

На правах рукописи



Ничепорчук Валерий Васильевич

**РЕСУРСЫ И ТЕХНОЛОГИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ
ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ
ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

05.25.05 – информационные системы и процессы

**Автореферат диссертации на соискание учёной степени
доктора технических наук**

Новосибирск – 2022

Работа выполнена в Институте вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук – обособленном подразделении ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
Ноженкова Людмила Фёдоровна

Официальные оппоненты: **Амельчугов Сергей Петрович**
доктор технических наук, профессор
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск
заведующий кафедрой пожарной безопасности

Массель Людмила Васильевна
доктор технических наук,
Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева,
Сибирского отделения РАН, г. Иркутск
главный научный сотрудник

Рыбаков Анатолий Валерьевич
доктор технических наук, профессор
Академия гражданской защиты МЧС России, г.о. Химки
начальник НИО по проблемам ГО и ЧС

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт по
проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций
(федеральный центр высоких технологий), г. Москва

Защита состоится 2 июня 2022 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 999.141.03 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова Сибирского отделения Российской академии наук, Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий», федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» по адресу 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, конференц-зал ФИЦ ИВТ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФИЦ ИВТ, www.ict.nsc.ru/ru/structure/discouncil/nicheporchuk-vv

Автореферат разослан « ____ » _____ 2022 года

Учёный секретарь
диссертационного совета Д 999.141.03
к.ф.-м.н.



А.С. Лебедев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Обеспечение природно-техногенной безопасности территорий является национальным стратегическим приоритетом России. Изменения климата, рост сложности и энергоёмкости производств, антропогенного влияния на окружающую среду обуславливают необходимость исследований опасностей и угроз, разработку методов их предотвращения и парирования. Развитие современных технологий получения и обработки данных, рост объёмов детализированной информации об объектах и процессах окружающей среды и техносферы, повышение точности моделей чрезвычайных ситуаций (ЧС), накопление опыта управления в нештатных ситуациях, создают условия для построения принципиально новых информационно-аналитических систем комплексной поддержки управления территориальной безопасностью.

Проблемам информационно-аналитической поддержки управления природно-техногенной безопасностью посвящено большое число исследований. Научные основы организации функционирования Единой системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) раскрыты в трудах С.К. Шойгу, С.А. Качанова, М.А. Шахраманьяна. Под руководством В.И. Осипова, Г.Г. Малинецкого, М.И. Фалеева разработаны стратегии и фундаментальные основы управления комплексной безопасностью территорий. Фундаментальные основы оценки ресурса, рисков для объектов технического регулирования в условиях штатных, аварийных и катастрофических ситуаций рассмотрены в работах Н.А. Махутова, В.В. Москвичёва. Математическому моделированию катастрофических явлений посвящены работы Ю.И. Шокина, Л.Б. Чубарова. Задачи регионального управления на основе корпоративной интеллектуальной технологии обработки пространственно-распределённых данных, методов искусственного интеллекта и технологии обработки знаний о пространственно-распределённых объектах, комплексах и системах на основе онтологий решены в работах И.В. Бычкова, Г.М. Ружникова. Методы обработки данных мониторинга, построения систем поддержки принятия решений на основе новых технологий разрабатываются коллективами под руководством Л.Ф. Ноженковой, А.Ф. Бермана, В.П. Потапова. Решения проблем оценки и управления территориальными рисками ЧС ситуаций представлены в работах В.А. Акимова, Е.В. Арефьевой, С.П. Амельчугова А.А. Быкова, А.Н. Елохина, Н.А. Махутова, В.В. Москвичёва, А.М. Лепихина, А.Л. Рагозина, Н.И. Радаева, И.Ю. Олтян, А.В. Рыбакова, К.В. Симонова, T.D. Groeve, L. Vernaccini, G.D. Haddow, J.A. Bullock, G.E.G. Beroggi, W.A. Wallace, S. Zlatanova, L. Zhou, L. Guossen, H. Kumamoto, V. Marshall и др. Системно исследованы вопросы обеспечения безопасности производственных объектов и систем (Р.С. Ахметханов, Д.О. Резников, В.В. Кульба, О.А. Николайчук). Научными коллективами, возглавляемыми Л.В. Массель, С.П. Сущевым и др., реализованы отраслевые и региональные информационно-управляющие системы.

Результаты перечисленных исследований имеют важное значение для построения фундаментальных основ в сфере обеспечения природно-техногенной безопасности, однако остаётся нерешённой проблема формирования обобщён-

ных принципов построения информационно-аналитических систем на основе технологий комплексной поддержки управленческих решений по обеспечению природно-техногенной безопасности территорий. Функционал существующих программных систем территориального управления обеспечивает частичное решение задач предупреждения ЧС, экстренного реагирования, оценки территориальных рисков. Формирование решений зачастую происходит на основе неформализованной информации (оперативных донесений, отчётов), форматы представления которой не позволяют использовать средства анализа, динамической визуализации. Требуется разработка методологии комплексной поддержки принятия решений по обеспечению территориальной безопасности, позволяющей снизить неопределённости управления за счёт реализации единых принципов консолидации и обработки информационных ресурсов с применением новых информационных технологий.

Использование большого количества программных комплексов, решающих частные задачи поддержки управления на основе фрагментарных данных, диктует необходимость разработки архитектуры систем и информационных ресурсов на основе системного анализа процессов обеспечения безопасности территорий. Для реализации интеллектуальной поддержки своевременного реагирования на угрозы необходима разработка методов раннего обнаружения опасностей при обработке данных комплексного мониторинга. Для поддержки экстренного управления требуется повышение информативности ситуационного моделирования, переход от расчётов динамики распространения опасных факторов к комплексному описанию последствий негативных событий и способов действий по их ликвидации и проведению мероприятий защиты, соответствующих масштабу ситуации и складывающимся условиям, формирование информации по силам и средствам оперативного реагирования. В связи с этим разработка методов построения региональных информационно-аналитических систем природно-техногенной безопасности представляется актуальной и значимой.

Цель исследования – повышение эффективности управления в сфере природно-техногенной безопасности территорий за счёт развития технологий комплексной поддержки решений, построения информационно-аналитических систем на основе интеграции технологий обработки данных, систематизации информационных ресурсов и цифровизации информационных процессов.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1. Исследованы информационные и технологические процессы управления природно-техногенной безопасностью, использования информационных ресурсов, построения информационно-аналитических систем.

2. Разработана системная модель поддержки управления природно-техногенной безопасностью региона, обосновывающая применение сквозных технологий с использованием различных информационных ресурсов для реализации прикладных информационно-аналитических систем.

3. На основе системной модели разработана архитектура информационной поддержки процессов управления природно-техногенной безопасностью терри-

торий с целью создания мультизадачных проблемно ориентированных программных комплексов и сервисов территориального управления.

4. Разработана модель организации информационных ресурсов, используемых в процессах поддержки управления природно-техногенной безопасностью территорий, для реализации аналитической обработки данных оперативного мониторинга для всех задач управления.

5. Разработан метод идентификации опасностей и угроз природного и техногенного характера с целью раннего обнаружения предпосылок ЧС, учитывающий особенности территорий и систем мониторинга.

