На правах рукописи

Бродская Ирина Александровна

МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЛИНЕЙНЫХ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Специальность - 25.00.34 аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва - 2009

Работа выполнена в Московском государственном университете геодезии и картографии на кафедре аэрокосмических съемок

Научный руководитель: кандидат технических наук
Попов Сергей Михайлович

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Сладкопевцев Сергей Андреевич
кандидат технических наук
Кадничанский Сергей Алексеевич

Ведущая организация: Государственный научно-внедренческий центр геоинформационных систем и технологий (ФГУП «Госгисцентр») Росреестра

Защита состоится «_____» декабря 2009 г. в _____час. на заседании диссертационного совета Д.212.143.01 в Московском государственном университете геодезии и картографии по адресу: 105064, Москва, К-64, Гороховский пер., 4

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

Автореферат разослан «_____» ноября 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Краснопевцев Б.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Районы севера Западной Сибири - основная топливно-энергетическая база не только Российской Федерации, но и целого ряда стран ближнего и дальнего зарубежья. На территории Западной Сибири расположены крупнейшие в стране месторождения нефти и газа, обеспечивающие более половины добычи жидкого и газообразного углеводородного сырья России. Разведка, обустройство и эксплуатация месторождений нефти и газа, с последующей транспортировкой углеводородного сырья сопровождается интенсивным прямым и косвенным воздействием на состояние природных ресурсов, полезных ископаемых, грунтов, рельефа, земельных, водных, воздушных, животного мира, растительности - что является причиной их значительных изменений и приводит к ухудшению, как экологической обстановки, так и социально-экономических условий региона.

Обеспечение надежности функционирования действующих и проектируемых магистральных трубопроводов (МТ), комплексное исследование факторов воздействия на природную среду в результате строительства и эксплуатации технических сооружений, обеспечение условий для наиболее рационального природопользования в регионе, организация системы информационно-аналитического мониторинга - это лишь часть проблем, которая, как показывают проведенные исследования, в первую очередь требует комплексного привлечения для своего решения материалов аэрокосмического зондирования и ГИС-технологий.

Однако анализ результатов использования аэрокосмической информации показывает, что эффект от применения данных дистанционного зондирования при решении перечисленных выше задач далек от желаемого уровня. Недостаточно используются материалы аэрокосмических съемок при составлении необходимых картографических произведений и организации специализированных геоинформационных систем. Особенно недостатки такого рода ощутимы при изучении воздействия различных комплексов технических сооружений на природную среду и при проведении работ, направленных на оптимизацию природопользования. Повышение эффективности использования аэрокосмической информации при анализе состояний природно-технических систем (ПТС) линейных сооружений могло

бы способствовать принятию мер по ослаблению существующих или предупреждению возможных конфликтных ситуаций разной остроты и сложности, в первую очередь в северных районах Западной Сибири с высокой «чувствительностью» природы, а также и в других регионах Российской Федерации.

В стране создана разветвленная сеть магистральных нефтепроводов, нефтепродуктопроводов и газопроводов, соединяющих крупнейшие месторождения углеводородов с потребителями, которые проходят по территории большинства субъектов Российской Федерации и требуют постоянного мониторинга. Создание новых технологий, совмещенных с современными средствами хранения, представления и обработки информации о количественных и качественных показателях воздействия инженерных сооружений нефтегазового комплекса на окружающую среду в геоинформационных системах, обеспечивает новое качество аэрокосмического мониторинга и позволяет проводить всестороннюю оценку объектов ПТС МТ, а именно:

✓ получить максимально полные и достоверные данные о степени взаимодействия инженерных сооружений с компонентами природной среды;

✓ информационно обосновывать эффективность проектных решений по инженерной защите линейных объектов и окружающей среды;

✓ предотвращать дальнейшее нарастание аварий и катастроф на МТ.

Возникающая в связи с этим необходимость установления характера взаимодействия окружающей среды с объектами обустройства, обеспечивающими добычу, переработку и транспортировку продуктов углеводородов определила объекты диссертационного исследования.

Цель и задачи исследований. Целью проведенных исследований являлась разработка методики комплексной оценки состояний природно-технических систем магистральных трубопроводов на основе данных аэрокосмического зондирования и ГИС-технологий.

В ходе исследований в интересах достижения общей цели работы решались задачи:

1. Отработка технологии обработки данных ДЗЗ средствами специализированного программного обеспечения с последующей оценкой информативности

материалов аэрокосмических съемок для целей мониторинга состояний ПТС МТ.

2. Тематический анализ территории пролегания трасс магистральных трубопроводов по условиям и последствиям взаимодействия природно-территориальных комплексов (ПТК) и технических сооружений с учетом факторов возникновения опасных процессов.

3. Оценка состояния, динамики ПТС, прогноз устойчивости и выработка рекомендаций по оптимизации расположения трасс линейных сооружений с использованием разработанных методов и математических моделей.

4. Разработка структуры и содержания базы данных специализированной геоинформационной системы для информационной поддержки мониторинга линейных ПТС.

5. Создание специализированного ГИС-проекта на исследуемый магистральный трубопровод и построение информационной математической модели (фоновое состояние, стадия строительства, стадия эксплуатации технического сооружения, прогнозирование ситуации) для целей мониторинга состояний действующих и построение прогноза на проектируемые трубопроводы.

Исходная информация и методы исследований. Исходными материалами, положенными в основу диссертации, являются результаты исследований, полученные в ходе выполнения госбюджетных работ в период 2006 – 2009 гг. В работе использовались материалы аэрокосмических съёмок на территорию п-ова Ямал и Тазовского полуострова в период 1987 – 2008 гг.

Помимо результатов собственных наблюдений и разработок в работе использованы фондовые материалы, топографические и тематические карты, и литературные источники.

В процессе выполнения работы привлекались, разрабатывались и совершенствовались ***методы и технологические приемы:***

- анализа и обобщения материалов по теории и практике аэрокосмического мониторинга, тематического картографирования, оценки устойчивости природно-территориальных комплексов и геоинформационным технологиям;

- сбора, обработки и анализа данных ДЗЗ, в том числе космических изобра-

жений, полученных оптико-электронными и радиолокационными сенсорами с применением методов визуального и автоматизированного дешифрирования, а также оценки динамики природно-территориальных комплексов и прогноза их устойчивости в районах прохождения трассы трубопровода;

- составления специальных тематических карт для анализа состояний ПТС по результатам дешифрирования и интерпретации;

- обработки космических цифровых изображений с помощью программного продукта ERDAS для создания экспериментальной базы данных на участок трассы МТ;

- ввода комплексной картографической информации с преобразованием ее в векторную форму и последующей обработкой с помощью программ Mapinfo Professional и GeoMedia Professional;

- формирования прикладных информационно-аналитических ГИС-проектов на отдельные районы пролегания магистральных газопроводов (МГ) Тазовского п-ова и п-ова Ямал;

- вероятностно-аналитических оценок потенциального и фактического состояния ПТК.

Научная новизна. В результате проведенных исследований была разработана оригинальная методика комплексного использования данных аэрокосмического зондирования в составе информационно-аналитической ГИС, в основе которой реализована математическая модель описания состояния ПТС и приемы анализа результатов мониторинга линейных природно-технических систем для оценки состояния и прогнозирования их дальнейшего развития.

