

На правах рукописи



Беляев Александр Константинович

**МЕТОДИКА ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОХРАННЫХ МОНИТОРИНГОВ
МЕСТНОСТИ НА БАЗЕ ГЕОСЕНСОРНОГО НАБЛЮДЕНИЯ И
ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ**

Специальность 1.6.20. Геоинформатика, картография

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва – 2026

Работа выполнена на кафедре «Прикладной информатики» Института информационных систем и геотехнологий ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет».

Научный руководитель: **Биденко Сергей Иванович,**
доктор технических наук, профессор

Официальные
оппоненты: **Попович Василий Васильевич,**
заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук,
профессор, АО «СПИИРАН - Научно-техническое Бюро
Высоких Технологий», ведущий конструктор

Вагизов Марсель Равильевич,
доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Санкт-
Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна», профессор кафедры
автоматизации технологических процессов и производств

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет
геосистем и технологий»

Защита диссертации состоится 3 декабря 2026 г. в 12:30 на заседании диссертационного совета 24.2.333.03 при Московском государственном университете геодезии и картографии (МИИГАиК) по адресу: 105064, Москва, Гороховский пер., 4, зал заседаний Ученого совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного университета геодезии и картографии и на сайте: <https://miigaik.ru/upload/iblock/379/io07852yl33v8xf1ybxdrqv876z146ao.pdf>

Автореферат разослан «___» _____ 2026 года.

Учёный секретарь
диссертационного совета

кандидат технических наук, доцент

Скрыпичина Татьяна Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Региональная сеть операционно-логистических центров (РСЛЦ) характеризуется значительным территориальным охватом и сложным содержательным функционированием. Такая сеть функционирует как территориальная система, испытывающая значительное влияние природных, техногенных и социальных факторов геосреды.

Поддержание ее целостности и устойчивого функционирования требует непрерывного полнозонального охранного мониторинга местности (ОММ). Центральным элементом ОММ является геосенсорная территориально распределенная платформа (ГТРП). Эта киберфизическая платформа включает пространственно локализованные средства наблюдения и обнаружения (геосенсоры), связи, элементы инженерно-технических средств охраны (ИТСО), состояние которых зависит от размещения и воздействий окружающей среды (ОС).

В настоящее время основу системы обеспечения и поддержания технической готовности (ТГ) составляют классический аппарат предиктивной аналитики (АПА) и регламентные методы обслуживания. Основное ограничение этого подхода в части ОММ состоит в отсутствии учета влияния негативных факторов геосреды (природные, техногенные, социальные) на работу технических средств мониторинга и ориентированность преимущественно на изолированные элементы системы. Кроме того, методы предиктивной аналитики (ПА) не позволяют производить комплексную оценку и прогнозирование состояния ОММ РСЛЦ и не поддерживают выработку пространственно-содержательных управленческих директив.

Выявлено общее противоречие между потребностью в совместном территориальном и предиктивном анализе состояния технической подсистемы (ТПС) ОММ и ограниченными возможностями существующих ПА-подходов, рассматривающих пространство, состояние и прогноз отдельно.

Требуют своего разрешения частные противоречия, которые состоят в отсутствии: геоинформационного модельного аппарата представления обстановки в системе охранного мониторинга региональной операционно-логистической сети как зависимости характеристик ее состояния от пространственно-временных показателей процессов на территории; геоинформационного ситуационно-предиктивного (СП) методического аппарата оценки и формирования пространственно-содержательных рекомендаций по поддержанию функциональной и пространственно-структурной целостности территориально распределенных объектов ОММ РСЛЦ.

Таким образом, актуальность работы состоит в необходимости преодоления выявленных противоречий.

Объект исследования: геосенсорные сети как система сбора и обработки пространственных данных для поддержки территориального управления.

Предмет исследования: модельно-методический аппарат описания и ситуационно-предиктивного анализа геоситуации в системе охранных мониторингов операционно-логистических центров, выработки пространственно-содержательных рекомендаций по обеспечению работоспособности ГТРП ОММ, функционирующих в условиях пространственно-временной неоднородности факторов окружающей среды.

Цель диссертационного исследования: разработка геоинформационного ситуационно-предиктивного модельно-методического аппарата представления и оценки состояния технической подсистемы ОММ РСЛЦ.

Задачи исследования:

1. проанализировать состав, структуру и специфику системы охраны РСЛЦ (ОММ РСЛЦ) и формализовать ограничения регламентного управления ТОиР и контроля в условиях территориальной неоднородности;

2. разработать геоинформационную модель обстановки в охранной системе РСЛЦ в аспекте обеспечения ее технической готовности;

3. разработать геоинформационную ситуационно-предиктивную методику оценки и прогнозирования технического состояния ОММ, обеспечивающую формирование пространственно-содержательных рекомендаций по поддержанию ТГ;

4. разработать геоинформационную программную методику расчета и отображения контроллинговых предписаний по поддержанию ТГ ОММ для оценки эффективности модельно-методического аппарата и выработки практических рекомендаций.

Научная новизна исследования:

1. Предложена геоинформационная модель обстановки в территориально-распределенной системе охранных мониторингов местности региональной сети логистических центров, отличающаяся введением дополнительных классов геообъектов технической подсистемы ОММ и геосенсорной территориально-распределенной платформы, расширенным составом их пространственных и атрибутивных характеристик, а также введением оценочных отношений наряду с пространственными и содержательными отношениями, что обеспечивает непосредственное представление и оценку состояния технических средств в условиях воздействия динамических факторов геосреды.

2. Разработана геоинформационная ситуационно-предиктивная методика, позволяющая осуществлять совместный территориально-предиктивный анализ текущего и прогнозного состояния технических средств с учетом факторов геосреды, строить геоизображения (ГИз) прогнозного ухудшения состояния, ранжировать исследуемые технические объекты ОММ по прогнозируемой вероятности отказа и формировать адресные решения по поддержанию и контролю функциональной и пространственно-структурной целостности ОММ РСЛЦ.

3. Разработана геоинформационная программная методика автоматизации процессов ситуационно-предиктивного контроля и геоконтроллинга технического состояния системы ОММ, включающая алгоритмы и программные решения для расчета и геоинформационного отображения текущего и прогнозного состояния приборов, систем и оборудования ОММ, формирования контроллинговых предписаний, а также построения маршрутов ТОиР с учетом текущей геоситуации и территориальной доступности объектов ОММ.

Теоретическая значимость работы определяется расширением модельно-аналитических возможностей геоинформатики применительно к сложным территориально-распределённым социотехническим системам. В диссертационной работе формализовано представление обстановки как взаимосвязанной совокупности геообъектов, для которых учитываются пространственные, содержательные и опциональные оценочные отношения упорядоченности, выделены классы объектов и геосистем, критичные для функционирования рассматриваемой системы ОММ.

Развитие теоретического аппарата связано с установлением аналитических зависимостей между параметрами территориальной обстановки, факторами геосреды и техническим состоянием элементов системы ОММ. Геоинформационный анализ интегрирован с предиктивной составляющей, что позволяет учитывать не только текущее состояние объектов, но и его пространственно-временную динамику. В результате методы геоинформационного моделирования и ПА объединены в единый модельно-методический аппарат оценки состояния территориально-распределённых систем и формирования пространственно-содержательных рекомендаций поддержания ТГ ОММ.

Практическая ценность работы состоит в том, что результаты доведены до

машинных методик, алгоритмов и программ и могут служить основой для разработки технических заданий на новые ГИС-продукты. По результатам верификации обеспечено повышение качества определения текущих и прогнозных оценок технического состояния ОММ РСЛЦ на горизонтах 7 и 14 суток на 12% и 10% соответственно, сокращение времени выявления отказов на 8%, уменьшение продолжительности выездного обслуживания на 10% за счёт оптимизации маршрутов ТОиР с учётом доступности объектов и условий прохождения маршрутов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Геоинформационная модель обстановки в территориально-распределенной системе охранных мониторингов местности региональной сети логистических центров, позволяющая учитывать пространственно-атрибутивные характеристики технических средств ОММ, отношения между ними и динамические факторы геосреды при представлении состояния и функционирования технической подсистемы ОММ.

2. Геоинформационная ситуационно-предиктивная методика оперативной оценки и прогнозирования обстановки в системе охранных мониторингов региональной логистической сети, заключающаяся в совместном территориально-предиктивном анализе текущего и прогнозного состояния технических средств с учетом факторов геосреды и формировании пространственно-содержательных рекомендаций по поддержанию их технической готовности.

3. Геоинформационная программная методика автоматизации процессов ситуационно-предиктивного контроля и геоконтроллинга технического состояния системы охранных мониторингов местности, таких как расчет и геоинформационное отображение текущего и прогнозного состояния приборов, систем и оборудования ОММ, средств сервисного обслуживания; формирование контроллинговых предписаний и маршрутов технического обслуживания и ремонта.

Методы исследования. При проведении исследования для формирования геоинформационных моделей и методик описания и анализа ОММ использовались методы системного анализа, геоинформационного и математико-картографического моделирования, пространственного и факторного анализа, теории случайных процессов, теории вероятностей и математической статистики, теории надёжности, сетевого анализа, а также методы геоинформационной поддержки управления и геоконтроллинга. Для прогнозирования технических состояний применялись непрерывные цепи Маркова и уравнения Колмогорова, методы машинного обучения использовались как адаптивный аппарат для уточнения геоинформационных параметров функционирования ГТРП ОММ.

Методологическую базу исследования составили труды ведущих ученых: Алаева Э.Б., Андреевой Е.А., Берлянта А.М., Браткова В.В., Бунге В., Беленко В.В., Вагизова М.Р., Верещака Т.В., Гарсия М., Гусейн-Заде С.М., Душкина А.В., Евтушенко Ю.Г., Журкина И.Г., Капралова Е.Г., Кравцовой В.И., Лисицкого Д.В., Лурье И.К., Матерухина А.В., Палюха Б.В., Перцика Е.Н., Поповича В.В., Савиных В.П., Самсонова Т.Е., Саушкина Ю.Г., Тикунова В.С., Тишкова А.А., Трофимова А.М., Царьковой Е.Г., Цветкова В.Я., Чибуничева А.Г., Янкелевич С.С.

Обоснованность и достоверность полученных научных результатов обусловлены применением апробированных методов анализа и синтеза, всесторонним учетом факторов, влияющих на результаты исследования, доведением теоретических выкладок до конечных машинных алгоритмов и программ, совпадением полученных результатов с представлениями ведущих экспертов. Достоверность подтверждается внедрением, апробацией и публикацией результатов исследования.