6. Разработана технология ситуационного моделирования для информационной поддержки экстренного реагирования на разные виды опасных событий природного и техногенного характера, использующая расчётные методики оценки последствий опасных ситуаций, технологии оперативной аналитической обработки, динамического картографирования, формирования рекомендаций и визуализации данных.

7. Разработан метод оценивания рисков, интегрирующий технологии аналитической обработки и динамического картографирования, позволяющий исследовать влияние разных факторов на величину территориальных рисков.

8. На основе разработанных методов и технологий спроектированы и реализованы региональные информационно-аналитические системы природно-техногенной безопасности.

Объект исследования – процессы обработки информации и принятия управленческих решений в системе управления природно-техногенной безопасностью региона.

Предмет диссертационного исследования – методы, модели описания информационных процессов и ресурсов, технология построения информационно-аналитических систем поддержки управления природно-техногенной безопасностью территорий и их конструктивная реализация.

Научная новизна:

1. Разработана семиотическая системная модель поддержки управления природно-техногенной безопасностью региона, обосновывающая применение сквозных технологий в процессах формирования управленческих решений. Научная новизна состоит в том, что построенная модель представляет процессы управления в различных режимах функционирования посредством связывания функциональных задач с технологиями их реализации, что позволяет обосновать унифицированные требования к архитектуре и составу данных информационно-аналитических систем различной направленности.

2. Разработана обобщённая системная архитектура комплексной информационной поддержки процессов управления природно-техногенной безопасностью территорий, позволяющая создавать мультизадачные проблемно ориентированные программные комплексы территориального управления. В отличие от известных подходов системная архитектура позволяет определить функционал синтезируемой системы на основе элементов системной модели для разных режимов функционирования и разных уровней управления природно-техногенной

безопасностью территорий, обосновать выбор программных компонентов и рациональных способов решения задач управления.

3. Предложена модель организации информационных ресурсов для поддержки процессов управления природно-техногенной безопасностью территорий, основанная на оригинальной систематизации мониторинговых данных, процессов их трансформации и представлений результатов аналитической обработки данных для всего спектра задач управления. Модель позволила реализовать консолидацию разнородных данных оперативного мониторинга в единое хранилище и обеспечить их совместную оперативную аналитическую обработку с использованием технологии OLAP. В отличие от других, предложенный подход позволяет контролировать дефицит или избыточность информационных ресурсов, используемых для поддержки задач управления, реализовать разные виды консолидации и хранения данных.

4. Разработан метод выявления опасностей и угроз природного и техногенного характера, основанный на систематизации параметров мониторинга, позволяющий контролировать состояние безопасности территорий с учётом их особенностей. Впервые решена задача автоматического выявления предвестников опасных ситуаций и инициаторов «эффекта домино» на основе анализа числовых и логических параметров разных систем мониторинга.

5. Разработана технология ситуационного моделирования, позволяющая реализовать поддержку экстренного реагирования для различных видов опасных событий природного и техногенного характера. Технология основана на совместном применении расчётных методик оценки последствий опасных ситуаций, динамического картографирования, экспертных систем и веб-технологий. Впервые предложен метод графического проектирования, позволяющий создавать модели ситуаций с сохранением их в базах знаний.

6. Разработан метод оценивания рисков, интегрирующий технологии оперативной аналитической обработки данных и динамического картографирования, позволяющий исследовать влияние различных факторов на величину территориальных рисков. Предложены средства графической визуализации факторов опасности, уязвимости и защищённости территорий, позволяющие исследовать количественные значения рисков на основе данных мониторинга.

7. Полученные теоретические результаты положены в основу проектирования и реализации систем управления природно-техногенной безопасностью территорий Красноярского края, позволяющих по-новому решить задачи информационной поддержки управления и получить новые знания об исследуемых процессах. В их числе:

- информационно-аналитическая система мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций ЭСПЛА-М;
- экспертная геоинформационная система поддержки экстренного реагирования ЭСПЛА-ПРО;
- система анализа данных мониторинга ЧС OLAP-GIS.

В отличие от аналогов, разработанные системы позволяют формировать и распределять информационные ресурсы комплексного мониторинга для даль-

нейшего использования их в процессах информационной поддержки управления, включающих аналитическое и ситуационное моделирование.

Обоснованность и достоверность результатов обусловлена согласованностью с результатами других исследований, представленных в печатных изданиях, и успешным применением разработанных систем в органах управления Красноярского края и других субъектов Сибирского федерального округа.

Апробация результатов. Результаты диссертационного исследования докладывались на международных и всероссийских конференциях, в числе которых: International Convention on information and communication technology, electronics and microelectronics. Business Intelligence Systems (MIPRO-BIS) Croatia, 2012; «Математические и информационные технологии (MIT)», Сербия-Черногория, 2009, 2011, 2013; International conference “Ecology and Safety”, Bulgaria, 2007, 2009, 2014; «Информационные технологии и математическое моделирование в науке, технике и образовании», Бишкек, 2011; Евразийский симпозиум по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата, Якутск, 2010; Международная научно-практическая конференция «Предупреждение. Спасение. Помощь», Химки, 2014-2019; Всероссийская конференция Безопасность и живучесть технических систем, Красноярск, 2007, 2009, 2012, 2015; Всероссийская конференция «Безопасность и мониторинг техногенных и природных систем», 2018, 2020; Всероссийская научно-практическая конференция «Проблемы информатизации региона», Красноярск, 1998-2015; Всероссийская научно-практическая конференция «Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и ЧС», г. Железногорск, 2012-2019; на научных семинарах в Институте вычислительного моделирования СО РАН, Специальном конструкторско-технологическом бюро «Наука» – Красноярском филиале ФИЦ ИВТ, Кемеровском филиале ФИЦ ИВТ, Сибирской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России.

Соответствие специальности. В соответствии с паспортом научной специальности 05.25.05 – «Информационные системы и процессы» диссертационная работа охватывает исследования и разработки в области теоретических, программных, информационных аспектов обеспечения функционирования систем и реализации процессов сбора, хранения, обработки и представления информации. Значение работы заключается в повышении качества решений, принимаемых в области управления территориальной безопасностью с использованием информационно-аналитических систем. Отражённые в диссертации положения соответствуют пунктам 1, 3, 5, 7 паспорта специальности.

Положения, выносимые на защиту:

1. Системная модель поддержки управления природно-техногенной безопасностью региона *обеспечивает теоретическое обоснование* процессов построения информационно-аналитических систем поддержки управления на основе систематизации информационных ресурсов и применения сквозных технологий поддержки принятия решений.

2. Обобщённая системная архитектура комплексной информационной поддержки процессов управления природно-техногенной безопасностью терри-

торий *позволяет* создавать мультизадачные проблемно ориентированные программные комплексы территориального управления.

3. Модель организации информационных ресурсов поддержки процессов управления природно-техногенной безопасностью территорий, основанная на оригинальной систематизации мониторинговых данных и процессов их трансформации, *позволяет* консолидировать разнородные данные мониторинга и, тем самым, обеспечить их совместную оперативную аналитическую обработку и представление результатов для всего спектра задач управления.