В том числе разработаны (выполнены):

- способ оценки различных состояний и прогноза динамики ПТС МТ в зависимости от условий природной среды на основе физиономических характеристик, выявленных по данным ДЗЗ, цифровым тематическим и комплексным полевым наблюдениям на тестовых участках;

- оценка информационных возможностей различных видов аэрокосмических данных, применяемых при дешифрировании состояний (современных, реконструируемых или прогнозных) ПТС;

- структура и содержание базы данных информационно-аналитической ГИС мониторинга линейных природно-технических систем криолитозоны (север Западной Сибири);

- информационно-аналитический ГИС-проект на участок трассы действующего МГ «Ямбург-Ныда» и проектируемого МГ «Обская-Бованенково» для целей мониторинга состояний действующих и построение прогноза на проектируемые трубопроводы.

Практическая значимость работы. Разработанные методы, подходы, практические решения могут быть использованы для:

- мониторинга и накопления данных для оценки технического состояния магистральных трубопроводов, формирования планов проведения ремонтов,

- контроля и отображения параметров производственных процессов транспортировки углеводородов по широкому спектру технологических параметров с привязкой к местности,

- сбора данных для контроля и оценки параметров экономической эффективности эксплуатируемых трубопроводов,

- подготовки информации для оптимизации производственных процессов, эксплуатационных затрат, затрат на обслуживание и т.д.

- представления данных для оценки масштабов различных повреждений и стоимости восстановительных работ,

- представления картографической основы для проектирования инженерных сооружений и необходимой инфраструктуры,

- анализа состояния и динамики ПТС МТ и построения научно обоснованного прогноза.

Материалы диссертации использованы при выполнении госбюджетных тем:

1. МИИГАиК при выполнении госбюджетной темы НИР: «Разработка методов комплексирования гиперспектральных и радиолокационных ДДЗ в корпоративную ГИС для целей аэрокосмического мониторинга трасс магистральных трубопроводов».

2. МИИГАиК при выполнении хоздоговорной темы ««Разработка автоматизированной технологии динамического картографирования растительного покро-

ва и других типов наземных экосистем по временным сериям данных дистанционных наблюдений на различных уровнях пространственной дифференциации».

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались: на конференциях молодых ученых и специалистов МИИГАиК (Москва, 2006, 2007, 2008 гг.); на юбилейной конференции «230 – лет МИИГАиК» (Москва, 2009 г.); на 14-й Всероссийской учебно-практическая конференции «Организация, технологии и опыт ведения кадастровых работ» (Москва, 2009 г.).

На защиту выносятся следующие научные результаты:

1. Способ оценки потенциальной опасности природных процессов с использованием экспертного анализа факторов со статистическим обоснованием на основе материалов ДЗЗ.

2. Информационно-аналитическая модель динамики природной и техногенной составляющих ПТС в пространственно-временном контексте.

3. Структура и содержание базы данных информационно-аналитической многопользовательской геоинформационной системы.

4. Методика комплексной оценки состояния природно-технических систем трасс магистральных газопроводов с использованием данных ДЗЗ в среде ГИС.

Публикации. Основные теоретические и практические результаты исследований по теме диссертации изложены в 8 печатных работах, в том числе в 4-х статьях, опубликованных в научных журналах, рекомендованных ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Текст изложен на 152 страницах и иллюстрирован 39 таблицами и 32 рисунками. Список использованной литературы включает 124 названия, в том числе 19 на иностранных языках.

Автор искренне признателен сотрудникам кафедры АКС и консультантам за помощь в работе, предоставление необходимых материалов и поддержку в ходе работы над диссертацией.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении содержится обоснование актуальности темы диссертации, формулируется цель и задачи работы, её научное и практическое значение. Наме-

чены основные этапы исследования и пути решения поставленных задач.

В первой главе проведен анализ существующих теоретических и методических основ мониторинга ПТС МТ и научные подходы к их решению.

Для обеспечения устойчивого развития регионов России важно располагать комплексными данными о состоянии окружающей среды, причем эта информация должна представлять интегральный итог, отражающий взаимодействие техногенных и естественных процессов.

Современные масштабы и темпы изменения окружающей природной среды в результате антропогенного воздействия настолько велики, что охватить наземными исследованиями огромные площади в единый момент времени не представляется возможным.

Интеграция новых компьютерных ГИС-технологий, традиционных исследований средствами контактного изучения состояния ПТС и дистанционных методов является наиболее оптимальным и современным подходом к эффективной организации информационно-картографического обеспечения регионов России и рационализации системы природопользования.

Современное понятие мониторинга, помимо системы выполняемых по заданной программе регулярных наблюдений состояния и динамики природных и техногенных объектов, для своевременного выявления тенденций их изменения, включает прогнозирование (долгосрочное, краткосрочное или оперативное) чрезвычайных ситуаций на основе анализа возможных причин их возникновения, их источника в прошлом и настоящем, а также превентивные меры по отражению вероятности возникновения и развития аварийных ситуаций как – элемент управления.

В настоящее время различными научными коллективами разрабатываются новые методы получения и представления соответствующей информации для оптимизации системы мониторинга ПТС. На сегодняшний день создана и апробирована в практике научная концепция мониторинга ПТС, базирующаяся на теоретических, методологических, технологических положениях, достаточно широко освещенных в опубликованных работах ряда специалистов (Камышев, Ревзон, Хренов и др.).

Анализ данных многолетних наблюдений состояния объектов природной среды, инженерно-технических сооружений, а также результаты работ ряда специалистов в данной области, показывают, что износ инженерных конструкций находится в прямой зависимости от интенсивности развития природных и природно-техногенных процессов ПТС и зонах их влияния на окружающую среду. В частности, результатом взаимодействия магистральных трубопроводов (МТ) и других промышленных объектов с многолетнемерзлыми породами криолитозоны является развитие процессов заболачивания и подтопления, карста и термокарста, овражной и поверхностной эрозии почв, морозное пучение, растрескивание и др., приводящих к возникновению аварийных ситуаций на трассе трубопровода.

В связи с этим одной из основных и первоначальных задач, решаемых в процессе мониторинга, является *комплексная* оценка *природной* и *техногенной* составляющих ПТС, для выявления участков, где действительно целесообразен капитальный ремонт или же полная замена сооружений или их отдельных конструкций, где необходимо только выполнение специальных защитных мероприятий по обеспечению устойчивого и экологически безопасного функционирования сооружений, а где всего лишь постановка и выполнение режимных работ по системе мониторинга ПТС.

Во второй главе проведен аналитический обзор современных средств и методов ДЗЗ с учётом требований, предъявляемых к материалам аэрокосмических съёмок, применяемых при изучении и картографировании ПТС. Рассмотрен парк используемой и создаваемой съёмочной аппаратуры, действующих и проектируемых зарубежных КА, работающей в оптическом, ИК и радиодиапазоне. Проведён сравнительный анализ видов данных аэрокосмических съёмок и на конкретных примерах выполнена оценка информативности имеющихся материалов ДЗЗ для целей мониторинга состояния ПТС МГ. Кроме того, рассмотрены различные варианты обработки материалов ДЗЗ и выбран наиболее оптимальный алгоритм для получения изображений с улучшенными изобразительными свойствами, обладающих наибольшей информативностью для решения задач мониторинга линейных природно-технических систем.