Соответствие паспорту специальности. Область исследований соответствует пунктам 6, 20 паспорта научной специальности 1.6.20. Геоинформатика, картография.

Апробация результатов работы. Результаты работы докладывались и обсуждались на 8 международных, 2 всероссийских и 1 межрегиональной научных конференциях (с публикацией в сборниках докладов).

Публикации. По теме исследования автором опубликованы 12 статей в научных изданиях. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 3 статьях в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК, входящих в перечень российских рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по научной специальности 1.6.20. Геоинформатика, картография (технические науки). Получено 2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

Результаты работы реализованы и внедрены: в АО «КБ НАВИС» в 3-й этап НИР «Развитие-ГЛОНАСС»; в НИИ ОСИС ВМФ ВУНЦ ВМФ «ВМА» во 2-й этап НИР «Аналитика»; в АО «ГНИНГИ» в НИР «Ветер»; в АО «Радар ММС» в ОКР «Создания комплекса средств магнитной съемки»; в АО «НПО «Импульс» в НИР «А-Монитор»; а также в учебный процесс ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» в учебную дисциплину (УД) «Аналитика больших данных»; ФГКВОУ ВО «Военная ордена Жукова академия войск национальной гвардии РФ» в УД «Информационные технологии в науке и образовании», «Предметное содержание выбранной научной отрасли»; ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина)» в УД «Тактическая и тактико-специальная подготовка»; ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет» в УД «Создание геоинформационной системы»; ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» в УД «Геоинформационные системы в экологии и природопользовании», «Математические методы в экологии и природопользовании», «Техногенные системы и экологический риск».

Личный вклад соискателя: в теоретическом плане: дана территориальная интерпретация охранного мониторинга как многоуровневой региональной распределенной контроллинговой геосистемы; определена объектно-субъектная сущность геосенсора в системе ОММ; разработана геомодель обстановки в системе ОММ РСЛЦ, в которой: введены и исследованы особые геопространственные категории «ГТРП», «сервис-геоконтроллинг», опциональные (оценочные) отношения, параметры внешних и внутренних антропогенных воздействий, ситуационно-тактические характеристики обстановки; получены адаптированные аналитические зависимости, учитывающие территориальность системы ОММ РСЛЦ и негативные факторы геосреды в модельном аппарате ПА;

в методическом отношении: определен порядок согласования и последовательность совместного применения методов пространственного анализа, АПА и регламентного подхода к поддержанию ТГ ОММ; процедуры формирования контроллинг-активного оценочного геоизображения, пространственно-содержательных рекомендаций и построения сервисной маршрутизации с учетом факторов геосреды;

в практическом приложении: разработаны интерактивные программные решения по оценке и регулированию ТГ ОММ, обеспечивающие: интегральное динамическое отображение на единой семантико-территориальной основе разнородных геообъектов ГТРП ОММ, окружающей среды, подсистемы ТГ-сервиса; переход от карты-подложки обстановки к активному контроллинговому геоизображению (показывает, как действовать, где действовать, по какому маршруту); территориальный контроль сервисных процедур.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка сокращений и обозначений, списка литературы. Диссертационная работа содержит 169 страниц машинописного текста, 80 рисунков, 23 таблицы. Список литературы включает 151 наименование.

Содержание работы

Во **введении** определены актуальность, сформулированы объект, предмет, цель и задачи исследования. Определены структура исследований, выносимые на защиту положения. Определена научная новизна, теоретическая и практическая значимость, степень достоверности и апробация результатов исследования.

В разделе 1 выполнен анализ состава и структуры охранных мониторингов местности, их технической и сенсорной составляющих, связи с внешней средой, существующего модельно-методического аппарата анализа и прогнозирования технического состояния ОММ РСЛЦ. Установлено:

1. ОММ РСЛЦ представляют собой сложную многоуровневую территориально распределенную иерархическую геосистему (рис. 1), элементы которой размещаются, функционируют, взаимодействуют и обслуживаются в границах конкретного района.



Рисунок 1 – Иерархическая пространственно-функциональная структура РСЛЦ и ТПС ОММ: РЛК – региональный логистический куст; ОбРЛК/ОММ – объект РЛК

Территориальность системы ОММ выражается в географической локализации объектов относительно поверхности Земли, значительном территориальном распределении, пространственными связями и территориальными отношениями между ее собственными элементами и другими объектами, явлениями окружающего мира. ОММ испытывают воздействие природных, техногенных, социальных факторов геосреды. Свойство территориальности ОММ обуславливает необходимость применения особого геопространственного модельно-методического аппарата для анализа системы в целом и ее технических элементов.

2. Особенность системы контроля РСЛЦ состоит в гибридной уязвимости. Она подвергается деструктивным воздействиям не только внешней среды (природные, техногенные, социальные), но и внутренних антропогенных факторов – некомпетентности персонала, саботажа, порчи имущества, правонарушений.

3. В составе технической подсистемы ОММ выделена геосенсорная территориально распределенная платформа как функциональная «категория» (рис. 2).

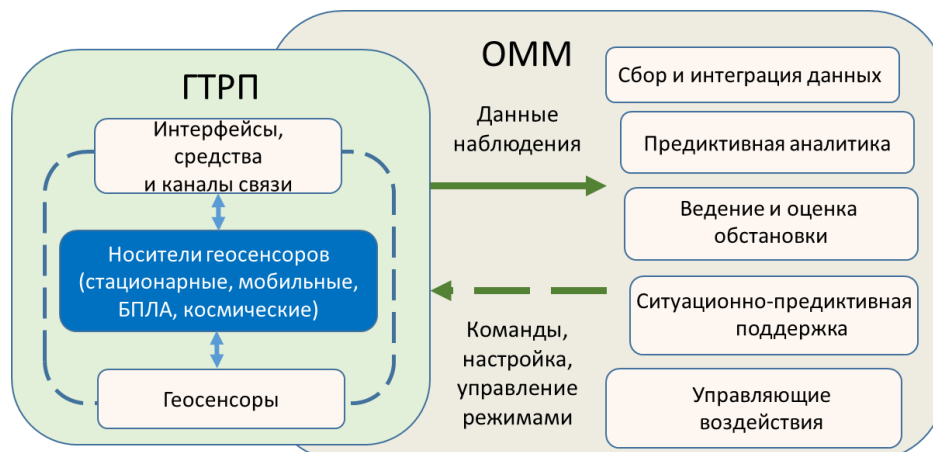


Рисунок 2 – Состав и структура геосенсорной территориально распределенной платформы

Ее особенность состоит в возможности изменения состава средств наблюдения под задачу, район и текущую обстановку. За счет единых интерфейсов в состав платформы могут включаться стационарные, мобильные, БПЛА-носители геосенсоров, а также видеосенсоры, сейсмо- и вибросенсоры, тепловизионные, радиолокационные, акустические, метеорологические и экологические датчики.

4. Центральным элементом платформы являются геосенсоры. Выявлена тройственная сущность системы геосенсоров ГТРП. Они являются: средством обнаружения нарушителей, деструктивных элементов; средством наблюдения за окружающей средой и измерения параметров физических полей Земли (ФПЗ); элементом технического функционала, требующим контроля его технического состояния.

5. Определены группы факторов, которые влияют на функционирование мониторингов: природно-климатические; техногенные; социальные; географо-территориальные; эксплуатационно-технические.

Таким образом, выявлен проблемный вопрос, связанный с необходимостью интеграции геоинформационных методов с АП для решения вопроса адекватной оценки и прогнозирования состояния, а также формирования территориально-содержательных рекомендаций по поддержанию ТГ ОММ. Задача исследования – построение трех последовательных отображений множества геопространственных данных о ситуации и территориальной активности в ОММ РСЛЦ (рис. 3).

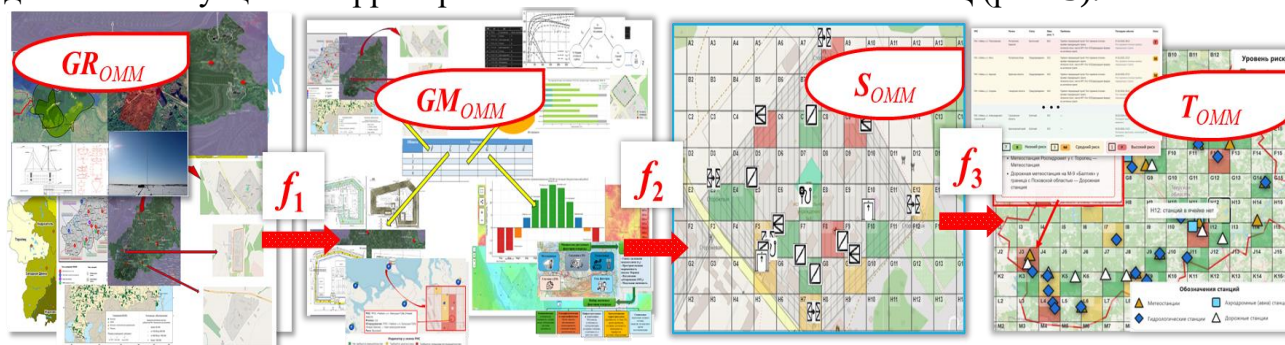


Рисунок 3 – Иллюстрация схемы постановки задач: $GR_{ОММ}$ – реальная геоситуация, оперативные данные об обстановке в системе ОММ; $GM_{ОММ}$ – динамическая геомодель обстановки в системе ОММ; $S_{ОММ}$ – оценка обстановки в системе ОММ; $T_{ОММ}$ – пространственно-содержательные рекомендации по ТООП; f_1 - отображение обстановки $GR_{ОММ}$ в геомодель ситуации $GM_{ОММ}$; f_2 – отображение геомодели $GM_{ОММ}$ в оценку геоситуации ОММ $S_{ОММ}$; f_3 – отображение оценки обстановки $S_{ОММ}$ в пространственно-содержательные рекомендации $T_{ОММ}$ по поддержанию функциональной целостности ОММ

Отображения f_1 , f_2 , f_3 реализуются с помощью модельно-методического аппарата, аналитических зависимостей и процедур математического и геопространственного описания, преобразования, отображения, оценочного анализа больших динамических

массивов гидрометеорологической, ситуационной геоинформации (ГИ) с использованием инструментов, формализмов, процедур и методик хорологизации, топологизации, анаморфирования, генерализации, масштабирования, утрирования и других приложений геоинформатики.

В разделе 2 исследована модель обстановки в территориальной системе охранных мониторингов региональной операционно-логистической сети. Геомодель ОММ формализуется через представление ее структуры, состава и содержания и вводится через описание геообъектов (ГО) ОММ и отношений над ними.