4. Метод идентификации опасностей и угроз природного и техногенного характера, основанный на систематизации параметров мониторинга, *позволяет* оперативно обнаруживать предпосылки ЧС и контролировать состояние безопасности территорий с учётом их особенностей.

5. Технология ситуационного моделирования *позволяет* решать задачи предупреждения и ликвидации всех видов опасных событий природного и техногенного характера, реализовать комплексную информационную поддержку на разных уровнях территориального управления.

6. Региональные системы информационно-аналитической поддержки управления природно-техногенной безопасностью *позволяют* по-новому решать задачи заблаговременного и экстренного реагирования на опасные ситуации, управления территориальными рисками ЧС.

Личный вклад автора. Результаты, представленные в главах 2 – 6, получены лично автором. Проектирование и реализация отдельных информационно-аналитических систем выполнены с участием специалистов отдела прикладной информатики ИВМ СО РАН под непосредственным руководством автора.

Связь исследований с научными программами и реализация результатов работы. В основу диссертационной работы положены результаты, полученные автором в ходе исследований, проводимых по планам научно-исследовательских работ Института вычислительного моделирования СО РАН: Программа IV.31.1 фундаментальных исследований Сибирского отделения РАН «Фундаментальные основы и прикладные аспекты вычислительных и информационных технологий, в том числе технологий на базе GRID, в интегрированных информационно-телекоммуникационных системах и сетях»; проект «Гибридные методы анализа данных, системы и технологии поддержки сложных задач организационного управления»; Программа СО РАН IV.35.1 «Теоретические основы и технологии создания и применения интегрированных информационно-вычислительных систем для решения задач поддержки принятия решений»; междисциплинарные интеграционные проекты Сибирского отделения РАН: №116 – «Антропогенные риски угледобывающих и нефтегазодобывающих территорий Сибири», 2010-2012 гг., №42 – «Природные и техногенные риски критически важных гидротехнических объектов, водохранилищ и водных систем Сибири», 2012-2014 гг.

Теоретическая и практическая значимость. Полученные результаты представляют собой совокупность новых научно-технологических методов, реализующих весь цикл создания полнофункциональных информационно-

аналитических систем на основе интеграции новых информационных технологий и систематизации информационных ресурсов. Применение разработанных систем позволило решить основные задачи обеспечения безопасности территорий на более высоком качественном уровне.

Результаты исследования использованы при выполнении НИОКР по заказам МЧС России, Минобрнауки РФ. Работы поддержаны грантами Российского фонда фундаментальных исследований и ККГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности».

Разработанные технологии и информационные системы используются в ФИЦ КНЦ СО РАН, ФИЦ ИВТ, в Главном управлении МЧС России по Красноярскому краю и Главном управлении по делам ГО, ЧС и ПБ города Красноярска. Полученные научные результаты используются при подготовке специалистов в области природно-техногенной безопасности в Сибирской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (г. Железногорск), Сибирском государственном университете науки и технологий им. М.Ф. Решетнёва (г. Красноярск). Указанные положения подтверждены актами о внедрении.

Публикации. По теме диссертации опубликовано более 150 работ, в том числе главы в трёх монографиях, 38 статей в рецензируемых научных журналах и изданиях из перечня ВАК, 12 публикаций, индексированных в базах Web of Science и Scopus. Получены 4 свидетельства регистрации программ.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы (523 наименования) и двух приложений. Работа изложена на 295 страницах, иллюстрирована 58 рисунками и 21 таблицей.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается выбор темы диссертации, её актуальность, формулируется цель и задачи исследования, отмечаются степень новизны результатов и их практическая значимость. Приводятся структура и характеристика работы, излагается краткое описание и даются сведения по апробации.

В **главе 1** обоснована актуальность проблемы информационно-аналитической поддержки управления природно-техногенной безопасностью территорий. Проанализирована структура и функционирование Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций – РСЧС. Показана сложность процессов управления природно-техногенной безопасностью, заключающаяся в необходимости информационного обмена и координации взаимодействия сил и средств в условиях жёстких ограничений по времени и ресурсам, дефицита достоверной информации. В процессах принятия решений используется большой объём отчётов, донесений, распоряжений, форма представления и структура которых допускают неоднозначную интерпретацию, что способствует росту объёмов неформализованных данных. Неформализованный вид описаний характеристик объектов и событий, ранее принятых решений и их результатов затрудняет автоматизацию информационной поддержки управления обеспечением природно-техногенной безопасности территорий, снижает эффективность функционирования РСЧС. Вместе с тем, со-

временный уровень развития технологий позволяет собирать и обрабатывать большие объёмы данных об объектах и событиях для информационной поддержки принятия решений, консолидировать накопленный опыт управления в нештатных ситуациях. Приведён обзор исследований процессов управления безопасностью территорий, моделирования катастроф, интеллектуальной обработки данных и знаний, построения систем мониторинга, ситуационного моделирования, оценки рисков ЧС, ведущихся в РАН, отраслевых ведомствах и за рубежом. Трудности внедрения современных технологий в деятельность территориальных органов управления связаны со слабым взаимодействием отраслевой и фундаментальной науки, фрагментарным финансированием работ.

Выполнен анализ российских и зарубежных ресурсов мониторинга и прогнозирования опасностей, структуры и содержания данных оперативных наблюдений, инструментария их аналитической обработки. Данные космического мониторинга, наземных наблюдений за состоянием окружающей среды и результаты контроля функционирования объектов техносферы могут использоваться для раннего обнаружения критических состояний. Требуется систематизация параметров мониторинга, разработка комплекса индикаторов опасностей и угроз природного и техногенного характера, позволяющего применить технологии оперативной аналитической обработки при формировании решений по своевременному реагированию на предпосылки ЧС.

Дано определение ситуационного моделирования как метода исследования поведения сложной системы посредством анализа изменения ситуации. Ситуация определяется как набор состояний элементов системы и связей между ними. В рамках данной работы ситуационное моделирование рассматривается как инструмент анализа состояний системы обеспечения природно-техногенной безопасности для решения задач информационной поддержки управления предупреждением и ликвидацией ЧС. Для применения методов ситуационного моделирования необходимо описание всех элементов системы обеспечения безопасности территорий, что может быть сделано путём построения системной модели управления. Выполнен анализ большого количества программных реализаций методов ситуационного моделирования. Показано, что результаты расчётов масштабов и динамики событий лишь частично обеспечивают поддержку управленческих решений по реагированию на опасные ситуации. Для комплексной поддержки управления в разных ситуациях необходима разработка технологии ситуационного моделирования, формирующей рекомендации по управлению силами и средствами, последовательности выполнения аварийно-спасательных, других неотложных работ, справочную информацию.

На основе анализа нормативных документов, методик и их программных реализаций показаны отличия методов оценивания рисков ЧС территорий от расчётов рисков аварий для потенциально опасных промышленных объектов. Используемые в настоящее время системы «Динамический анализ природных, техногенных и биолого-социальных рисков территорий», «Студия анализа рисков», «tHAZARD» и их зарубежные аналоги могут применяться на отдельных этапах оценивания рисков и обоснования долгосрочных стратегических меро-

приятый по снижению потерь от ЧС, пожаров и других опасных событий. Необходимо разработка новой методологии оценивания и управления территориальными рисками, интегрирующей результаты ситуационного моделирования и интеллектуального анализа статистически значимых объёмов данных мониторинга функционирования техногенных и природных систем.