Средства космического базирования дают возможность получать генерали-

зованную информацию, которая необходима для решения большинства задач дистанционных исследований природных и антропогенных объектов.

Вид аппаратуры и требования к параметрам космической информации ДЗЗ по пространственному, радиометрическому, спектральному и временному разрешению, а также по захвату на местности, точности географической привязки и производительности определяются решаемыми по материалам аэрокосмической съёмки задачами. В данной главе приводятся оценки значений параметров аэрокосмических съёмок для решения задач мониторинга ПТС криолитозоны, а также мировые тенденции развития средств и методов ДЗЗ. На основе материалов аэрокосмических съёмок планируется решение следующих задач:

✓ дешифрирование и обновление карт ПТС магистральных трубопроводов,

✓ выявление и картирование участков активизации негативных природных процессов: заболачивания и подтопления грунтовыми и поверхностными водами производственных объектов, проявлений карста и термокарста, возникновения и развития овражной и поверхностной эрозии почв в зоне трубопроводов и др.,

✓ картирование нарушений линейной части трубопроводов и площадных объектов в результате активизации негативных природных процессов.

Одной из важнейших задач системы дистанционных наблюдений является выбор оптимального состава аэрокосмических материалов, позволяющих эффективно следить за состоянием ПТС изучаемого региона. Для анализа были отобраны разновременные дистанционные материалы, полученные оптико-электронными спутниковыми съёмочными системами MSS, TM и ETM+ КА Landsat, радиолокационной съёмочной системой КА ERS-1,2, а также материалы аэрофотосъёмки.

Обработка и анализ материалов ДЗЗ по выработанной схеме реализовывался средствами программного пакета ERDAS Imagine 9.1 (Leica Geosystems). Первичная обработка данных аэрокосмических съёмок состояла в их геометрической (геопривязка, трансформирование и т.д.) и радиометрической коррекции (гистограммные преобразования, применение фильтров и пр.). Дальнейшая статистическая обработка данных ДЗЗ производилась по алгоритму кластерного и текстурного анализа. Комплексная оценка аэрокосмических снимков, результатов их об-

работки и материалов тематического картографирования производилась в среде ГИС Mapinfo Professional V 9.5 (ESTI MAP) и Geomedia Professional V 6.0 (Intergraph). На основании этой оценки делался вывод об информационных свойствах различных данных ДЗЗ.

В табл. 1 и 2 приведены примеры результатов анализа и оценки информативности цветного синтезированного спектрозонального снимка ETM+, полученного сочетанием 4, 5 и 1 каналов. Аналогичный анализ проводился для остальных вариантов синтеза многоканальных данных с целью выявления наиболее информативных сочетаний спектральных каналов для решения поставленных задач. Кроме того, предложенная схема применялась и для оценки информативности материалов радиолокационных съёмок с учётом специфики получаемых изображений.

На основе проведённого анализа осуществлён выбор материалов ДЗЗ, обладающих наибольшей информативностью для решения задач мониторинга линейных ПТС МТ, которые позволяют:

✓ получить максимально полные и достоверные данные о состоянии взаимодействия инженерных сооружений с компонентами природной среды;

✓ информационно обосновывать эффективность проектных решений по инженерной защите линейных объектов и окружающей среды;

✓ блокировать дальнейшее нарастание аварий и катастроф в этой сфере и т.д.

Третья глава посвящена разработке модели формального описания динамики природной и техногенной составляющих ПТС в пространственно-временном контексте. На основе созданной математико-статистической модели разработан способ оценки потенциальной опасности природных процессов с использованием экспертного анализа факторов на основе материалов ДЗЗ.

Таблица 1

Анализ информационных свойств синтезированного космического изображения

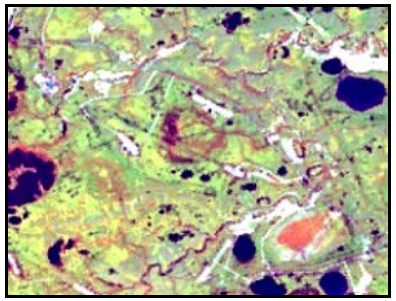
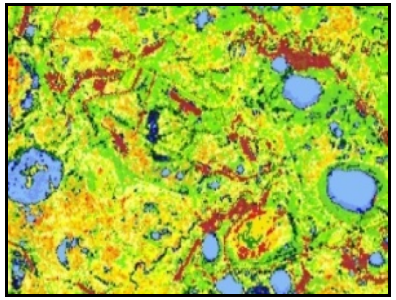
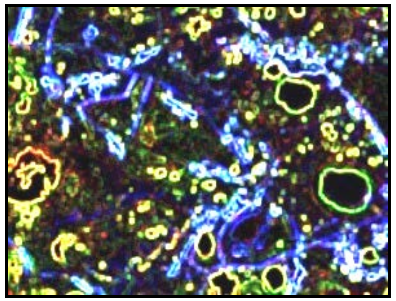
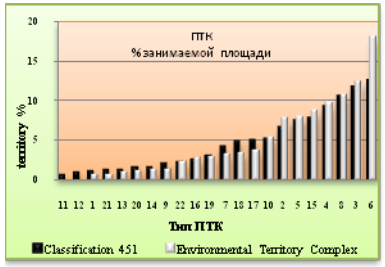
	**Синтезированное спутниковое изображение** после соответствующей радиометрической коррекцией (LUT).
	**Результат тематической классификации.** Число кластеров при классификации 26, что соответствует 22 типам выделенных на исследуемой территории ПТК + 4 типа техногенных объектов инфраструктуры Ямбургского НГКМ (см. легенду).
	**Результат текстурного анализа.** Сравнение гистограмм результата автоматизированной классификации и текстурного анализа показал, что кластерный анализ подчёркивает дифференцированность объектов местности, в то время, как текстурные признаки для данного варианта синтеза не обладают достаточной информативностью.

Рис. 1. Гистограмма распределения типов ПТК тестового участка в процентном соотношении.
по горизонтальной оси – типы ПТК
по вертикальной – занимаемая площадь (%).
Чёрным цветом обозначен % занимаемой площади согласно результатам классификации спутникового изображения.
Белым - % занимаемой площади по материалам тематического картографирования.