Структура геомодели обстановки в территориальной системе ОММ GM_{OMM} представляется как множество ее геообъектов $Gobj_{OMM}$ (географических, хозяйственных) с определенными над ними отношениями упорядоченности Rel_{OMM} . В отличие от известных описаний структур $GM_{OMM} = (S_{Gobj_{OMM}}, S_{Rel_{OMM}}), S_{Gobj_{OMM}} \subset (R^m, S^n), m = \overline{2,3}, n \gg m$, где $S_{Gobj_{OMM}}$ – множество ГО ОММ; $S_{Rel_{OMM}}$ – множество отношений пространственной и содержательной упорядоченности над ГО ОММ, введены и исследованы:

1) дополнительные классы специфических ГО (рис. 4) – элементы территориально-распределенной технической подсистемы ОММ, ГТРП, отдельные логистические центры (ЛЦ), периметры, КПП, складские и погрузочно-разгрузочные зоны, контроллеры, узлы связи и электропитания, кабельные трассы, которые являются субъектами и объектами окружающей геосреды.

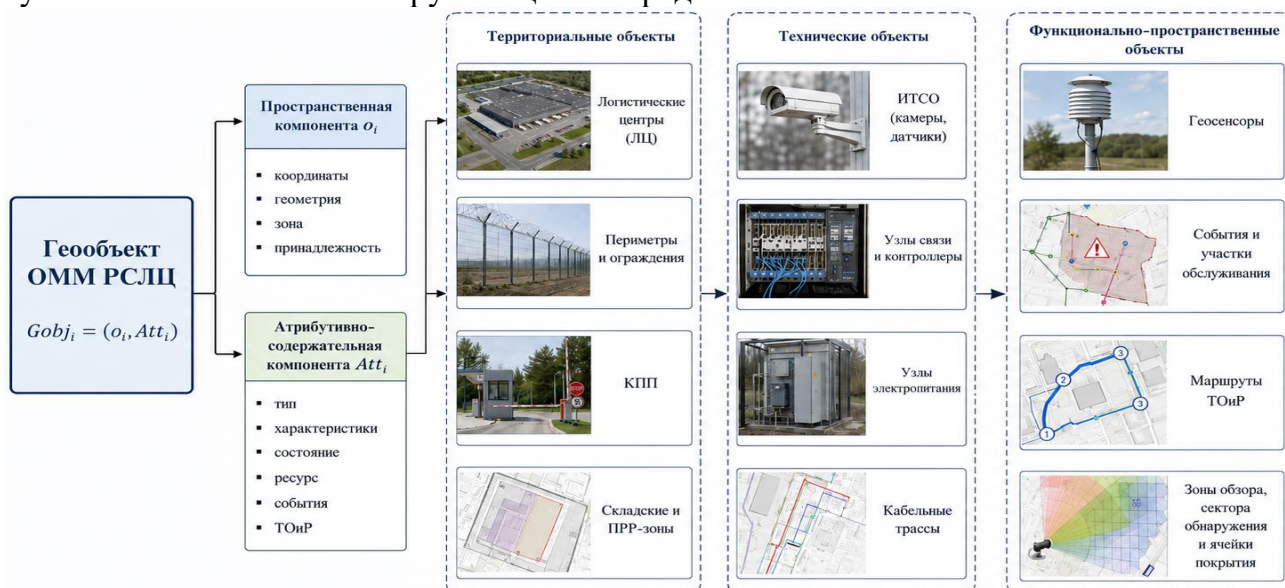


Рисунок 4 – Виды, группы и отдельные ГО ОММ РСЛЦ

Описаны такие специфические свойства нового класса ГО как: а) характеристики собственного пространства $Gobj_{OMM}$ – топологически не связанное пространство размещения и зон действия ГТРП ОММ, динамические параметры территориальной локализации акторов «нарушитель» и «мобильная группа тех. обслуживания»; б) характеристики многомерного пространства признаков (МПП) $Gobj_{OMM}$ – описание эндо- и экзо- угроз функциональной целостности РСЛЦ, тройственность характеристик ГТРП как средства обнаружения деструктивных элементов, как субъекта ТОиР и как средства наблюдения и измерения ФПЗ. В отличие от обычного технического объекта, такой $Gobj_{OMM}$ содержит геоинформационные динамические параметры эксплуатации: периодичность контроля, продолжительность ТО, очередность обслуживания и маршрут ТОиР.

Таким образом, выражения для описания параметров ГО $Gobj_{OMM}$ представляются следующим образом:

$$GS_{Gobj_{OMM}} = \{Gobj_{OMM_i} = (o_i, Att_i)\}, i = \overline{1, n}$$

$$Gobj_{OMM_i}: S_{Gobj_{OMM}} \rightarrow R^m, Att_i: S_{Gobj_{OMM}} \rightarrow S^n. \quad (1)$$

где: o_i – пространственная компонента ГО (ПКГО); Att_i – атрибутивно-содержательная компонента ГО (АСКГО), отражающая технические параметры, характеристики, ресурс, состояние. ПКГО o_i задается выражением:

$$o_i = (Loc_i, Geom_i, Trj_i), \quad (2)$$

где: Loc_i – координаты центра ГО в системе геодезии; $Geom_i$ – размеры и форма пространственного охвата ГО; Trj_i – отражает изменение положения, формы и размеров ГО во времени. Состав АСКГО Att_i определяется следующим выражением:

$$Att_i = (Tech_i, Rs_i, Stat_i, Serv_i), \quad (3)$$

где: $Tech_i$ – технические характеристики объекта (тип, модель, параметры чувствительности, производитель); Rs_i – ресурсные характеристики (остаточный ресурс, наработка на отказ, регламентный срок эксплуатации); $Stat_i$ – текущее техническое состояние (исправен, частично работоспособен, отказ); $Serv_i$ – эксплуатационно-обслуживающие характеристики (даты и результаты обслуживания, ремонтов, замен).

2) опциональная группа отношений оценочной упорядоченности (отношения оценки). Известные отношения пространственной R_{spat} и содержательной R_{sc} упорядоченности решают задачи оценки геоситуации опосредованно через анализ отдельно собственного пространства ГО и его МПП. Это требует последовательного отражения факторов обстановки и препятствует представлению геоситуации и ее оценки в целом. Оценочные отношения E_{subj} ориентированы на прямой синтез оценки геоситуационных классов «свои объекты», «противоборствующие элементы», «среда».

Использование только отношений пространственно-содержательной упорядоченности позволяют лишь опосредованным образом решать задачу структурирования множества ГО в аспекте анализа обстановки. Требование выполнения прямой оценки обстановки обуславливается центральной ролью категории обстановка в системе геоинформационной поддержки управления территориальными объектами и системами. Таким образом, предлагаемая система отношения упорядочения строится следующим образом:

$$S_{Rel} = \{R_{spat}, R_{sc}, E_{subj}\}, \quad (4)$$

где R_{spat} – (англ. – spatial Relations) отношения пространственной упорядоченности (ОПУ), обуславливают территориальную структуру геопространства для выражения содержания геообъектов и служат основой пространственного анализа геоситуации; R_{sc} – (англ. – semantic Relations) отношения (предикаты) семантической, содержательной упорядоченности (ОСУ), определяют многомерное пространство признаков, и служат для тематической характеристики горизонтальной составляющей геопространства; E_{subj} – (англ. – subjective evaluations) субъективные оценочные отношения.

Состав геодезии GM_{OMM} представляется следующим кортежем множеств векторов параметров составных элементов геоситуации в ОММ РСЛЦ (рис. 5):

$$GM_{OMM} = (\vec{F}, \vec{L}, \vec{G}, \vec{C}, \vec{A}, \vec{E}, \vec{K}, \vec{T}, \vec{S}) \quad (5)$$

Наряду с традиционными географическими параметрами, такими как топография, климат, гидрография суши, растительность, инфраструктура, в множество векторов включены характеристики территориального распределения логистических центров $\vec{F}$, параметры киберфизической мониторинговой платформы $\vec{K}$, антропогенные факторы $\vec{A}$. А также контроллинговые $\vec{T}$, ситуационно-тактические $\vec{S}$, эксплуатационные $\vec{E}$, параметры локального размещения технических средств $\vec{L}$.

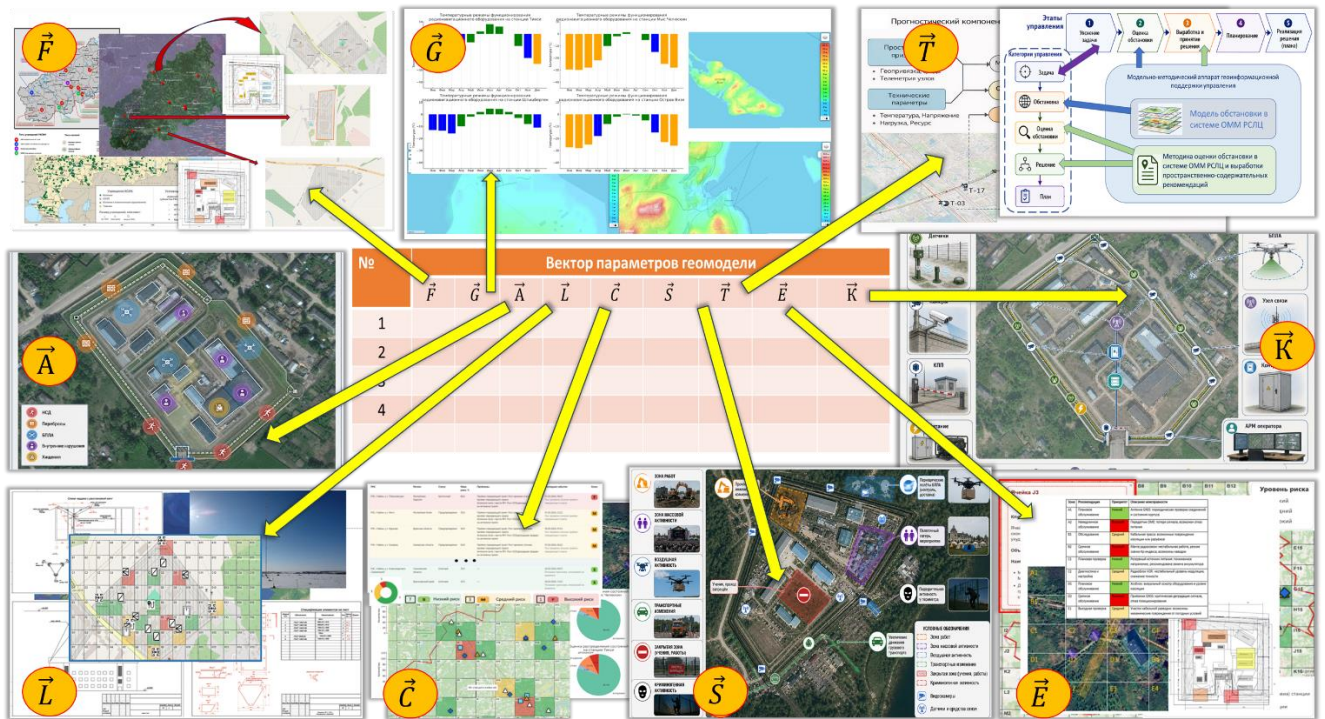


Рисунок 5 – Состав геомодели обстановки в ОММ: $\vec{F}$ – параметры территориально-сетевой организации; $\vec{L}$ – параметры локального размещения технических средств; $\vec{G}$ – параметры окружающей среды; $\vec{C}$ – параметры технического состояния ИТСО; $\vec{A}$ – параметры внешних и внутренних антропогенных воздействий; $\vec{E}$ – параметры операционно-событийного компонента обстановки; $\vec{K}$ – параметры киберфизической геосенсорной платформы; $\vec{T}$ – параметры контроллинговой обстановки; $\vec{S}$ – ситуационно-тактические параметры обстановки

Формирование структуры и состава геомодели позволило перейти к строго математическому исследованию формальных зависимостей, характеризующих техническую готовность средств ОММ в условиях воздействий внешней среды.

