основу были взяты топографические карты масштаба 1:100 000 ЗФИ, отсканированные и сшитые в мозаику.

Основу созданной нами базы данных топографического мониторинга архипелага Земля Франца-Иосифа составляют справочно-информационные данные за период 1950 г. - 2010 г. Базируясь на изложенной выше технологии специальной обработки архивных и актуальных мониторинговых данных, проведена оценка изменений длин береговых линий и площадей 191 острова архипелага Земля Франца-Иосифа покрытых и свободных от ледового покрова.

Анализ результатов дешифрирования разновременных оптических и радиолокационных космических изображений островов архипелага Земля Франца-Иосифа и сопоставление их с архивными материалами показал, что за последние 60 лет произошли значительные изменения в ледниковой обстановке. На Земле Франца-Иосифа более 50 ледников значительно отступили или совсем исчезли за последние пятьдесят лет.

В таблице 1 приведены оценочные значения площади покровного оледенения за период с 1950 по 2010 гг. Как видно из представленных данных за последние 60 лет общая площадь островов Земли Франца-Иосифа уменьшилась на 382,90 км². Площадь ледяной части островов уменьшилась на 613,10 км², а площадь суши увеличилась на 230,20 км².

Таблица 1

Оценка изменения площади покровного оледенения Земли Франца-Иосифа

	Экспериментальные данные Карты 1950 г., км ²	Экспериментальные данные по космическим снимкам 2000-2010 гг., км ²	Абсолютное значение изменения площадей, км ²
Площадь островов	16 160,80	15 777,90	382,90
Площадь ледяной части островов	13 652,20	13 039,10	613,10
Площадь суши	2 508,60	2 738,80	230,20

С целью изучения динамики сокращения покровного оледенения островов выполнена оценка площади покровного оледенения для острова Галя и Земли Вильчека на: 2000, 2001, 2002, 2006, 2007 и 2010 годы.

Таблица 2

Значения площадей оледенения и длин береговой линии Земли Вильчека и острова Галя на различные годы

Год	Площадь, км ² Земля Вильчека/Остров Галя		Длина береговой линии, км. Земля Вильчека/Остров Галя	
2000	934,4	2002	185,1	230,3
2001	941,2	1997	184,8	236,3
2002	933,7	1993	185,6	241,5
2006	930,3	1986	185,7	230,8
2007	928,4	1987	186,2	228,2
2010	915,6	1976	185,4	234,2

В качестве исходных изображений использовались панхроматические космические изображения исследуемых островов со спутника LANDSAT. Полученные результаты исследования для Земли Вильчека и острова Галя

представлены в таблице 2. Из представленных данных видно, что наблюдается устойчивая тенденция к уменьшению площадей оледенения исследованных остров. Причем в последние годы скорость уменьшения площади ледовой части существенно увеличилась.

Отметим, что выявленные существенные изменения в топографии арктических территорий в первую очередь обусловлены климатическими изменениями, которые воздействуют на материковый и морской лед, вечную мерзлоту и снежный покров, что, в свою очередь, приводит к дальнейшим флуктуациям в атмосфере, океанах, озерах и реках.

В таблице 3 приведены значения изменений площадей суши и ледяного покрова островов, полученных на основе обработанных снимков и цифровых карт за период 60 лет. В колонке «Увеличение площади суши» о-ва Ла-Ронсьер получено отрицательное значение приращения площади суши, что скорее всего, обусловлено особенностями гидрологического и климатического режимов.

Влияние полярных регионов на климат Земли гораздо сильнее, чем можно предположить, судя по их географическому «весу», а российская Арктика играет ключевую роль в глобальных изменениях климата. Поэтому крайне важно в ближайшие годы наладить космический топографический мониторинг северных территорий России, данные которого позволят построить объективные прогностические модели ключевых изменений высокоширотной Арктики России.

Таблица 3

Значение площадей льда и суши, свободной ото льда, сокращение площадей

Название острова	Площадь острова, карты 1950 г., км ²	Площадь острова, снимки 2010, км ²	Сокращение площади острова, км ²	Площадь суши, 1950 г., км ²	Площадь суши, 2010 г., км ²	Увеличение площади суши, км ²	Площадь ледяной части 1950 г., км ²	Площадь ледяной части, 2010г., км ²	Уменьшение площади ледяной части, км ²
Галля	970	939,2	30,8	63,54	80,05	16,51	906,46	859,15	47,31
Земля Вильчека	2034	2013	21	246,9	253,1	6,2	1787,1	1759,9	27,2
Ла-Ронсьер	436,2	409,9	26,3	87,2	84,4	-2,8	349	325,5	23,5

Заключение

Основным результатом работы является решение научной задачи, имеющей важное хозяйственное и социально-экономическое значение – разработка содержания и технологии геоинформационного обеспечения космического топографического мониторинга арктических территорий, обеспечивающей информационное сопровождение их рационального природопользования, контроль за строительством и эксплуатацией инженерно-технических сооружений, контроль и предупреждение развития негативных природных процессов, представляющих угрозу для природы и человека, с помощью автоматизированных методов получения и обработки космических изображений земной поверхности.

В результате выполнения работы определены пути повышения эффективности использования данных дистанционного зондирования для организации топографического мониторинга арктических территорий.

Проведены экспериментальные исследования технологий обработки космических изображений земной поверхности, обеспечивающих получение информации о состоянии и динамике природной среды Арктического региона.

При выполнении данной работы решен ряд научно-технических задач и получены следующие результаты.

1. Содержание геоинформационного обеспечения космического топографического мониторинга арктических территорий.
2. Технология создания геоинформационного обеспечения космического топографического мониторинга арктических территорий, базирующаяся на современных интерферометрических методах и алгоритмах обработки цифровых изображений.
3. Геоинформационные модели для анализа площадных и линейных изменений ледового покрытия на исследуемых территориях.
4. Оценка изменения площадных характеристик 191 острова архипелага Земля Франца-Иосифа.

Экспериментальное исследование разработанной технологии космического топографического мониторинга арктических территорий показало, что она позволяет оценить динамику изменения ее топографических элементов и обеспечивает корректное автоматизированное формирование тематических космических изображений динамики береговой линии по данным космической съемки. Полученные количественные результаты могут использоваться в качестве объективной основы для построения оценочных и прогностических пространственных моделей береговых линий островов Земли Франца-Иосифа.

По теме диссертации опубликованы следующие работы в печатных изданиях ВАК

1. Зверев А.Т., Малинников В.А., Милованова М.С. ГИС обеспечение топографического мониторинга северных территорий России // Известия высших учебных заведений. Геодезия и Аэрофотосъемка. – 2010 - № 5 - С. 55 - 59.
2. Малинников В.А., Марчуков В.С., Зубков С.А., Милованова М.С. Архитектура и принципы функционирования системы топографического мониторинга северных территорий России на основе данных спутниковых систем. // Известия высших учебных заведений. Геодезия и Аэрофотосъемка. – 2011 - № 1 - С. 87 - 94.
3. Милованова М.С., Новиков В.Ю., Демьянов А.А. Исследования динамики изменений береговых линий островов архипелага Земли Франца-Иосифа по материалам космических съемок // Известия высших учебных заведений. Геодезия и Аэрофотосъемка. – 2012 - № 1 - С. 18 - 22.
4. Милованова М.С. Особенности геоинформационного мониторинга арктических территорий // Известия высших учебных заведений. Геодезия и Аэрофотосъемка. – 2012 - № 5 - С. 60-69.