Рассмотрена проблема организации данных для решения задач управления природно-техногенной безопасностью. Большая часть информационных ресурсов, формируемых в органах управления РСЧС, таких как паспорта безопасности территорий, базы 3D-моделей объектов, населённых пунктов, каталоги ЧС и происшествий требуют значительных затрат на поддержание в актуальном виде, формализацию с целью интеграции в информационно-управляющие системы. Показаны отличия функциональных задач отраслевых информационных систем и обеспечения безопасности территорий. Единое информационное пространство может быть создано на основе технологий распределённого хранения. Модель организации информационных ресурсов необходима для систематизации данных разных источников, определения требований по актуализации и обработке для повышения качества поддержки управления.

Сложность и системность проблем использования информационных технологий и ресурсов в процессах поддержки принятия решений показывают необходимость создания новой методологии разработки региональных информационно-аналитических систем природно-техногенной безопасности. Для этого требуется решение задач, сформулированных в диссертационной работе.

В главе 2 «Модель информационной поддержки управления природно-техногенной безопасностью» представлена системная семиотическая модель M информационной поддержки управления природно-техногенной безопасностью регионального уровня:

$$M = \langle G, T, L, R, IT, F, Y \rangle, \quad (1)$$

где G – процессы управления, T – задачи управления, L – уровни территориального управления; R – информационные ресурсы; IT – информационные технологии, F – функции обработки данных, Y – информационные представления.

Синтаксис модели на верхнем уровне применим для других сфер территориального управления, предполагающих использование информационных технологий для синтеза управленческих решений. Прагматика модели реализуется через проблемно-ориентированные информационно-аналитические системы, построение которых основано на использовании элементов модели.

Информационная поддержка управления природно-техногенной безопасностью реализуется для процессов $G = \{g_1, g_2, g_3\}$, где g_1 – повседневное управление, включающее сбор данных и раннее предупреждение ЧС; g_2 – оперативное управление при возникновении опасных ситуаций и угроз с учётом их вида, масштаба и места возникновения; g_3 – стратегическое планирование мероприятий по снижению территориальных рисков до допустимого уровня. Множество задач управления $T = \{T(g_1), T(g_2), T(g_3)\}$ определяется в соответствии с процессами управления G : $T(g_1) = \{t_{11}, t_{12}, t_{13}, t_{14}\}$ – задачи, которые

решаются в процессе повседневного управления g_1 : t_{11} – оперативная идентификация опасностей и угроз, t_{12} – формирование возможных сценариев ЧС, t_{13} – прогнозирование обстановки различной срочности, t_{14} – оповещение и информирование; $T(g_2) = \{t_{21}, t_{22}\}$ – задачи, решаемые в процессе оперативного управления g_2 : t_{21} – ликвидация опасных ситуаций, t_{22} – проведение мероприятий защиты; $T(g_3) = \{t_{31}, t_{32}\}$ – задачи стратегического управления g_3 : t_{31} – оценивание рисков территорий, t_{32} – контроль мероприятий по снижению рисков.

Рассматриваются три уровня управления территориальной безопасностью: $L = \{l_1, l_2, l_3\}$, где l_1 – субъектовый (региональный), l_2 – муниципальный, l_3 – уровень объекта или населённого пункта.

Информационные ресурсы R описываются двумя подмножествами S , D , где S – виды информационных ресурсов, используемых для информационной поддержки управления природно-техногенной безопасностью территорий, отражающие понятийный аппарат лиц, принимающих решения (сведения); D – виды информационных ресурсов, используемых при построении систем поддержки управления (данные). Множество $S = O_1 \cup O_2 \cup O_3$, где O_1 – потенциально опасные процессы; O_2 – защищаемые объекты; O_3 – объекты управления (элементы территориальной подсистемы РСЧС). Через O_1 можно представить опасные события в виде описаний периода времени и обстановку как набор параметров в конкретный момент времени. При оценивании безопасности объектов и территорий используется аналогичное разделение критериев состояния на «опасность», «уязвимость», «защищённость». Множество $D = \{d_1, d_2, \dots, d_5\}$, где d_1 – системообразующие элементы (справочники, классификаторы); d_2 – описание объектов; d_3 – описание процессов; d_4 – данные, отображаемые на картах; d_5 – данные, используемые для управления процессами. При этом допускается пересечение элементов множества D .

Разнообразие задач поддержки управления T приводит к необходимости использования различных информационных технологий: $IT = \{it_1, it_2, \dots, it_6\}$, где it_1 – технологии хранения данных; it_2 – технология ведения справочников; it_3 – технологии аналитической обработки; it_4 – геоинформационные технологии; it_5 – веб-технологии, it_6 – интеллектуальные технологии.

Множество функций F информационно-аналитических систем, обеспечивающих процессы управления: $F = \{f_1, f_2, \dots, f_6\}$, где f_1 – сбор, консолидация и хранение данных, f_2 – оперативный анализ данных, f_3 – моделирование ситуаций, f_4 – идентификация отклонений параметров от нормативных значений, f_5 – визуализация результатов обработки данных, f_6 – формирование решений.

Информационные представления, формируемые в процессе поддержки управленческих решений: $Y = \{C, A, U, M\}$, где C – тексты-рекомендации, A – таблицы; U – графики или диаграммы, M – динамические карты. В свою очередь, $C = \{c_1, c_2\}$, где c_1 – нумерованный список, c_2 – текст; $A = \{a_1, a_2\}$, где a_1 – результат запроса к базе данных, a_2 – кросс-таблица OLAP; $U = \{u_1, u_2, \dots, u_4\}$, где u_1 – график, u_2 – гистограмма; u_3 – круговая диаграмма; u_4 – биржевой график; $M = \{m_1, m_2, m_3\}$, где m_1 – тематические слои, отображённые на веб-основе, m_2 – слой на цифровой основе; m_3 – динамическая картограмма.

На рисунке 1 показана семантика взаимодействия элементов модели M .