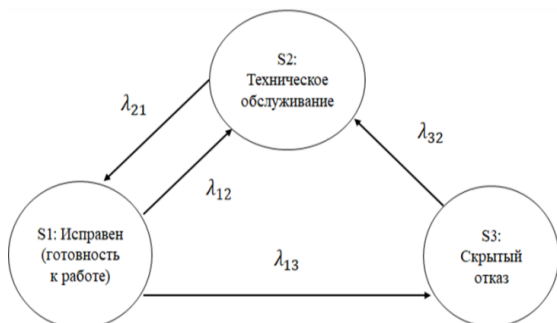


Рисунок 6 – Графовое представление переходов между состояниями ТПС ОММ РСЛЦ: S_1 – готовность; S_2 – обслуживание; S_3 – скрытый отказ; λ_{13} - геозависимая интенсивность отказов; $\lambda_{12}, \lambda_{32}$ - интенсивность диагностирования; λ_{21} - интенсивность восстановления

обстановки в ТПС ОММ РСЛЦ передает три основных состояния объекта – готовность, обслуживание, скрытый отказ и интенсивности переходов между ними (рис. 6). Динамика изменения вероятности нахождения системы в одном из состояний описывается системой дифференциальных уравнений Колмогорова:

$$\begin{cases} \frac{dP_1(t)}{dt} = -\left(\lambda_i(t) + \frac{1}{t_{TO}}\right)P_1(t) + \frac{1}{t_{TO}}P_2(t), \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \frac{1}{t_{TO}}P_1(t) - \frac{1}{t_{TO}}P_2(t) + \frac{1+\lambda_i(t)t_{TO}}{\lambda_i(t)t_{TO}^2}P_3(t), \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = \lambda_i(t)P_1(t) - \frac{1+\lambda_i(t)t_{TO}}{\lambda_i(t)t_{TO}^2}P_3(t). \end{cases} \quad (6)$$

Для системы (6) используется нормирующее условие $P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) = 1$. Начальные условия задаются выражениями:

$$P_1(0) = 1, P_2(0) = P_3(0) = 0. \quad (7)$$

Целевое состояние системы – это состояние S_1 исправен (готов к работе). Для его достижения необходимо подобрать оптимальные периодичность и длительность технического обслуживания. Для этого решена задача получения оптимального управления как экстремума вероятности нахождения в отказовых состояниях с учетом ограничений на управление:

$$\begin{aligned} x_1(t) &= P_1(t), x_2(t) = P_2(t), x_3(t) = 1 - x_1(t) - x_2(t), \\ u(t) &= \frac{1}{t_{TO}}, \mu = \frac{1}{\tau_{TO}}, t \in [0, T]. \end{aligned} \quad (8)$$

$$I(u) = \int_0^T e^{-\delta t} [M_1(1 - x_1(t) - x_2(t)) + M_2 u^2(t)] dt \rightarrow \min, \quad (9)$$

Описание зависимостей для минимизации основано на принципе максимума Понтрягина. Определены геозависимые интенсивности отказов для последующего их адаптивного моделирования, что составляет особенность предложенного ситуационно-предиктивного подхода. Итоговая краевая задача принципа максимума Понтрягина имеет вид:

$$\dot{x}_1(t) = -(\lambda_i(t) + u(t))x_1(t) + \mu x_2(t), t \in [0, T], \quad (10)$$

$$\dot{x}_2(t) = -\frac{1}{\lambda_i(t)} u^2(t) x_1(t) - \left(\mu + u(t) + \frac{u^2(t)}{\lambda_i(t)} \right) x_2(t) + \left(\frac{u(t)}{\lambda_i(t)} + 1 \right) u(t),$$

$$\dot{\psi}_1(t) = -\frac{\partial H(t, x, \psi, u)}{\partial x_1} = -M_1 e^{-\delta t} + (\lambda_i(t) + u(t))\psi_1(t) + \frac{u^2(t)}{\lambda_i(t)} \psi_2(t), \quad (11)$$

$$\dot{\psi}_2(t) = -\frac{\partial H(t, x, \psi, u)}{\partial x_2} = -M_1 e^{-\delta t} - \mu \psi_1(t) + \left(\mu + u(t) + \frac{u^2(t)}{\lambda_i(t)} \right) \psi_2(t),$$

$$u^*(t) = \begin{cases} Y_{min}, & \text{при } \hat{u}(t) < Y_{min}, \\ \hat{u}(t), & Y_{min} \leq \hat{u}(t) \leq Y_{max}, \\ Y_{max}, & \text{при } \hat{u}(t) > Y_{max}, \end{cases} \quad (12)$$

с граничными условиями:

$$\begin{aligned} x_1(0) &= X_1, x_2(0) = X_2, \psi_1(T) = \psi_2(T) = 0, \\ t &\in [0, T], i = \overline{1, n}. \end{aligned} \quad (13)$$

Для учета стохастического характера факторов, отраженных в геомодели и оказывающих влияние на работоспособность ТПС ОММ реализован адаптивный подход для расчета значений геозависимой интенсивности отказов, который состоит во включении аппарата искусственных нейронных сетей при учете параметров модели. Обобщенный вид геозависимой функции отказов записывается как:

$$\begin{aligned} \lambda_i(t) &\equiv \lambda_i(p(x, y), t) = \lambda_i^0 G_0 [b_0 + \sum_{k=1}^H v_k G_k(b_k + \sum_{j=1}^m w_{kj} z_{ij}(x, y, t))], \\ \lambda_i(t) &\geq 0, \end{aligned} \quad (14)$$

где $\lambda_i(t)$, ч^{-1} , – адаптивная геозависимая интенсивность перехода состояния i -го геообъекта; λ_i^0 , ч^{-1} , – базовая интенсивность; x, y – прямоугольные координаты точек наблюдения; $p(x, y) = (p_1(x, y), p_2(x, y), \dots)$ – вектор параметров геосреды (температура, влажность, давление, загрязнение, радиация, ...); $z_{ij}(x, y, t) = f(p(x, y), t)$ – j -й нормированный признак, сформированный из параметров геомодели; m – число входных признаков; H – число нейронов скрытого слоя; w_{kj} и v_k – веса связей нейронов; b_k и b_0 – смещения, поправочные константы.

Также определены параметры геомодели, участвующие в формировании входных признаков нейросетевой адаптивной подмодели для построения интенсивности отказов – в условиях полноты данных о состоянии объекта (рис. 7).



Рисунок 7 – Последовательность формирования геоинтенсивности отказов для матрицы переходов состояний для оценки состояния ОММ

Для условий неполноты данных разработана и введена скрытая Марковская подмодель при неполной наблюдаемости состояния, в которой состояние ГО рассматривается как скрытая переменная, а наблюдаемыми являются последовательности диагностических, событийных, инфраструктурных и пространственно-эксплуатационных признаков. Наблюдение в СММ задается как совокупность признаков, зарегистрированных для i -го ГО «ГТРП» на момент контроля. Определен полный перечень внешних наблюдательных признаков для определения скрытых состояний технической подсистемы ОММ.

Для оценки параметров скрытой

Марковской сети применяется алгоритм Expectation–Maximization (ЕМ, ожидание–максимизация), в котором по наблюдаемым данным последовательно уточняются оценки скрытых состояний и параметров модели. Для разработанных подмоделей эта процедура реализуется алгоритмом Баума-Велша, используемым для оценки вероятностей переходов и параметров наблюдаемого процесса. Предложено описание вероятностей нахождения в одном из скрытых состояний:

$$X_i(t) \in E = \{S^1, S^2, S^3\}, \quad (15)$$

$$Y_i(t) = (O_{i1}(t), O_{i2}(t), \dots, O_{im}(t)), \quad (16)$$

$$Z_i(t) = [A_i(t), G_i^{env}(t), E_{subj_i}], \quad (17)$$

где: $X_i(t)$ – скрытые технические состояния i -го элемента ТПС ОММ; $Y_i(t)$ – вектор наблюдений для оценки состояния; $Z_i(t)$ – вектор условий перехода ГО между состояниями, включающий атрибутивные параметры объекта, факторы геосреды и оценочные показатели, полученные из его пространственно-содержательных отношений. Предполагается, что истинная последовательность состояний не наблюдается напрямую, а оценивается вероятностно по данным $Y_i(1:T)$, апостериорное распределение вероятностей скрытых состояний:

$$\alpha_i(t) = [P(S_1 | Y_i(1:t)), P(S_2 | Y_i(1:t)), P(S_3 | Y_i(1:t))]. \quad (18)$$

Здесь $P(S_1 | Y_i(1:t))$ – вероятность работоспособного состояния при имеющихся наблюдениях; $P(S_2 | Y_i(1:t))$ – вероятность деградации; $P(S_3 | Y_i(1:t))$ – вероятность скрытого отказа. Сформированные вероятности состояний системы ОММ служат формальной основой для описания надежностных параметров ТПС ОММ, таких как среднее время между отказами, среднее время восстановления, коэффициент готовности.

Разработанные геомодельные представления позволили перейти непосредственно к решению задачи обеспечения технической готовности ТПС ОММ, то есть разработке методического аппарата работы.