Таблица 2

Результат оценки информативности данных ДЗЗ

Процент площади, занимаемый ПТК				Оценка достоверности результатов классификации			
Тип ПТК	**STM, % по материалам тематического картографирования**	**Sclass, % по результатам классификации данных ДЗЗ**	**Dabs, % |Sclass – STM| абсолютное отклонение**	**Тип ПТК**	**Dabs, % |Sclass – STM| абсолютное отклонение**	**P вес ПТК**	**dabs, % $\frac{\|Sclass - STM\|}{P}$ взвешенное абсолютное отклонение**
11	0,10	0,51	0,41	**16**	0,03	42	0,0008
12	0,22	0,74	0,53	**10**	0,08	51	0,0016
1	0,40	0,89	0,49	**8**	0,20	90	0,0023
21	0,42	1,03	0,61	**4**	0,26	78	0,0034
13	0,74	1,11	0,37	**3**	0,45	131	0,0034
20	0,84	1,45	0,61	**22**	0,13	35	0,0038
14	1,01	1,49	0,47	**15**	0,85	111	0,0077
9	1,02	1,96	0,94	**5**	0,45	56	0,0080
22	2,00	2,13	0,13	**19**	0,21	19	0,0112
16	2,46	2,43	0,03	**2**	1,11	81	0,0137
19	2,71	2,92	0,21	**7**	1,07	78	0,0137
7	2,99	4,06	1,07	**1**	0,49	33	0,0147
18	3,08	4,69	1,61	**14**	0,47	14	0,0339
17	3,51	4,84	1,33	**20**	0,61	14	0,0435
10	5,13	5,04	0,08	**17**	1,33	30	0,0442
2	7,53	6,42	1,11	**13**	0,37	8	0,0462
5	7,70	7,25	0,45	**21**	0,61	13	0,0471
15	8,46	7,61	0,85	**6**	5,34	91	0,0586
4	9,40	9,14	0,26	**12**	0,53	8	0,0657
8	10,52	10,32	0,20	**9**	0,94	13	0,0720
3	12,03	11,58	0,45	**18**	1,61	22	0,0732
6	17,72	12,39	5,34	**11**	0,41	1	0,4095
Σ	**100.00**	**100.00**	**AVG = 0.797**	**Σ**	**AVG = 0,797**	**1019**	**AVG = 0.0445**



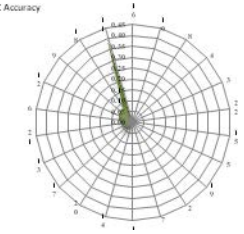


Рис. 2. Диаграмма оценки достоверности результата классификации синтезированного спутникового изображения

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи;

✓ создано математическое обоснование для построения статической и динамической модели ПТС;

✓ на основе проведённого анализа существующих ГИС-технологий разработана структура пространственной и семантической составляющих БД, определены объём и виды необходимой информации для информационно-картографического обеспечения мониторинга ПТС МГ;

✓ разработана концептуальная модель хранения геопространственных данных в серверной многопользовательской СУБД.

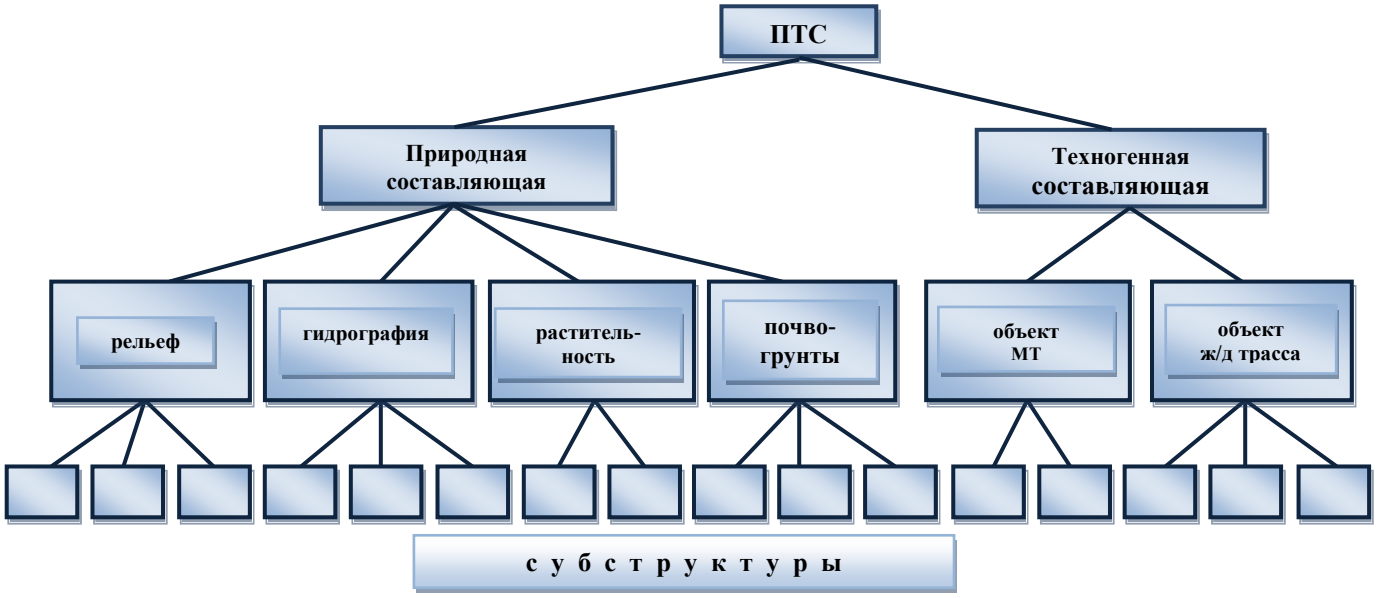


Рис. 3. Схема описания состояния ПТС в базе данных информационно-аналитического комплекса мониторинга ПТС

Состояние ПТС определяется множеством параметров (рис. 3) и геометрически может быть представлено вектором в сложном *n*-мерном многоуровневом пространстве признаков – векторным расслоением. Все параметры ПТС можно условно разделить на 2 класса: природные и техногенные. В векторном выражении это приводит к свёртке *n*-мерного пространства вектора состояния ПТС к двумерному ($n = 2$) с базисом «Природа (тип ПТК)↔ Инженерные сооружения (например, трубопровод)» (рис. 4).

В данном случае наиболее адекватной моделью как относительно числа измерений и точностных показателей, так и ресурсов вычислительной машинной памяти является параметрическая регрессионная модель вектор-функции $\overrightarrow{GTS}$ I степени.

Значение вектор-функции $\overrightarrow{GTS}$ определяется двумя параметрами - $\overrightarrow{ETC}$ и $\overrightarrow{MP}$, общий вид формулы многомерной регрессионной модели имеет вид:

$$Y = a_1 x_1 + a_2 x_2 + c \tag{2}$$

где x_1 – природная составляющая ПТС, в рассматриваемом нами вероятностном пространстве это вероятность появления ПТК данного типа на рассматриваемом участке трассы МГ, x_2 – техногенная составляющая ПТС: вероятность возникновения нарушенных участков на территории ПТК данного типа, a_1, a_2, c – коэффициенты регрессии, Y – состояние ПТС.