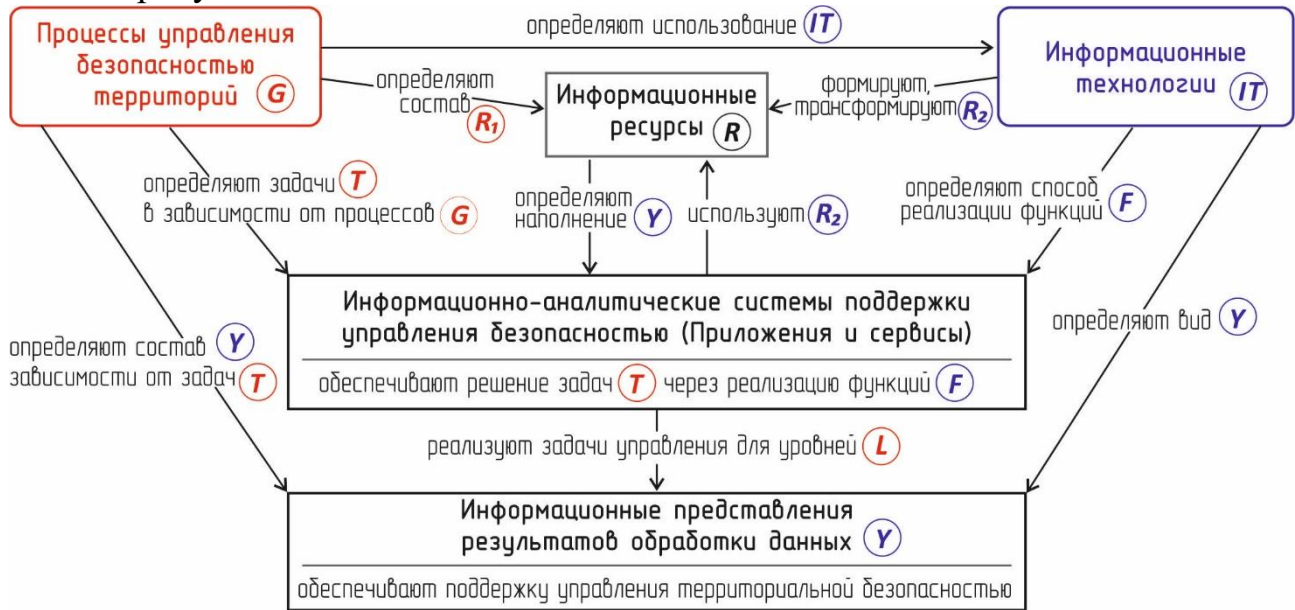


Рисунок 1 – Онтология системной модели

Онтология модели M интегрирует два аспекта: элементы G, T, L описывают сферу управления природно-техногенной безопасностью (красный цвет элементов); элементы F, IT – информационные технологии и системы (синий цвет элементов) и их взаимодействие через R . Описание видов информационных ресурсов рассмотрено как с позиций управления безопасностью S , так и в качестве множества представлений в информационно-аналитических системах D . Информационно-аналитические системы поддержки управления безопасностью создаются на основе использования информационных технологий в применении к конкретной предметной области. Смысловые отношения между сущностями рисунка описываются элементами множества M .

Процессы решения задач управления t можно представить как отображение $t: d \xrightarrow{it, f} y$, где d – исходные информационные ресурсы; y – результаты решения задачи; f – функции, выполнение которых необходимо для решения задачи; it – используемые информационные технологии. Например:

$$t_{11} : \{d_1, d_3, d_2, d_4\} \xrightarrow{(it_1+it_2+it_3), (it_6+it_3+it_4)}^{f_{11}, f_{12}, f_{15}} \{m_p, u_1, a_2\}$$

– оперативная идентификация опасностей и угроз;

$$t_{12} : \{d_1, d_2, d_3, d_4, d_5\} \xrightarrow{(it_5+it_1+it_4), (it_5+it_4+it_6)}^{f_{13}, f_{14}, f_{15}} \{a_1, m_2, c_1, c_2\}$$

– формирование сценариев ситуаций;

$$t_{13} : \{d_1, d_3, d_4\} \xrightarrow{(it_1+it_3), (it_5+it_4+it_6)}^{f_{11}, f_{12}, f_{15}} \{m_1, m_3, c_2, a_2\}$$

– прогнозирование обстановки;

$$t_{14} : \{d_2, d_5\} \xrightarrow{it_5, it_1, it_6}^{f_{12}, f_{15}, f_{16}} \{a_1, c_1\}$$

– оповещение и информирование;

$$t_{21} : \{d_1, d_2, d_3, d_4, d_5\} \xrightarrow{(it_5+it_1+it_4), (it_5+it_4+it_6)}^{f_{23}, f_{24}, f_{25}} \{a_1, m_2, c_1, c_2\}$$

– ликвидация опасных факторов ситуаций;

$$t_{21} : \{d_1, d_2, d_3, d_4, d_5\} \xrightarrow[(it_5+it_1+it_4), (it_5+it_4+it_6)]{f_{23}, f_{24}, f_{25}} \{a_1, m_2, c_1, c_2\} \quad \begin{array}{l} \text{– проведение мероприятий} \\ \text{защиты;} \end{array}$$

$$t_{31} : \{d_2, d_3, d_4\} \xrightarrow[(it_1+it_3), (it_3+it_4+it_6)]{f_{32}, f_{33}, f_{36}} \{a_2, m_3, u_2, u_3\} \quad \begin{array}{l} \text{– оценивание рисков;} \\ \\ \text{– контроль проведения} \\ \text{мероприятий по снижению} \\ \text{территориальных рисков.} \end{array}$$

$$t_{32} : \{d_2, d_3, d_4, d_5\} \xrightarrow[(it_1+it_3), (it_5+it_3+it_4)]{f_{31}, f_{32}, f_{33}, f_{35}} \{a_2, u_1, m_3\}$$

Для всех отображений описаны процессы решения задач управления. Например, решение задачи t_{21} представляется как отображение данных d_4 о защищаемых объектах O_2 , объектах управления O_3 , а также исходных данные O_1 для ситуационного моделирования, которые задаются на основе оперативной информации о складывающейся обстановке на месте ЧС, в результирующие представления: a_1 – перечни сил и средств O_3 , реагирующих на событие, c_1 – перечень мероприятий по локализации и ликвидации опасных факторов ситуации, оперативную карту обстановки m_2 , текстовые пояснения обстановки c_2 . В процессе решения задачи используется интеграция интеллектуальных технологий it_6 , работающие с базами знаний d_7 и ГИС it_4 , использующей пространственные данные d_6 . Перечни мероприятий и формирований формируются с использованием технологий хранилищ данных it_6 ; константы для выполнения расчётов запрашиваются из системы справочников it_2 . Процесс обработки заключается в последовательном выполнении функций: f_{21} – получение данных о событии, f_{23} – моделирование ситуаций и картографической визуализации результатов расчётов, f_{25} – консолидация результатов обработки в интерактивный отчёт, f_{16} – формирование решений. В отличие от задачи t_{13} для оценки динамики используются упрощённые методики расчёта, не требующие большого количества исходных данных и экономящие время на формирование решения.

Отображения позволяют описать виды информационных ресурсов, требующихся для поддержки принятия решений, информационные технологии, реализующие функции сбора, обработки и представления информации. При решении практически всех задач управления возникает необходимость интеграции различных технологий для обработки разных информационных ресурсов и формирования комплексной поддержки управления.

В Главе 3 представлена **обобщённая системная архитектура информационной поддержки процессов управления природно-техногенной безопасностью территорий**, позволяющая создавать мультизадачные проблемно ориентированные программные комплексы территориального управления. Системная архитектура определяет функционал синтезируемой системы с использованием элементов модели M для разных уровней управления и позволяет обосновать выбор программных компонентов и рациональных способов комплексного решения задач управления.

Процесс построения системной архитектуры представляет собой декомпозицию задач управления в виде и отображений и функциональных диаграмм,

детально иллюстрирующих трансформацию информационных ресурсов. В работе представлены функциональные диаграммы для всех задач управления T и описаны особенности их решения с использованием информационно-аналитических систем.