В третьем разделе разработана геоинформационная ситуационно-предиктивная методика оперативной оценки и прогнозирования обстановки в системе охранных мониторингов региональной операционно-логистической сети. Состав и структура обобщенной методики оценки обстановки в ТПС ОММ представлены на рис. 8.



Рисунок 8 – Структура и состав обобщенной методики оценки обстановки в ОММ РСЛЦ

Методика определяет взаимодействие составных процедур с внешними ситуационными данными и процессами и включает этапы: 1) пространственного представления; 2) параметризации состояния; 3) отбора значимых факторов геосреды; 4) анализа, оценки и прогнозирования состояния ТПС ОММ; 5) формирования пространственно-содержательных рекомендаций; 6) обновления значений параметров модели, расчет невязки.

В отбор значимых факторов геосреды входит:

1. Оценка связи параметров каждого фактора геосреды g_k с целевым показателем состояния y по коэффициенту корреляции:

$$r_k = \text{corr}(g_k, y). \quad (19)$$

2. Проверка пространственной выраженности фактора с использованием индекса пространственной автокорреляции Морана, показывающего наличие устойчивой территориальной структуры распределения значений:

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (20)$$

где: n – количество геообъектов; x_i, x_j – значения переменной в ячейках i и j ; $\bar{x}$ – среднее значение переменной по всей выборке; w_{ij} – вес в пространственной матрице весов между объектами i и j (соседство, общая граница, расстояние).

3. Исключение взаимно-дублирующих признаков по критерию мультиколлинеарности:

$$VIF_k = \frac{1}{1 - R_k^2}, \quad (21)$$

где R_k^2 – коэффициент детерминации при регрессии k -го признака на остальные. Для признаков с высоким значением VIF сохраняется только один, наиболее интерпретируемый и физически значимый.

Выбор подмодели оценки состояния ТПС ОММ осуществляется согласно алгоритму, который учитывает полноту данных, отобранные значимые параметры, характеристики оцениваемых средств ОММ (рис. 9).

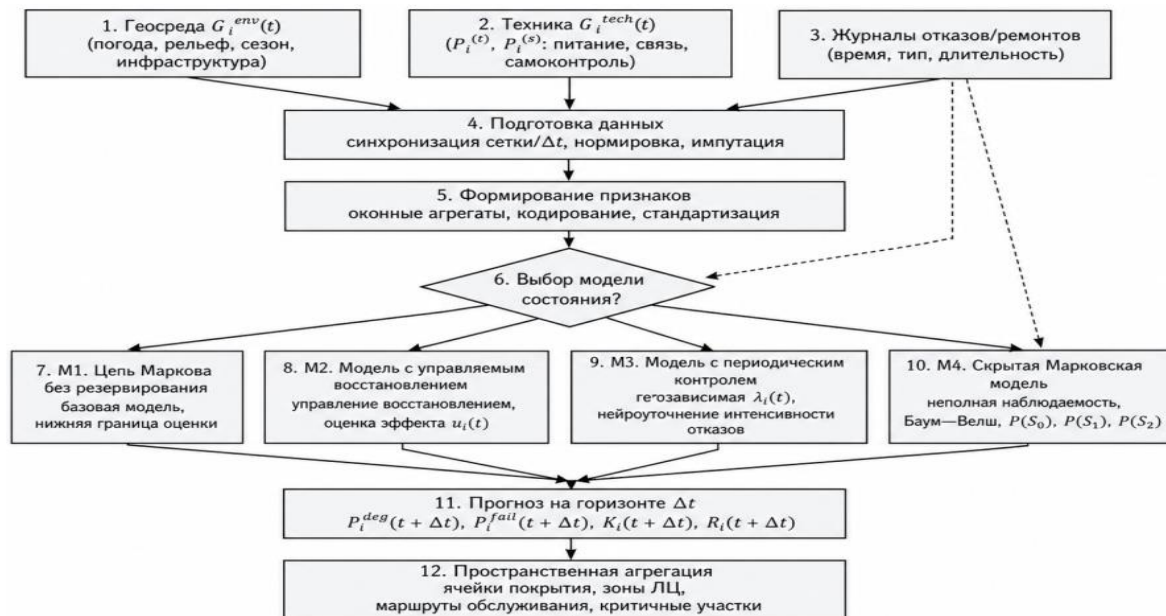


Рисунок 9 – Структура алгоритма выбора модели прогнозирования технического состояния геообъектов ОММ

При работе с Марковскими подмоделями вычисляются вероятности состояний:

$$p_i(t + \Delta t) = p_i(t) \exp(Q_i(t) \Delta t), \quad (22)$$

где: $p_i(t)$ – вектор вероятностей состояний геообъекта в момент времени t ; $Q_i(t)$ – матрица интенсивностей переходов, параметризованная с учетом $\lambda_i(t)$, восстановления, обслуживания и условий эксплуатации; Δt – горизонт прогноза. Для скрытой Марковской модели прогноз строится от апостериорного распределения $\alpha_i(t)$ и определяется выражением:

$$\alpha_i(t + h) = \alpha_i(t) A_i^h, \quad (23)$$

где: A_i – матрица переходов скрытых состояний; h – число шагов прогноза.

Базовое правило присвоения категории угрозы задается двумя порогами $\tau_1 < \tau_2$, согласованными с режимом эксплуатации (сезон/зона). Для ячейки o_i определяется класс:

$$c_i(t) = \begin{cases} \text{низкая вероятность, } S_i(t) \leq \tau_1, \\ \text{средняя вероятность, } \tau_1 < S_i(t) \leq \tau_2, \\ \text{высокая вероятность, } S_i(t) > \tau_2, \end{cases} \quad (24)$$

Процедура анализа состояния ТПС ОММ РСЛЦ территориально (масштабно) по принципу «снизу-вверх» разбивается на оценки локального уровня (рис. 10).

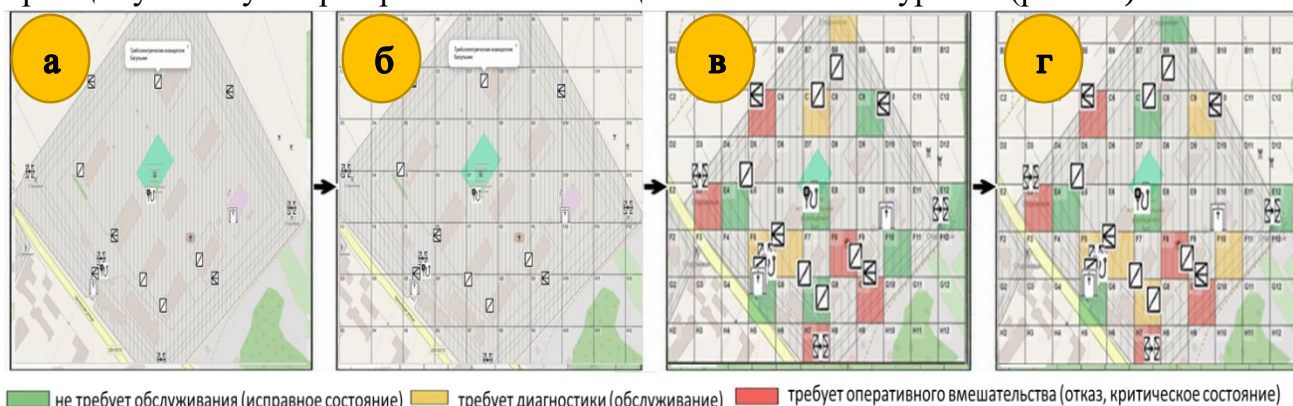


Рисунок 10 – Оценка и прогноз состояния ТПС ОММ РСЛЦ на локальном уровне: а – геоизображение базовой подложки; б – построение сетки разбиения для локализации геообъектов по ячейкам; в – визуализация текущего состояния ТПС ОММ; г – визуализация прогнозного состояния ТПС ОММ на горизонт $t + \Delta t$

Этапом, следующим за оценкой и прогнозированием состояния ТПС ОММ на

уровне отдельных ЛЦ, является пространственно-содержательное обобщение – получение интегральной региональной оценки состояния ТПС ОММ (рис. 11).

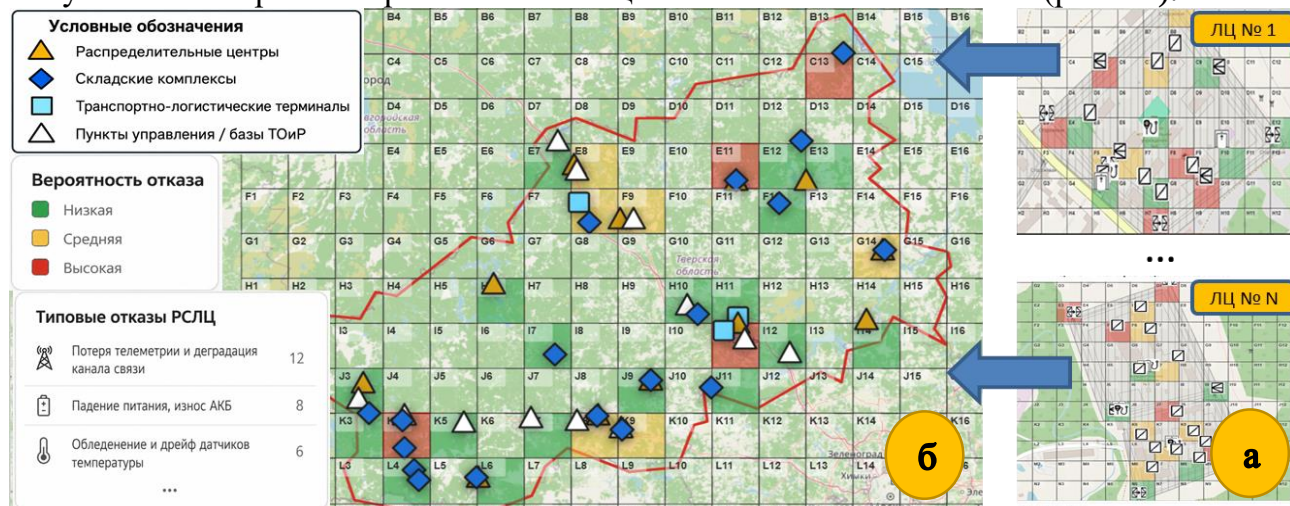


Рисунок 11 – Формирование оценки состояния ТПС ОММ РСЛЦ на региональном уровне: а – локальные оценки состояния ТПС ОММ; б – обобщенная региональная оценка состояния ОММ

Затем осуществляется переход от оценки обстановки к формированию рекомендаций. Исходя из целевой установки поддержания требуемой технической готовности ТПС предложена процедура выработки оптимального плана ремонта и сервисного обслуживания оборудования. При этом формируется пространственная база возможных (рекомендуемых) сервисных мероприятий с учетом геоситуации, значений параметров окружающей среды и локализации объектов контроля.