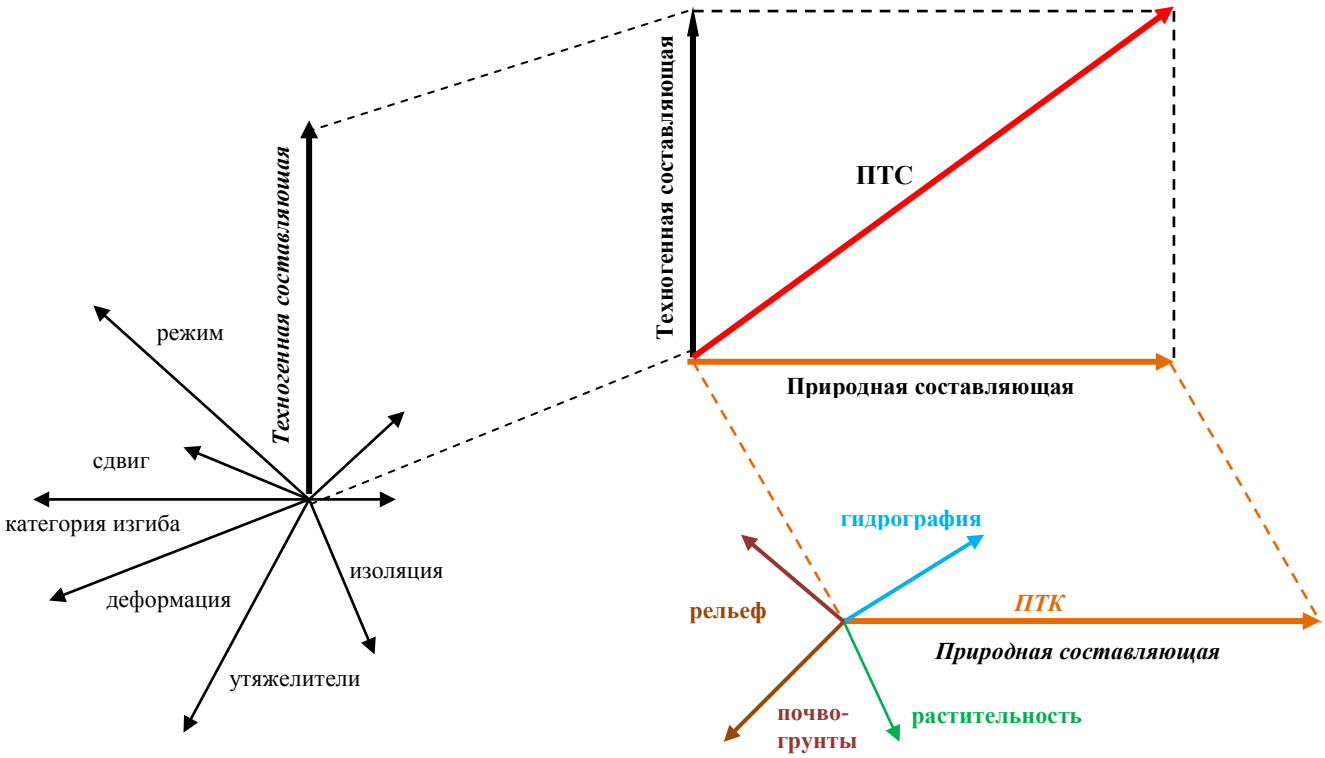


Рис. 4. Математическая модель ПТС, представленная в виде векторного расслоения

Если созданную статическую модель ПТС поставить в зависимость от нового параметра – времени, тогда у нас появляется возможность не только моделировать описанное по факту состояние ПТС, но и получить его оценку на различных этапах её существования. Тогда (2) запишется:

$$Y(x_1, x_2) = a_1 x_1(t) + a_2 x_2(t) + c \tag{3}$$

где: $x_1 = b_1 t + b_0$,

$x_2 = b_1 t + b_0$

b_1, b_0 – коэффициенты регрессии, характеризующие наклон и точку пересечения с осью вероятностей соответственно, t – время.

Система уравнений (3) представляет математическое выражение динамической модели состояния ПТС.

Информационной основой для моделирования текущего и прогнозируемого состояния ПТС служит георелляционная БД (ГБД), представляющая собой хранилище пространственной (растровой и векторной) и семантической информации об объектах ПТС. Реализованная на клиент-серверной архитектуре ГБД обеспечивает распределённый многопользовательский доступ к хранимой информации, не нарушая её целостности. Работа с БД, ввод, редактирование и получение информации по запросу осуществляется посредством пользовательского интерфейса.

Разработка экспериментальной модели комплекса мониторинга линейных ПТС на базе информационных технологий осуществлялась на кафедре АКС МИИГАиК на примере ПТС МГ «Ямбург-Ныда» (рис. 5).

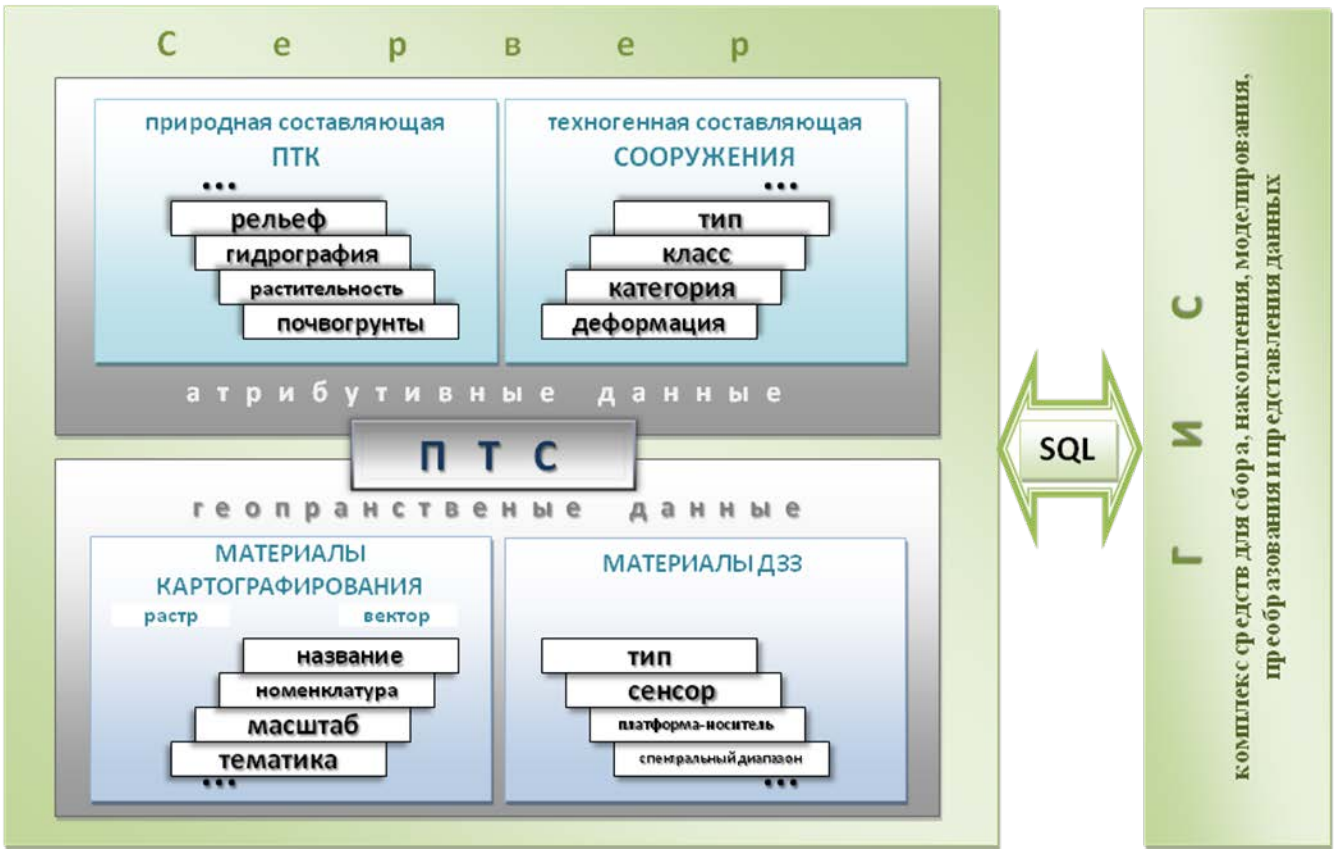


Рис. 5. Структурная схема БД информационно-аналитического комплекса мониторинга ПТС МГ

Как и любой другой пространственный объект, ПТС и её компоненты, можно визуально представить с помощью определённых графических примитивов (точка, линия, полигон) и их сочетаний. Применение ГИС-технологий позволяет

работать с графическим представлением геопространственных данных.