Обобщённая системная архитектура описывает следующие компоненты: источники данных, блок консолидации информационных ресурсов, подсистемы и сервисы обработки данных, человеко-машинные интерфейсы. Расположение блоков аналогично разработанным функциональным диаграммам. Архитектура, представленная на рисунке 2, описывает региональный уровень управления l_1 .

Источники данных и процессы консолидации описываются в соответствии с классификацией информационных ресурсов R и технологий IT . Хранилища данных формируются из разных видов источников: приборов мониторинга и контроля обстановки; корпоративных систем мониторинга; веб-ресурсов мониторинга; а также донесений и отчётов, собранных с использованием веб-системы сбора данных. Системообразующие ресурсы импортируются из подсистемы ведения справочников.

Функционирование подсистем и сервисов обработки данных реализует аналитическое и ситуационное моделирование, динамическую визуализацию результатов формирования решений. Сервисы обработки сгруппированы в порядке использования систем при реализации процессов G .

Человеко-машинные интерфейсы включают настольные программные комплексы, веб-сайты и мобильные приложения. Специализированные АРМ ориентированы на разные группы пользователей. АРМ операторов дежурных смен и экспертов используются для моделирования ситуаций, формирования текстов оповещения, координации действий по ликвидации опасных ситуаций, проведения мероприятий защиты. АРМ эксперта предназначено для разработки сценариев ситуаций с использованием аналитического и ситуационного моделирования. АРМ администратора выполняет функции управления данными и разграничения доступа. АРМ лиц, принимающих решения, визуализирует результаты анализа состояния безопасности территорий и проекты решений по действиям в ЧС.

Приведены примеры построения проблемно-ориентированных архитектур, разработанных на основе предложенного подхода. В архитектуре систем муниципального уровня рассмотрены особенности решения задач управления на основе создания распределённых информационных ресурсов. Для архитектур информационных систем, ориентированных на поддержку принятия решений при затоплениях территорий и возникновении природных пожаров, описаны характеристики источников данных, процессы трансформации информационных ресурсов и используемые средства моделирования. Система «Паводки» ориентирована на организацию взаимодействия объектов управления O_3 для спасения людей и их жизнеобеспечения. Система «Природные пожары» – на мониторинг, контроль и мероприятия противодействия при угрозах объектам защиты.

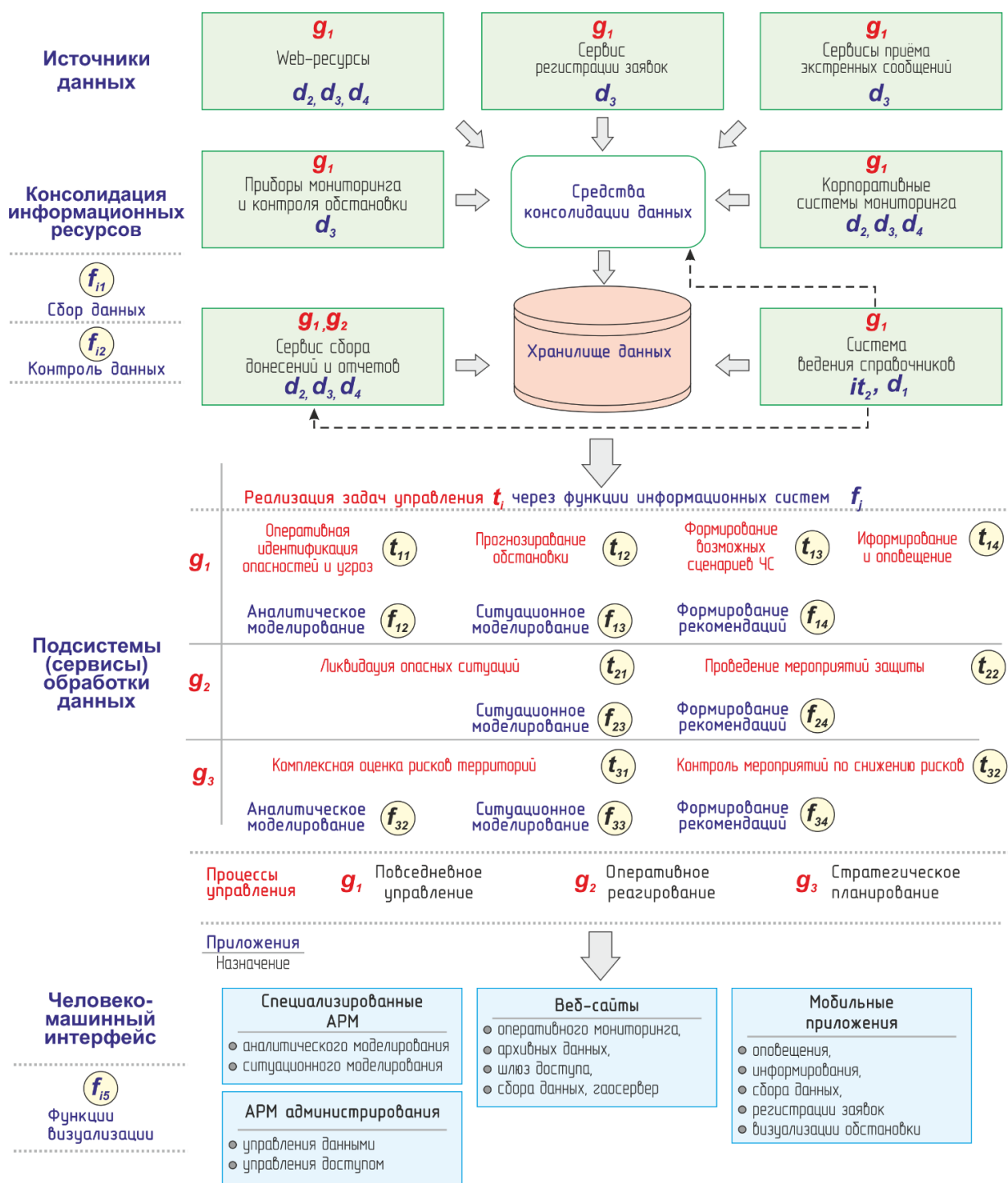


Рисунок 2 – Обобщённая системная архитектура

Оригинальность предлагаемого подхода заключается в возможности масштабирования системной архитектуры, включая необходимые информационные ресурсы, технологии и программное обеспечение. Это позволяет адаптировать системы для разных уровней и задач управления. Конкретизация архитектуры для определённого вида опасных ситуаций определяет состав данных и программных модулей для частных задач управления, средств визуализации.

В Главе 4 описана модель организации информационных ресурсов для поддержки процессов управления безопасностью территорий, основанная на оригинальной систематизации мониторинговых данных, процессов их транс-

формации и представлений результатов анализа для всего спектра задач управления и детализирующая характеристики системной архитектуры. Предложенная модель описывает организацию информационных ресурсов, заключённую в компонентах, их взаимоотношениях, окружении и принципах, определяющих проектирование, формирование и актуализацию данных. Это позволило реализовать консолидацию разнородных данных мониторинга и обеспечить их совместную аналитическую обработку с использованием OLAP, реализовать технологию ситуационного моделирования опасных событий.