Для выбора подходящей рекомендации из общего набора определены уровни иерархии контроллинговых требований. Иерархический подход к выбору управленческого воздействия для геообъекта G_{obj_i} включает три основных уровня: уровень цели: выбор предпочтительного воздействия a_i^* , $i = \overline{1, n}$ для объекта территориального управления G_{obj_i} ; уровень критериев и подкритериев:

$$K = \{K_1, K_2, K_3, K_4, K_5\}; \quad (25)$$

уровень альтернатив:

$$A_i = \{A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{im}\}, i = \overline{1, n}. \quad (26)$$

Определен порядок отбора подходящих рекомендаций на базе этих иерархических уровней предпочтений. Веса критериев:

$$w = \langle w_1, w_2, \dots, w_k \rangle, \quad \sum_{j=1}^k w_j = 1, k = \overline{1, 5}. \quad (27)$$

Для каждого критерия K_j формируется локальный вектор приоритетов альтернатив:

$$p^j = \langle p_1^j, p_2^j, \dots, p_m^j \rangle, \quad \sum_{r=1}^m p_r^j = 1, j = \overline{1, 5}. \quad (28)$$

Суммарный приоритет альтернативы A_{ir} определяется выражением:

$$P(A_{ir}) = \sum_{j=1}^5 w_j p_r^j, r = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}. \quad (29)$$

Оптимальное воздействие: $a_i^* = \arg \max_{\{A_{ir} \in A_i\}} P(A_{ir}), i = \overline{1, n}$.

Далее определен порядок формирования региональных ячеек-шаблонов с рекомендованными сервисными воздействиями и предложен подход к картографической визуализации территориально-содержательных рекомендаций ТООР.

В четвертом разделе разработана геоинформационная программная методика расчета и отображения контроллинговых предписаний по поддержанию ТГ системы охраны РСЛЦ для верификации разработанного модельно-методического аппарата, оценки его эффективности и выработки практических рекомендаций по применению и составлению ТЗ на создание систем поддержки принятия решений и модулей ГИС.

Обобщенная структура программной методики базируется на семантическом описании предметной области «РСЛЦ – ОММ – ГТПП» и включает блоки: подготовки, предобработки и импорта данных (1-2); построения сетки пространственного разбиения и проведения оценки на локальном и региональном уровнях (3-7); формирования вариантов оптимальных маршрутов ТОиР на основе оценки состояния ТПС ОММ и данных об обстановке в РСЛЦ (рис. 12). Результатом работы методики является пространственно-содержательный план выполнения ТОиР на региональном уровне.

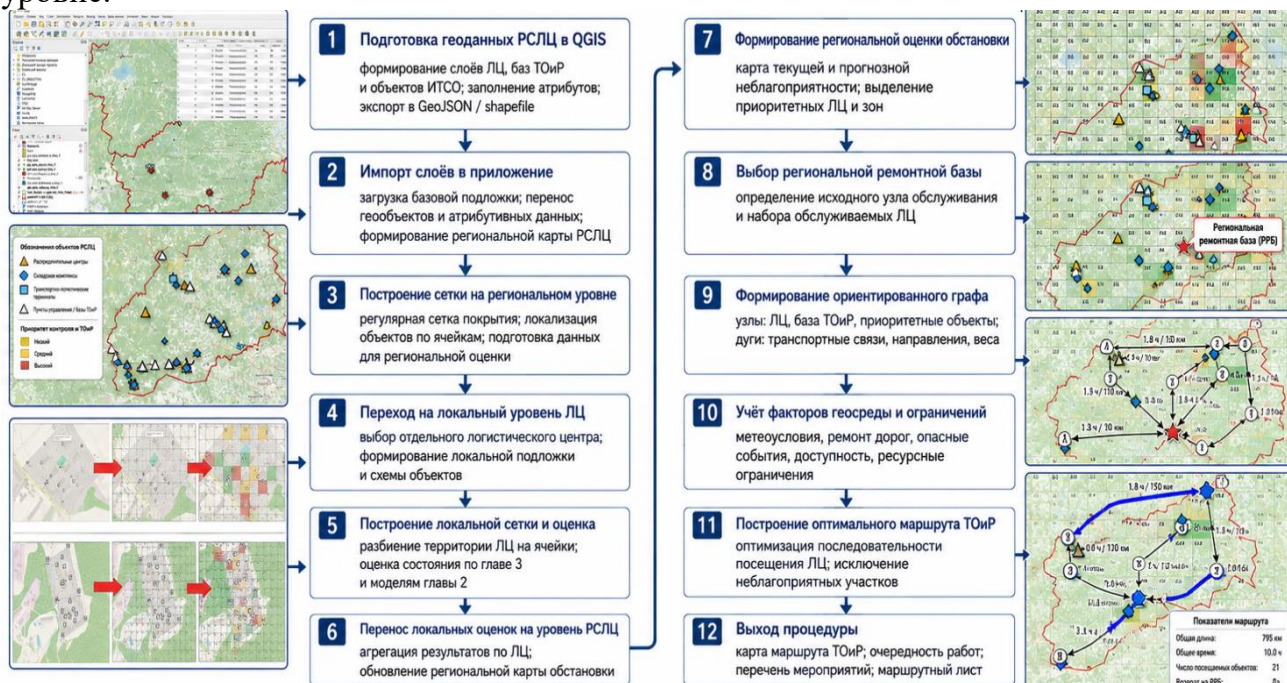


Рисунок 12 – Структура программной методики регулирования ТГ ОММ РСЛЦ

Определена архитектура программной системы – веб-приложение на языке ООП C#, фреймворке Asp.Net Core для сбора данных и визуализации, Python-модули для реализации предиктивной аналитики и моделей. Взаимодействие между модулями осуществляется по REST. Установлен порядок загрузки исходных данных в программную систему. Построена региональная геоподложка отображения и оценки обстановки в QGIS и ее перенос в разработанную программу «Бастион».

Семантическое описание исследуемой предметной области (рис. 13) нацелено на формирование строгого машинно-интерпретируемого представления объектов РСЛЦ, ОММ и ГТПП, их свойств и отношений. Семантический уровень связывает разработанную геомодель обстановки с объектной моделью программного комплекса, логической структурой базы пространственных данных и процедурами обработки ГИ.

Такое описание обеспечивает единообразие используемых понятий, переносимость структуры данных между программными средствами и возможность последующего расширения состава геообъектов и их атрибутов без изменения базовых принципов модели.

Формирование и ведение семантической модели выполняется средствами редактора Protégé. Классы, экземпляры и их свойства формализуются средствами OWL, а отдельные утверждения о предметной области представляются в модели RDF. Производные зависимости задаются правилами логического вывода SWRL. В них формализованы сочетания территориальной принадлежности объекта, воздействующих геофакторов и прогнозируемого технического состояния как основания для повышения приоритета контроля или ТОиР.

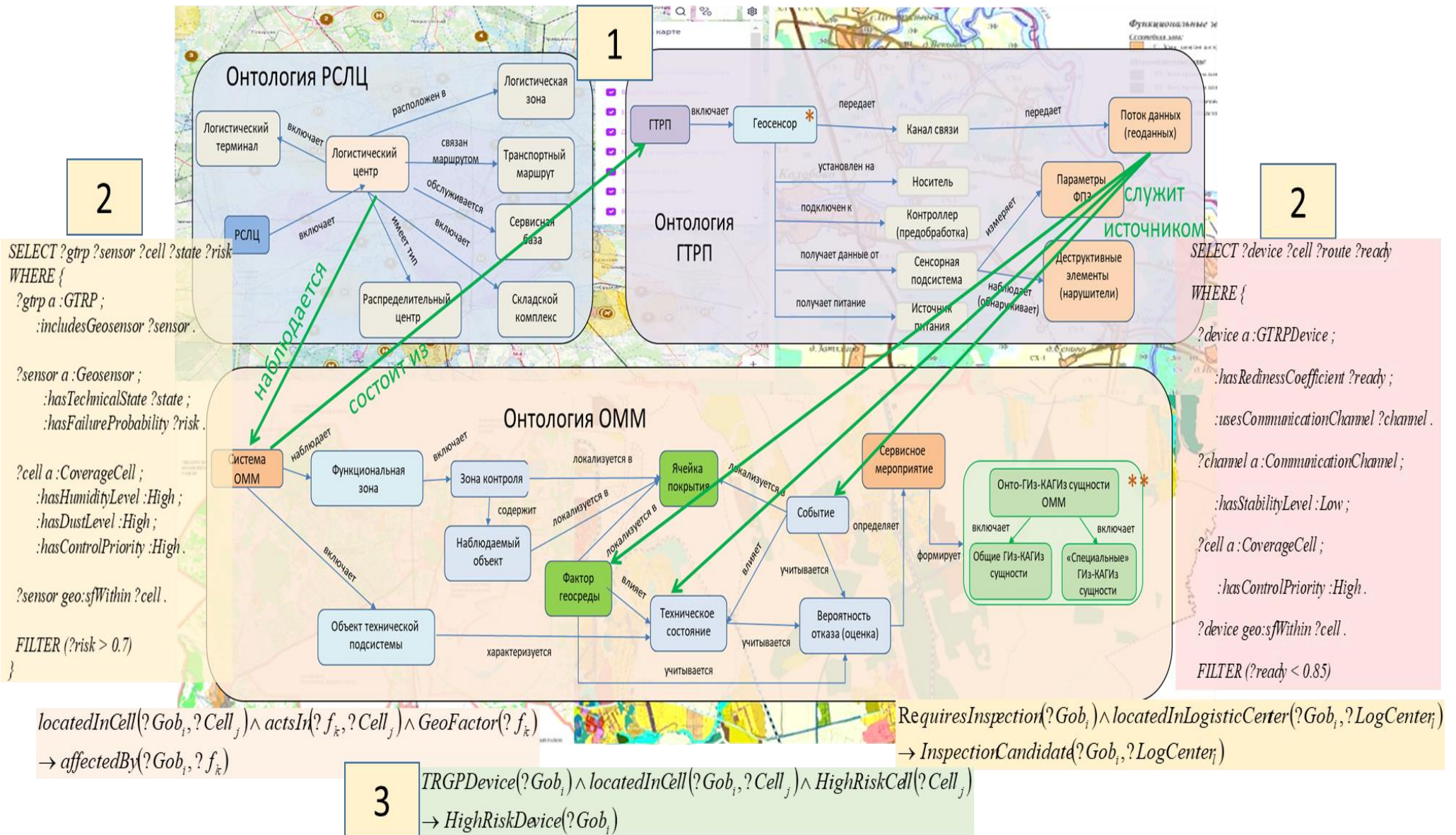


Рисунок 13 – Обобщенное семантическое описание территориальной системы «РСЛЦ – ОММ – ГТРП» (1); 2 – пространственные запросы GeoSPARQL отбора геосенсоров, подлежащих контролю; 3 – SWRL-правила формально логического вывода для генерации пространственно-содержательных рекомендаций; ГИз – геоизображение; КАГИз – контроллинг-активное ГИз

Пространственные выборки выполняются GeoSPARQL-запросами, что обеспечивает обработку отношений принадлежности, пересечения, соседства. Сформированное семантическое описание далее используется при построении объектной модели программного комплекса и логической структуры БД.