Единая интегрированная среда информационно-аналитического комплекса мониторинга ПТС объединяет преимущества работы с пространственной информацией как средствами ГИС (визуализация и редактирование графических объектов, анализ метрики и т.д.), так и СУБД (семантическое описание объектов, построение запросов различной степени сложности с использованием универсального SQL языка и т.д.) и представлять данные в графическом (например, тематические карты) и текстовом виде (отчёты, таблицы и т.п.) (рис.6).

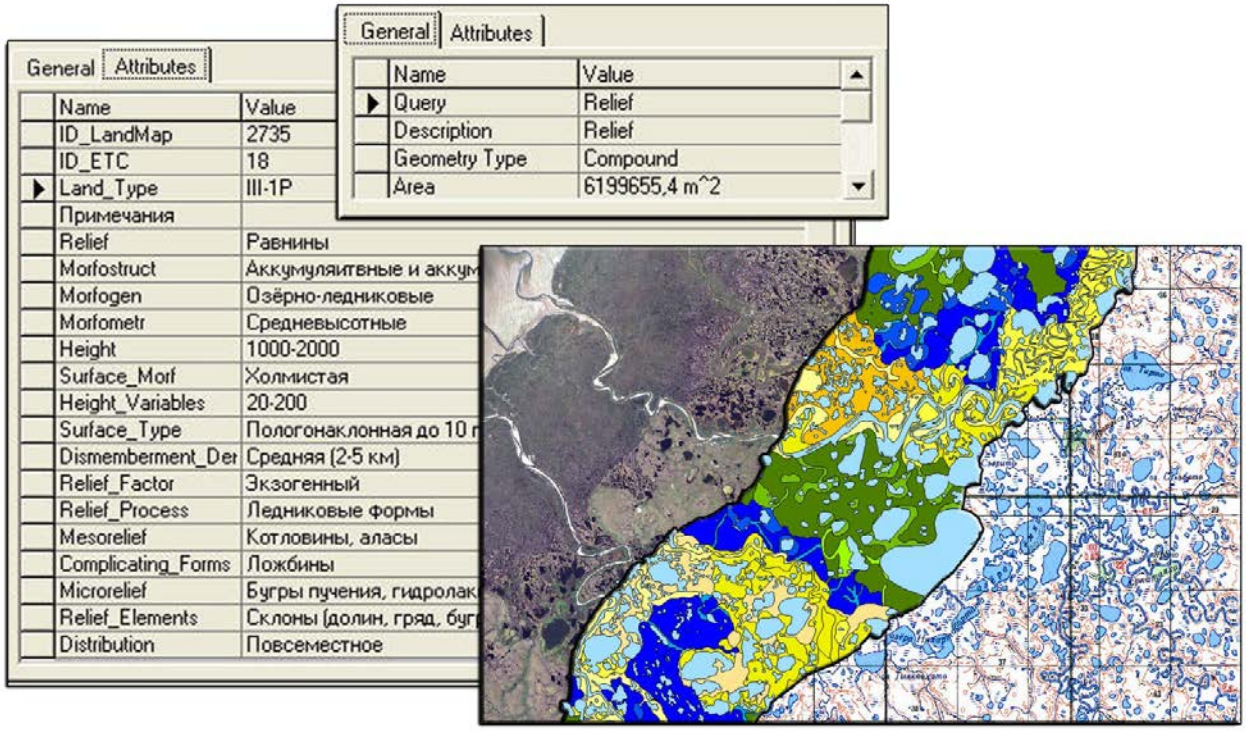


Рис. 6. Объединение и визуализация растровых, векторных и семантических данных в среде ГИС GeoMedia Professional V6.0 на примере фрагмента трассы трубопровода «Ямбург-Ныда»

Четвертая глава содержит результаты экспериментальных работ по созданию информационно-аналитического комплекса мониторинга линейных ПТС при оценке состояния и построения прогнозов динамики ПТС МТ по данным аэрокосмического зондирования. Кроме того, рассмотрены возможности практического применения разработанной методики на основе данных ДЗЗ и ГИС-технологий.

Алгоритм построения динамической модели состояния ПТС рассмотрен на примере ПТС МГ «Ямбург-Ныда»:

1. На первом строится статическая вероятностная модель состояния ПТС,

заданная уравнением множественной регрессии I порядка (2). Коэффициенты регрессии рассчитываются на основе эмпирических данных (материалы полевых обследований и др.)

2. Следующим шагом по материалам ДЗЗ определяется динамика природной среды: количественная оценка изменений площадей ПТК на основе их автоматизированного распознавания по космическим изображениям на определённые моменты времени. Аппроксимация зависимости изменений ПТК от времени – построение частных линейных динамик ПТК и определение коэффициентов линейной регрессии.

$$x_1 = b_1 t + b_0 \quad (4)$$

где: b_1, b_0 – коэффициенты регрессии, характеризующие наклон и точку пересечения с осью абсцисс (вероятности *P*) соответственно, *t* – переменная – время.

3. Расчёт динамической модели осуществляется на основе созданной ранее статической модели.

Задаваясь параметром *t* (момент времени, на который мы хотим получить прогноз) рассчитываем значения x_1 по формуле (4) для каждого ПТК. x_2 определяем как условную вероятность $x_2 = x_2|x_1(t)$. Значения *Y* рассчитываем на основе уравнения статической модели (2). По рассчитанным, *Y* во втором приближении уточняем коэффициенты.

Система уравнений:

$$Y(x_1, x_2) = a_1 x_1(t) + a_2 x_2(t) + c \quad (5)$$

где: $x_1 = b_1 t + b_0$,

$x_2 = x_2|x_1(t)$

с новыми коэффициентами a_1, a_2, c и есть искомая динамическая модель вероятности нарушения равновесия ПТС.

В табл. 3 представлен результат расчёта динамической модели состояния линейных ПТС на 2010 г. на примере ПТС МГ «Ямбург-Ныда» и построение прогноза наиболее вероятного нарушения.

Для оценки устойчивости ПТК максимальную вероятность нарушения равновесия ПТС разделим на 5 интервалов, соответствующих 5 классам устойчиво-

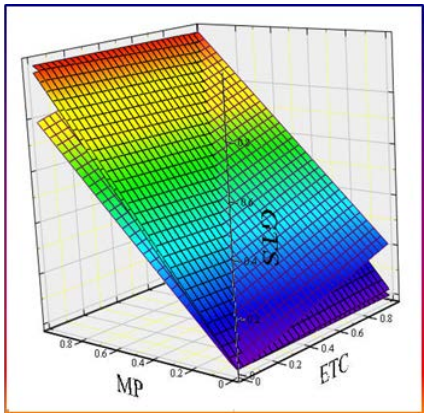
сти ПТК к техногенному воздействию: крайне неустойчивый, неустойчивый, средней устойчивости, относительно устойчивый, устойчивый.