Для описания модели организации информационных ресурсов использован онтологический подход. Онтология позволяет обосновать структуру хранилищ данных и метаописания составляющих их сущностей. Элементы онтологии:

$$A = \langle S, D, T, H, Q, W \rangle, \quad (2)$$

где S – виды информационных ресурсов, отражающие понятийный аппарат лиц, принимающих решения; D – виды информационных ресурсов, используемых при построении систем поддержки управления; T – задачи управления; H – виды ситуаций; Q – виды источников данных; W – виды доступа к данным.

Виды источников данных, информация из которых используется в региональных информационно-аналитических системах поддержки управления, $Q = \{q_1, \dots, q_5\}$, где q_1 – приборы инструментального контроля; q_2 – системы сбора донесений; q_3 – информационные системы мониторинга, включая корпоративные, объектовые, а также интеграторы мониторинговых данных; q_4 – способы организации хранения данных мониторинга (порталы, сайты, информационные шлюзы); q_5 – выборки из баз данных и других информационных ресурсов, загружаемых с использованием «ручной» пакетной обработки.

Виды доступа к данным, используемым в задачах аналитической обработки $W = \{w_1, w_2, w_3\}$, где w_1 – единое централизованное хранилище данных; w_2 – распределённые (облачные) сервисы хранения; w_3 – доступ к ограниченным выборкам данных распределённых ресурсов и использованием ссылок.

Описаны все связи между классами онтологии (Рисунок 3). Например, связи между видами ситуаций H и задачами T «определяют постановку задач» можно представить как $(\forall h \in H)(\exists t \in T)(h \rightarrow t)$ – каждый конкретный вид ситуации определяет постановку задачи, требования к результатам её решения и необходимые информационные процессы. Связи между H и S , обозначенная на рисунке как «определяют состав информации», можно описать как $(\forall h \in H)(\exists s \in S)(h \rightarrow s)$, то есть каждый вид ситуации определяет состав информации, необходимый для описания конкретной ситуации или обстановки. На основе описания логических связей элементов системной модели, а также множеств видов опасных ситуаций H ; источников данных Q и способов доступа к данным W разработаны варианты организации информационных ресурсов, необходимых для решения задач управления T . Показано, что, несмотря на большое количество элементов в онтологии, существенное количество связей между элементами дублируется или пустое.

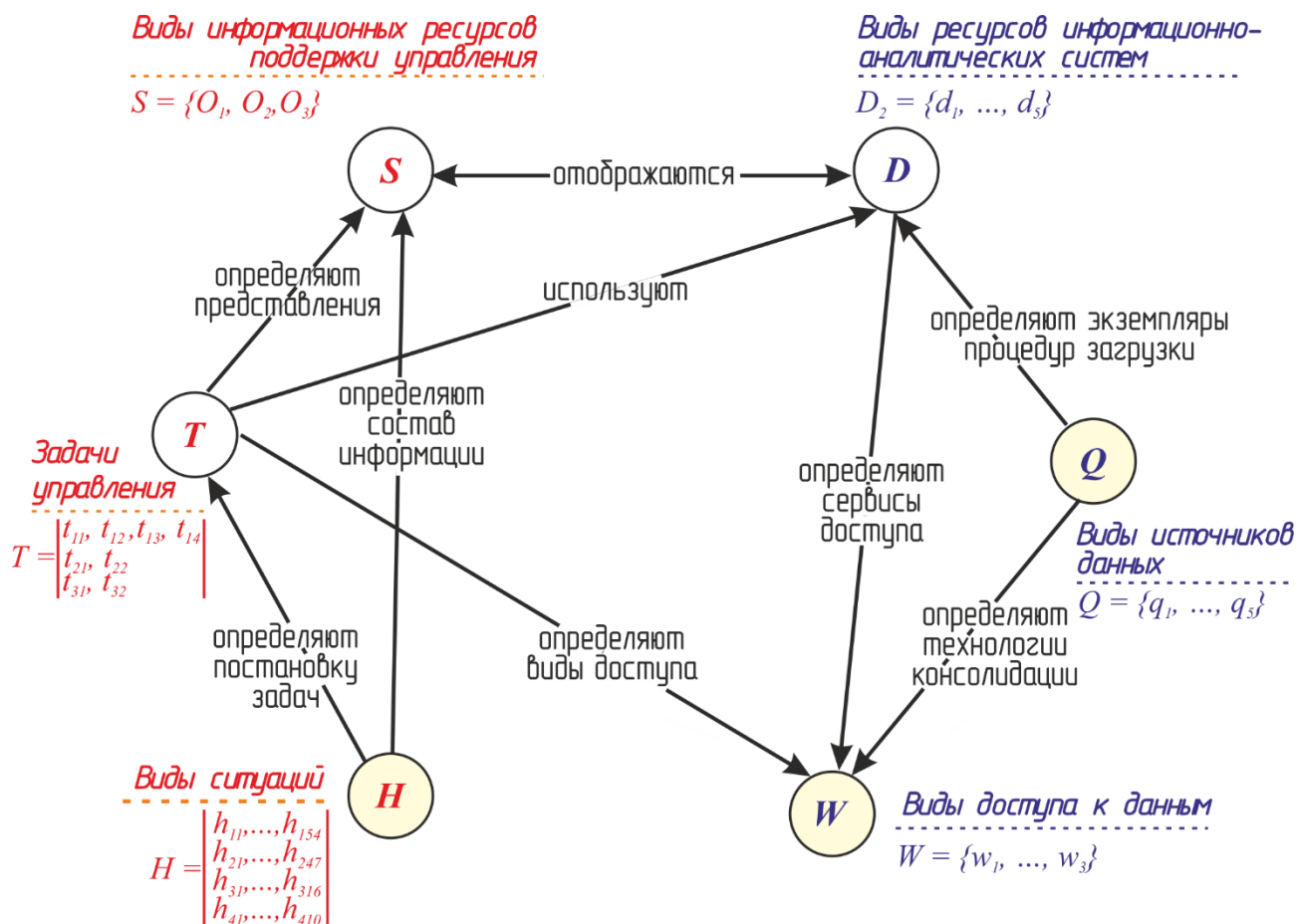


Рисунок 3 – Онтология информационных ресурсов

Экземпляры объектов онтологии и их атрибуты раскрыты на конкретных примерах, позволяющих реализовать даталогическое и физическое проектирование структур данных, конкретизирующих решение задач. Подробно описаны структуры данных каждого вида информационных ресурсов: справочников, данных мониторинга, пространственных данных, а также баз знаний, отражающих представление многоуровневой агрегированной модели знаний. Представлена структура консолидированного хранилища мониторинговых данных, включающая модель справочников и оглавлений, структуры элементов, описывающих объекты контроля, потенциальные источники опасностей природного и техногенного характера, защищаемые объекты, объекты управления (элементы территориальной подсистемы РСЧС) и опасные события.