После ввода данных осуществляется переход к локальному уровню РСЛЦ и оценка состояния ТПС ОММ программой Data Mining Studio, как это показано в процедуре локальной оценки ТГ ОММ (рис. 10). Исходя из локальных оценок состояния ТПС ОММ строится интегральная оценка состояния РСЛЦ на региональном уровне (рис. 14).



Рисунок 14 – Последовательность перехода к региональному уровню: а – базовая геоподложка РСЛЦ; б – пространственная сетка разбиения РСЛЦ на контролируемые участки; в – оценка обстановки в системе ОММ РСЛЦ на региональном уровне

После расчета текущей и прогнозной оценок состояния ТПС определяется операционная региональная ремонтная база для планирования маршрута ТОиР как отправная точка. По узлам ремонтной базы строится граф точек обслуживания РСЛЦ с учетом факторов геосреды и текущей обстановки, влияющих на формирование маршрута ТОиР (рис. 15).

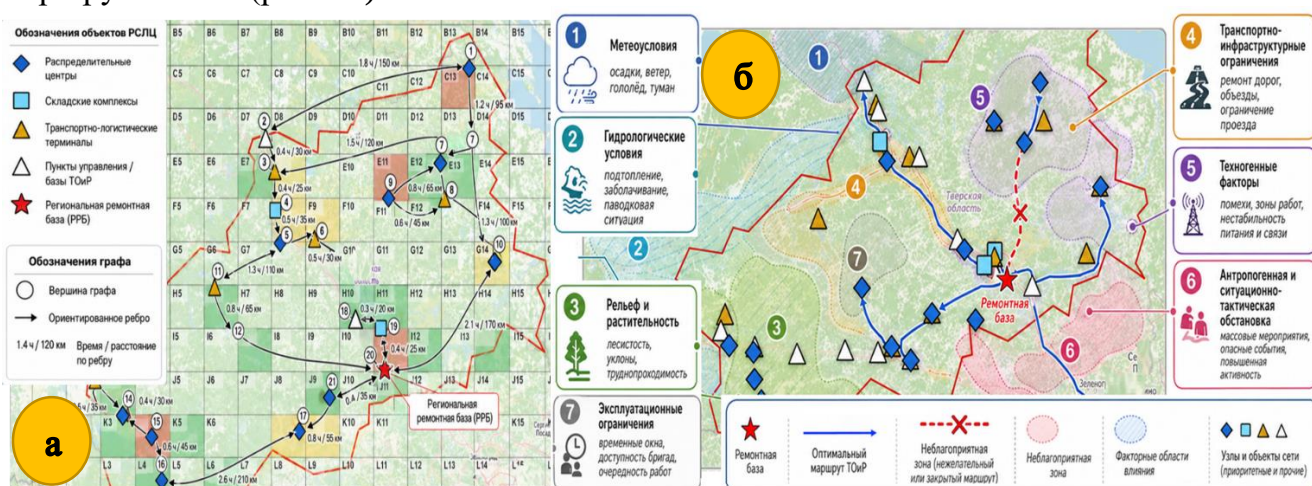


Рисунок 15 – Визуализация построения маршрута обслуживания ТПС ОММ РСЛЦ: а - графовое представление узлов РСЛЦ для построения маршрута; б - факторы геосреды, влияющие на формирование маршрута

Затем осуществляется формирование оптимального маршрута ТОиР РСЛЦ и его визуализация на геоизображении (рис. 12, прав. нижн. часть). Расчёт маршрута основан на дополненном алгоритме Дейкстры, где: A^* – множество выбранных мероприятий; v_0 – региональная ремонтная база; $G_{tr} = (V, E)$ – граф транспортной доступности, где

V – множество вершин, E – множество дуг. Для учёта последовательности посещения объектов и распределения обслуживающих бригад используются постановки TSP (Travelling Salesman Problem) – задача коммивояжёра и VRP (Vehicle Routing Problem) – задача маршрутизации обслуживающих бригад.



Рисунок 16 – Исходное геоизображение обстановки: а – РСЛЦ; б – ЛЦ № 1 с типовыми условиями размещения; в – ЛЦ №2 со сложными условиями размещения

техногенных объектов, характеризуется типовыми условиями размещения, нормальными природными и социальными условиями функционирования. ЛЦ №2 расположен на краю промышленной зоны, следом за которой располагаются значительные лесные массивы с участками заболоченности, по границе территории проходит трасса ЛЭП. Определены показатели эффективности работы ситуационно-предиктивной методики, отвечающие за качество оценки и прогнозирования состояния ТПС ОММ, а также сравниваются время выявления отказов оборудования и протяженность маршрута ТООР. По каждому ЛЦ методика формирует ранжированный перечень объектов с определением их текущего и прогнозного состояний, а также детализированное геоизображение как визуализация обстановки в системе ОММ.

Результат работы ситуационно-предиктивной программной методики для ЛЦ №2 со сложными условиями размещения (рис. 17) представлен перечнем ГО контроля и визуализацией обстановки в ТПС ОММ. Для ЛЦ №1 характерно меньшее количество технических средств в отказовом и предотказовом состояниях в сравнении с ЛЦ №2.

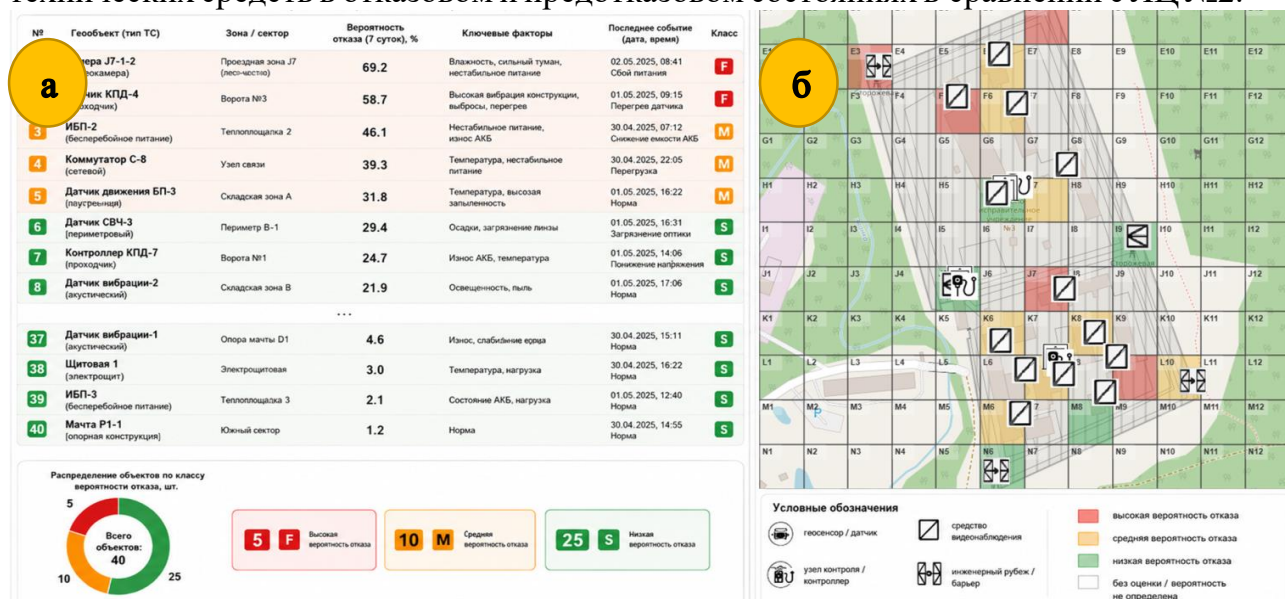


Рисунок 17 – Результат работы программной методики для ЛЦ №2: а – ранжированный перечень ГО для оценки и регулирования тех. готовности; б – геоизображение оценки технического состояния ГО

Построение и апробация геоинформационной программной методики оценки и выработки пространственно-содержательных рекомендаций показала работоспособность предложенного в работе модельно-методического аппарата.

По сравнению с традиционными предиктивными методами предложенный модельно-методический аппарат обеспечил повышение качества определения текущего и прогнозных ТС ОММ РСЛЦ при горизонтах прогноза 7 и 14 суток, на 12% и 10% соответственно. На 8% сокращено время выявления отказов за счет пространственной локализации проблемных участков. На 10% снижена протяженность выездного обслуживания за счет построения маршрута ТОиР, учитывающего критичность состояния для системы ОММ РСЛЦ, доступность объектов и условий прохождения маршрутов.

Заключение

В результате проведенного диссертационного исследования получена совокупность научных результатов, обеспечивающих решение актуальной задачи разработки геоинформационного модельно-методического аппарата представления, анализа, прогнозирования и регулирования ТГ ОММ, в том числе:

1. Выполнен анализ предметной области ОММ РСЛЦ, показавший необходимость объединения геоинформационных и аналитических методов прогнозирования технической готовности ОММ.

2. Разработана геомодель обстановки в ОММ РСЛЦ, отличающаяся описанием динамических априорных и оперативных факторов окружающей геосреды, что обеспечивает более полное содержательное и территориальное отображение положения, состояния и функционирования технических средств геосенсорной платформы и подсистем ОММ РСЛЦ в установленных геолокациях проявления экстремальных природных и техногенных условий и воздействий недружественной социальной среды.

3. Разработанная геоинформационная ситуационно–предиктивная методика отличается объединением текущей оценки состояния технической подсистемы, прогноза технического состояния на основе ситуационно-предиктивного подхода, учитывающего геозависимые факторы отказов, что обеспечивает построение геоизображений прогнозного ухудшения состояния, ранжирование геообъектов по приоритету воздействия, а также поддержку адресных решений по обслуживанию, резервированию и восстановлению функций ОММ РСЛЦ.