Возможности практического использования разработанной методики рассмотрены на примере проектируемой трассы МГ «Обская-Бованенково».

Таблица 3

Расчет динамической модели ПТС МГ «Ямбург-Ныда» для трёх типов нарушений

$t = 2010$ г.					
	Тип нарушения				
ПТК	всплытие	размыв	подтопление	$Y = a_1x_1 + a_2x_2 + c$	Наиболее вероятный тип нарушения
Статическая модель					
	$a_1 = -0.08207$ $a_2 = 1.07632$ $c = 0.00540$	$a_1 = 0.24845$ $a_2 = 0.76294$ $c = -0.01333$	$a_1 = 0.03358$ $a_2 = 0.96882$ $c = -0.00317$		
4	0.00476	0.00362	0.00204		всплытие
1	0	0.04099	0.00415		размыв
7	0	0.04780	0.00500		размыв
8	0	0.04370	0.00448		размыв
5	0.23709	0.28220	0.24491		размыв
6	0	0.04764	0.00498		размыв
9	0.01013	0.02243	0.01019		размыв
3	0.00968	0.01815	0.00895		размыв
2	0.00328	0	0		всплытие
II приближение					
	$a_1 = -0.02156$ $a_2 = 1.01654$ $c = 0.00251$	$a_1 = 0.21410$ $a_2 = 0.79186$ $c = -0.00578$	$a_1 = 0.02670$ $a_2 = 0.97500$ $c = -0.00169$		



Территория п-ова Ямал, где предполагается строительство трассы МТ «Обская-Бованенково», как и территория Тазовского п-ова, находятся в пределах одной широтной географической зоны – криолитозоны, природно-климатические условия прохождения проектируемой трассы МГ «Обская-Бованенково» аналогичны условиям эксплуатации рассмотренного в данной работе трубопровода «Ямбург-Ныда». Это позволяет экстраполировать результаты анализа характера взаимодействия компонентов линейной ПТС «Ямбург-Ныда» на предполагаемую ПТС «Обская-Бованенково» на территории п-ова Ямал для построения её прогнозно-динамической модели. Такой подход позволит осуществлять грамотное проектирование, строительство и эксплуатацию инженерных сооружений и повысить эффективность управления работой МГ с учётом накопленного опыта.

Функционально, в работе информационно-аналитического комплекса мониторинга ПТС МТ можно выделить 3 этапа:

1. отбор и систематизация имеющейся информации, заполнение базы БД,

2. объединение и визуализация геопространственных данных в интегрированной ГИС среде,

3. анализ данных, комплексная оценка состояния ПТС и построение прогнозно-динамических моделей.

На первом этапе осуществляется сбор и анализ информации для занесения в БД. В частности производится:

✓ подбор стандартного масштабного ряда топографических картматериалов (растровых или векторных) в государственной системе координат, служащих топоосновой информационно-аналитического комплекса; занесение карт на сервер в БД,

✓ подбор материалов тематического картографирования в растровом или векторном виде,

✓ подбор материалов аэрокосмических съёмок на интересующую нас территорию,

✓ семантическое описание компонентов исследуемой ПТС.

Поскольку рассматриваемая ПТС находится в стадии проектирования, у нас нет возможности включить в описание техногенную составляющую. Проектируемый трубопровод «Обская-Бованенково» и рассмотренный выше МГ «Ямбург-Ныда» обладают идентичными техническими параметрами, поэтому в данной ситуации мы вправе прибегнуть к методу экстраполяции и принять техногенную составляющую и реакцию ПТС на антропогенное воздействие равными соответствующим показателям рассмотренной ПТС МГ «Ямбург-Ныда».

Основой для построения прогнозно-динамической модели проектируемой ПТС являются материалы аэрокосмических съёмок. Анализ динамики природной среды по данным ДЗЗ, полученным на различные моменты времени, в конечном итоге, позволяет сделать вывод об устойчивости выделенных типов ПТК.

После занесения в БД всей необходимой информации, *следующим этапом* работы информационно-аналитического комплекса мониторинга МТ является объединение и визуализация геопространственных данных в интегрированной среде ГИС. Таким образом, мы получаем возможность одновременной работы с графическим представлением объектов земной поверхности и с хранящейся в БД

их семантической атрибутикой.

На *заключительном этапе* осуществляется анализ данных, комплексная оценка состояния ПТС и построение прогнозно-динамических моделей.

По результатам автоматизированной классификации аэрокосмических изображений вычисляются суммарные площади, занимаемые каждым типом ПТК, и вероятность появления данного типа ПТК на рассматриваемой территории.

Вычисленные вероятности нормируются и по ним определяются параметры линейных регрессий для каждого типа ПТК относительно времени t, анализируется устойчивость ПТК (табл. 4).

Таблица 4

Определение параметров линейной регрессии по нормированным вероятностям появления ПТК

ПТК	уравнение линейной регрессии $P_{norm} = b_1 t + b_0$
водн. об. 1	$P_{norm} = 0.00084t - 1.43040$
водн. об. 2	$P_{norm} = 0.00284t - 5.45143$
6	$P_{norm} = 0.00125t - 2.30813$
16	$P_{norm} = 0.00121t - 2.27097$
9	$P_{norm} = 0.00141t - 2.65318$
20	$P_{norm} = 0.00179t - 3.44079$
5	$P_{norm} = 0.00601t - 11.86726$
21	$P_{norm} = -0.00128t + 2.62087$
17	$P_{norm} = -0.01210t + 24.29696$
12	$P_{norm} = -0.00801t + 16.18946$
18	$P_{norm} = -0.01837t + 36.91145$
15	$P_{norm} = 0.00741t - 14.65304$
4	$P_{norm} = -0.00277t + 5.68994$
10	$P_{norm} = -0.00197t + 4.04379$
1	$P_{norm} = -0.00330t + 6.74261$
7	$P_{norm} = -0.00379t + 7.62442$
8	$P_{norm} = -0.00554t + 11.08189$
13	$P_{norm} = 0.00169t - 3.26690$
11	$P_{norm} = -0.00035t + 0.80619$
3	$P_{norm} = 0.01607t - 31.71559$
инж. соор.	$P_{norm} = 0.02139t - 42.21774$

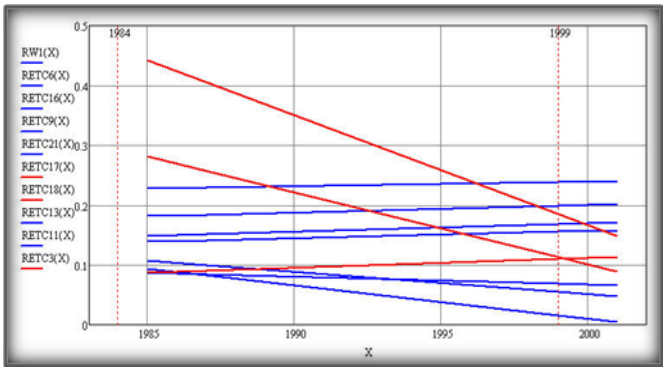


Рис. 7. Линейная аппроксимация динамики ПТК для наиболее и наименее устойчивых типов ПТК

- минимальные изменения ПТК

- максимальные изменения ПТК

Проведённый анализ показал, что наибольшей устойчивостью обладают ПТК плоских водораздельных сухих поверхностей и участков высоких пойм, а также пологие умеренно расчленённых поверхностей ложбин стока. Наименьшей степенью устойчивости обладают ПТК расчленённых и заболоченных склоновых и приводораздельных поверхностей, плоских заболоченных участков низких пойм

с морозобойными полигонами.

По результатам анализа устойчивости ПТК рассчитывается прогнозно-динамическая модель, на основании которой строится схема устойчивости ПТК.

Применение подобных схем позволит учесть факторы природной среды при проектировании трубопровода и выбрать наиболее оптимальную трассу и параметры инженерных конструкций для их эффективного функционирования, а также обеспечить максимально возможную устойчивость ПТС (рис. 8).

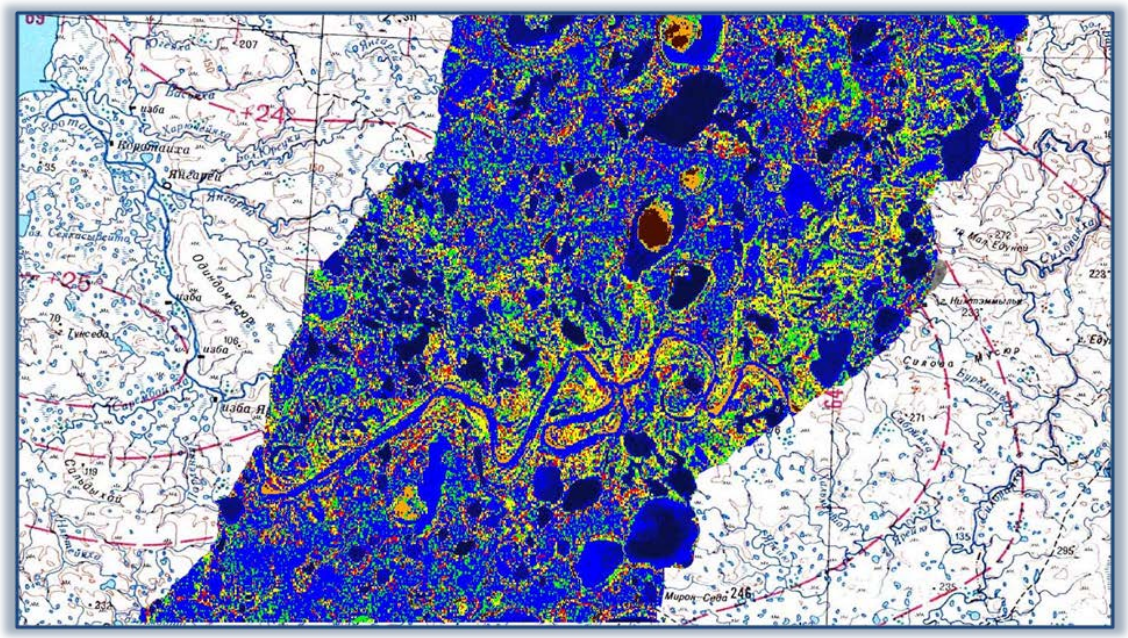


Рис. 8. Схема устойчивости ПТК к техногенному воздействию с легендой (справа)

	класс устойчивости	цветовая схема
1	крайне неустойчивый	
2	неустойчивый	
3	средней устойчивости	
4	относительно устойчивый	
5	Устойчивый	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные и практические результаты, полученные в ходе диссертационных исследований заключаются в следующем:

1. Разработана технология систематизации, обработки и оценки информативности данных ДЗЗ для выявления потенциальной опасности природных процессов и определения динамических состояний природно-технических систем и их элементов. На основе экспертного факторного статистического анализа типы ПТК были дифференцированы на группы с различной степенью устойчивости и подверженности изменениям в результате техногенной нагрузки (крайне неустой-

чивый, неустойчивый, средней устойчивости, относительно устойчивый, устойчивый).

2. Разработана параметризированная модель динамики переменных составляющих ПТС в пространственно-временном контексте, позволяющая описывать изменение переменных как функцию состояния виртуальных факторов.

3. Реализована одна из основных задач, формулируемая при разработке информационно-аналитической ГИС - сформировать информационный базис для реальной комплексной оценки состояния территории и построения прогнозных моделей при проектировании различных магистральных линейных сооружений.

4. Создан информационно-аналитический ГИС-проект, позволивший:

- оценить состояние и динамику действующей трассы МГ «Ямбург-Ныда», расположенной на территории Тазовского п-ова,

- построить прогноз на проектируемый магистральный газопровод «Обская-Бованенково», расположенный на п-ове Ямал.

Всесторонний учёт особенностей взаимодействия инженерно-технических компонентов ПТС с условиями природной среды позволяет осуществлять эффективное и грамотное управление на всех стадиях проектирования, строительства и эксплуатации трасс магистральных линейных сооружений, построенное на принципах наиболее экологически безопасных технологий.

СПИСОК РАБОТ,

опубликованных по теме диссертации:

В том числе в периодических изданиях, рекомендованных ВАК:

1. И.А. Бродская, С.М. Попов. Возможности использования данных аэрокосмического зондирования и ГИС-технологий для оценки состояния магистральных трубопроводов. Геодезия и аэрофотосъемка, №6, 2007, с. 78-86.

2. И.А. Бродская. Интеграция ГИС-технологий, традиционных исследований и методов аэрокосмического зондирования для мониторинга магистральных трубопроводов. Геодезия и аэрофотосъемка, №3, 2008, с. 141-150.

3. И.А. Бродская, А.Е. Алтынов, С.М. Попов, Н.Н. Хренов. К вопросу использования материалов гиперспектральной и радиолокационной съёмки для мо-

ниторинга линейных природно-технических систем. Тезисы докладов международной научно-технической конференции «Геодезия, картография и кадастр – XXI век», посвящённой 230-летию основания Московского государственного университета геодезии и картографии, 2009, с. 116-117.

4. И.А. Бродская, А.Е. Алтынов, С.М. Попов, А.Ф. Стеценко. Разработка рабочего макета системы картографирования динамики и оценки состояния растительных покровов по ДЗЗ. Тезисы докладов международной научно-технической конференции «Геодезия, картография и кадастр – XXI век», посвящённой 230-летию основания Московского государственного университета геодезии и картографии, 2009, с. 127-128.

5. И.А. Бродская. Организация базы данных информационно-аналитического комплекса мониторинга природно-технических систем. Тезисы докладов международной научно-технической конференции «Геодезия, картография и кадастр – XXI век», посвящённой 230-летию основания Московского государственного университета геодезии и картографии, с. 165-166.

6. И.А. Бродская, И.В. Алмазов, А.Ф. Стеценко. Использование статистических признаков для распознавания лесных угодий по материалам аэрофотосъемки. Геодезия и аэрофотосъемка, №5, 2009, с. 72-78..

7. И.А. Бродская. Производство аэросъемочных работ НП АГП «Меридиан+». «Пространственные данные», №3, 2009 г., с. 42-44.

8. И.А. Бродская, А.Е. Алтынов, С.М. Попов. Методика и алгоритмы построения прогнозов динамики состояния природно-технических систем магистральных трубопроводов. Геодезия и аэрофотосъемка, №6, 2009, с. 77-84.