4. Разработанная геоинформационная программная методика расчета и отображения контроллинговых предписаний по поддержанию ТГ системы охраны РСЛЦ отличается возможностью адаптивной геовизуализации данных обстановки в ОММ, наличием актуальной базы сценариев поддержания ТГ в предметной области ОММ РСЛЦ, формированием операционного базиса сервисной поддержки в аспекте проецирования контроллинговой задачи на текущую геоситуацию, что обеспечивает повышение качества определения текущего и прогнозных ТС ОММ РСЛЦ при горизонтах прогноза 7 и 14 суток, на 12% и 10% соответственно по сравнению с традиционными предиктивными методами. Также сокращено время выявления отказов технических средств ОММ РСЛЦ на 8% и протяженность маршрута ТОиР на 10% в сравнении с методами, построенными на регламентных подходах.

Направления дальнейших исследований представляются на следующих направлениях: развития разработанного геоинформационного модельно-методического аппарата применительно к поддержанию технической готовности ГТРП, в том числе платформ дистанционного зондирования Земли и обеспечивающей их инфраструктуры; расширения геомодели за счёт представления ГТРП, а также мобильных платформ ДЗЗ как динамических геообъектов, пространственная

компонента которых учитывает их перемещения и обменные протоколы; расширения совместно учитываемых в оценочных отношениях пространственно-временных условий функционирования, характеристик геосреды, режимов съёмки и эксплуатационной нагрузки при формировании геозависимых оценок деградации и отказов; развития гибридных прогностических моделей и интеллектуальных методов для ситуационно-предиктивной оценки состояния ГТРП, в том числе платформ ДЗЗ, локализации зон и интервалов повышенного риска и формирования пространственно-содержательных рекомендаций по контролю, техническому обслуживанию, резервированию и восстановлению их функций; формирования динамических моделей активной контроллинговой геовизуализации, мультимедийных представлений прогностического состояния платформ и зон наблюдения, ментальных геоизображений и онтологического описания отношений «платформа - аппаратура - зона съёмки - геосреда - техническое состояние - управляющее воздействие» как основы геоинформационной поддержки эксплуатации систем ДЗЗ.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в открытых рецензируемых изданиях, включённых в перечень, рекомендованный ВАК

1. Беляев, А.К. Геоинформационная модель обстановки в территориально-распределенной системе специальных охранных мониторингов местности с учетом динамических факторов геосреды / Беляев А.К., Биденко С.И., Звездарев Д.В., Травин С.В., Храмов И.С., Удыч М.Ф. // Информация и космос. – 2025. – № 3. – С. 82–92.

2. Беляев, А.К. Геоинформационный подход к реализации совместного территориально-предиктивного анализа состояния охранных мониторингов местности / Беляев А.К., Миляков Д.Ф., Биденко С.И., Храмов И.С. // Информация и космос. – 2025. – № 2. – С. 147–154.

3. Беляев, А.К. Территориальные мониторинги гидрометеорологической обстановки: ситуационно-предиктивная поддержка технических средств наблюдения за воздушной средой / Беляев А.К., Биденко С.И. // Гидрометеорология и экология. – 2026. - № 2 (83). – С. 340-357.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

4. Беляев, А.К. «DATA MINING STUDIO» – Программная интеллектуально-предиктивная платформа интеллектуального анализа данных: Свидетельство № 2024663590 / Беляев А.К., Царькова Е.Г., Царьков В.В. – М.: ФСИС РФ.

5. Беляев, А.К. Программное средство «БАСТИОН» - Программное средство учета номенклатуры инженерно-технических средств охраны для анализа эффективности комплексной системы безопасности объектов: Свидетельство № 2020619844 / Беляев А.К., Царькова Е.Г., Чураков Д.Ю., Зыбин Д.Г. – М.: ФСИС РФ.

Прочие научные публикации

6. Беляев, А.К. Геоинформационная методика ситуационно-предиктивной оценки территориальных систем охраны в условиях деструктивных воздействий / Бородин Е.Л., Беляев А.К., Биденко С.И. // Эксплуатация морского транспорта. – 2025. – № 4 (117). – С. 46–50.

7. Беляев, А.К. Ситуационно-предиктивное моделирование обстановки в системе охранных мониторингов территориальных объектов в условиях воздействия внешних факторов / Беляев А.К., Биденко С.И. // Эксплуатация морского транспорта. – 2025. – № 3 (116). – С. 44–51.

8. Беляев, А.К. Подход к организации геоинформационной поддержки аппарата предиктивной аналитики технического состояния систем охранных мониторингов

местности / Беляев А.К., Бородин Е.Л., Биденко С.И., Звездарёв Д.В., Михеев В.Л. // Эксплуатация морского транспорта. – 2025. – № 2 (115). – С. 24–31.

9. Беляев, А.К. Возможная модель оценки состояния приборов, систем и оборудования в условиях деструктивных воздействий геосреды / Беляев А.К., Шарков А.М., Звездарёв Д.В., Биденко С.И. // Навигация и гидрография. – 2025. – № 3 (80). – С. 70–85.

10. Беляев, А.К. Методы поддержки принятия решений при управлении техническим обслуживанием и ремонтом охранного оборудования / Беляев, А. К., Царькова, Е. Г. // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 7 (91). С. 40–49.

11. Belyaev A. Reliability forecasting for optimal planning of measures for maintenance of security systems of transport infrastructure facilities / A. Belyaev, E. Tsarkova, D. Churakov, E. Andreeva // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 918. – Art. 012090. – DOI 10.1088/1757-899X/918/1/012090.

12. Беляев, А.К. Геоинформационная методика предиктивного контроля приборов, систем и оборудования с учетом состояния внешней среды / Беляев А.К., Шарков А. М., Биденко С. И. // Навигация и гидрография. – 2026. – № 2 (83). – С. 105–114.

13. Беляев, А.К. Программная методика ситуационно-предиктивного контроля радиоэлектронного оборудования в удаленном эксплуатационном районе. / Беляев А.К., Биденко С. И., Дегтярев А.В., Шарков А. М. // Навигация и гидрография. – 2026. – № 3 (84). – С. 109–123.

14. Беляев, А.К. Процедура иерархического упорядочения альтернатив реализации стратегий технической готовности территориальных систем освещения морской обстановки / Бородин Е.Л., Беляев А.К., Биденко С.И., Травин С.В. // Эксплуатация морского транспорта. — 2026. – № 2 (119). – С. 59–67.

Материалы докладов на конференциях

15. Беляев, А. К. Методика оперативного ситуационно-предиктивного контроля и регулирования связного радиоэлектронного оборудования // Научно-технические проблемы и перспективы развития систем, комплексов и средств связи, управления и радиоэлектронной борьбы: сборник трудов научно-практической конференции, Воронеж, 27.05.2026 г. – Воронеж: АО «Концерн «Созвездие», 2026. – С. 131–139.

16. Беляев, А. К. Геомодель обстановки в интеллектуальной системе поддержки управления сложными территориальными объектами и системами // Научно-технические проблемы и перспективы развития систем и комплексов радиолокационного мониторинга, радиотехнической, звукометрической и тепловизионной разведки, технологий искусственного интеллекта и оптико-электронных систем: сборник трудов научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 10.06.2026 г. – СПб. АО «НИИ «Вектор», 2026. – С. 57–65.

17. Беляев, А. К. Геоинформационная ситуационно-предиктивная методика оперативной оценки и прогнозирования обстановки в системе охранных мониторингов региональной логистической сети // Инновационные методы математики и физики в экологических и гидрометеорологических исследованиях: сборник трудов V Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 10.04.2026 г. – СПб. РГГМУ, 2026. – С. 83–92.

18. Беляев, А. К. Геомодель обстановки в территориальной системе охранных мониторингов региональной логистической сети // Инновационные методы в экологических и гидрометеорологических исследованиях: сборник трудов V Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 10.04.2026 г. – СПб.:РГГМУ, 2026.– С. 111–119.

19. Беляев, А. К. Геосенсорная территориально распределенная платформа

наблюдения за окружающей средой: киберфизическая поддержка технической готовности охранных мониторингов сети региональных торгово-логистических центров // Инновационные методы математики и физики в экологических и гидрометеорологических исследованиях: сборник трудов V Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 10.04.2026 г. – СПб.: РГГМУ, 2026. – С. 56–63.

20. Беляев, А. К. Подходы к организации геоконтроллинга территории // Единое геоинформационное пространство для обеспечения устойчивого развития регионов: от сбора данных к интеграции (ИНФОГЕО-2025): материалы Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 28.11.2025 г. – СПб. РГГМУ, 2026. – С. 66–75.

21. Беляев, А. К. Геоинформационная методика ситуационно-предиктивной оценки состояния территориальных охранных систем деструктивного региона // Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2025): материалы XIV Санкт-Петербургской межрегиональной конференции. – Санкт-Петербург, 2025. – С. 39–42.

22. Беляев, А. К. Геоинформационная модель состояния охранных мониторингов местности с учетом территориально-предиктивных и стохастических факторов в условиях пространственно-временной неопределенности // Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2025): материалы XIV Санкт-Петербургской межрегиональной конференции. – Санкт-Петербург, 2025. – С. 42–45.

23. Беляев, А. К. Геоконтроллинг: подходы к реализации поддержки управления территориальной активностью // Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2025): материалы XIV Санкт-Петербургской конференции. – Санкт-Петербург, 2025. – С. 46–48.

24. Беляев, А. К. Программное средство «Бастион» как инструмент поддержки принятия решения в работе сотрудников службы инженерно-технического обеспечения и вооружения // Актуальные проблемы деятельности подразделений: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. – Воронеж, 2021. – С. 290–296.

25. Беляев, А. К. Новые подходы к многокритериальному оцениванию альтернатив при принятии решений // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики: сборник трудов Международной научной конференции. – Воронеж, 2021. – С. 1774–1782.

26. Belyaev A. Technical diagnostics of equipment using data mining technologies / A. Belyaev, E. Tsarkova, Y. Lagutin, Y. Matveev, E. Andreeva // Safety in Aviation and Space Technologies: select proceedings of the 9th World Congress Aviation in the XXI Century. – Cham: Springer, 2022. – P. 345–356. – DOI 10.1007/978-3-030-85057-9_30.

27. Беляев, А. К. Интеллектуализация принятия решений в системах защиты охраняемых объектов // Пенитенциарная безопасность: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Самара, 2021. – С. 245–246.