На основе модели информационных ресурсов сформировано хранилище данных мониторинга, используемое для информационной поддержки управления в системе обеспечения природно-техногенной безопасности территорий Красноярского края. Область длительного хранения содержит мониторинговую и статистическую информацию и включает оперативные, исторические, справочные, пространственные данные. Раздел «Подключение» содержит сведения о различных схемах, используемых в процессе импорта, и позволяет работать со всеми видами источников данных, представленных в архитектуре информационных ресурсов. В разделе «Предзагрузочная обработка» разрабатываются и исполняются пакеты загрузки, процедуры импорта, обеспечивающие консоли-

дацию данных из разных источников с автоматической актуализацией информационных ресурсов. В случае изменения структуры источника данных выполняется настройка соответствия путём сопоставления полей таблиц источника и хранилища данных.

Раздел хранилища «Аналитические объекты» содержит OLAP-модели, обеспечивающие комплексную обработку данных мониторинга и аналитическое моделирование. Разработанное централизованное хранилище данных представляет собой распределённый информационный ресурс решения задач управления природно-техногенной безопасностью Красноярского края.

В главе 5 «Систематизация критериев раннего обнаружения опасностей и угроз» представлен разработанный комплекс индикаторов опасностей и угроз природного и техногенного характера, основанных на систематизации параметров мониторинга, что позволяет реализовать метод раннего обнаружения предпосылок ЧС, использовать OLAP-модели аналитической обработки для контроля состояния безопасности территорий с учётом их особенностей.

На основе требований системной архитектуры и модели организации информационных ресурсов, анализа существующих систем мониторинга разных уровней предложена систематизация параметров мониторинга. Систематизация параметров мониторинга увязывает числовые показатели физических величин и логические сигналы с разными видами опасных ситуаций. В отличие от существующих методов, система критериев опасностей и угроз позволяет автоматически идентифицировать предвестники для всех доступных видов опасных ситуаций природного и техногенного характера и адаптируется для структур данных разных систем оперативного мониторинга обстановки.

Разработан алгоритм раннего выявления предпосылок чрезвычайных ситуаций, обеспечивающий выбор и применение критериев в зависимости от видов обстановок, мест наблюдений и измеряемых параметров. Алгоритм учитывает влияние факторов разных обстановок, например, уменьшает диапазон допустимых значений контролируемых параметров обстановок при неблагоприятных значениях метеорологических факторах. При идентификации опасностей и угроз инициируются решения задач оперативного реагирования по разработанным сценариям. В случаях идентификации угроз интеллектуальная технология формирует тексты информирования и оповещения с учётом вида, места возникновения и масштаба возможных опасных ситуаций. Показаны решения практических задач раннего обнаружения предвестников ЧС для разных территорий. Разработаны комплексные аналитические модели, позволяющие рассчитывать критерии на основе нескольких параметров, выявлять опасности и угрозы на основе совместного анализа данных мониторинга опасностей с характеристиками уязвимости территорий и взаимовлияние обстановок.

Программная реализация автоматической индикации опасностей угроз ЧС основана на «принципе семафора» (Рисунок 4).

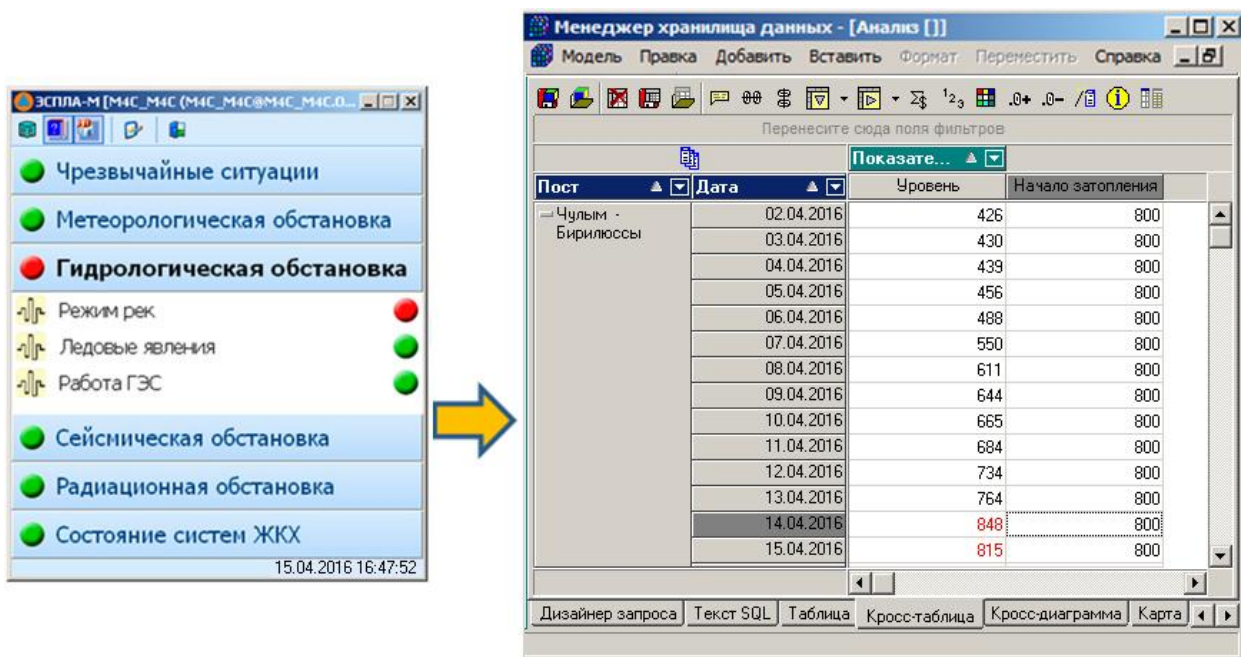


Рисунок 4 – Идентификация опасностей в АРМ оператора дежурной смены

Обнаружение угроз реализовано путём проверки данных мониторинга на соответствие или выход за пределы установленных пороговых значений. Автоматическая индикация основана на свойствах фильтрации и агрегации параметров в аналитических моделях OLAP. Оценивание осуществляется путём сравнения текущих значений контролируемых параметров с критериями. Фильтрация реализована для определения уровней состояния объектов контроля. В зависимости от результатов контролируемые параметры раскрашиваются в следующие цвета: «зелёный» – обстановка в норме, значения параметров находятся в пределах допустимых значений; «угроза» – идентификация угрозы, когда значения параметров приближаются к критическим, либо наблюдается резкая динамика изменений, либо фиксируется длительное отклонение от среднеголетних нормативных значений; «красный» – идентификация опасности, повышенный риск возникновения опасной ситуации или ЧС.

Глава 6 «Технология ситуационного моделирования опасных событий» описывает схемы решения задач предупреждения и ликвидации всех видов опасных событий природного и техногенного характера. Процесс информационной поддержки управления основан на совместном использовании расчётных методик оценки последствий опасных ситуаций, разных по сложности и точности расчётов, метода динамического картографирования, экспертных систем и веб-технологий. Последовательность этапов ситуационного моделирования в виде алгоритмической схемы представлена на рисунке 5.

Информационная поддержка управления реализуется для всех видов ситуаций, сигналы о которых поступают в диспетчерские службы экстренного реагирования по телефонным звонкам, от систем мониторинга, от взаимодействующих ведомств. Ситуационное моделирование инициируется вызовом сценария (шаг 1), соответствующего виду опасного события.

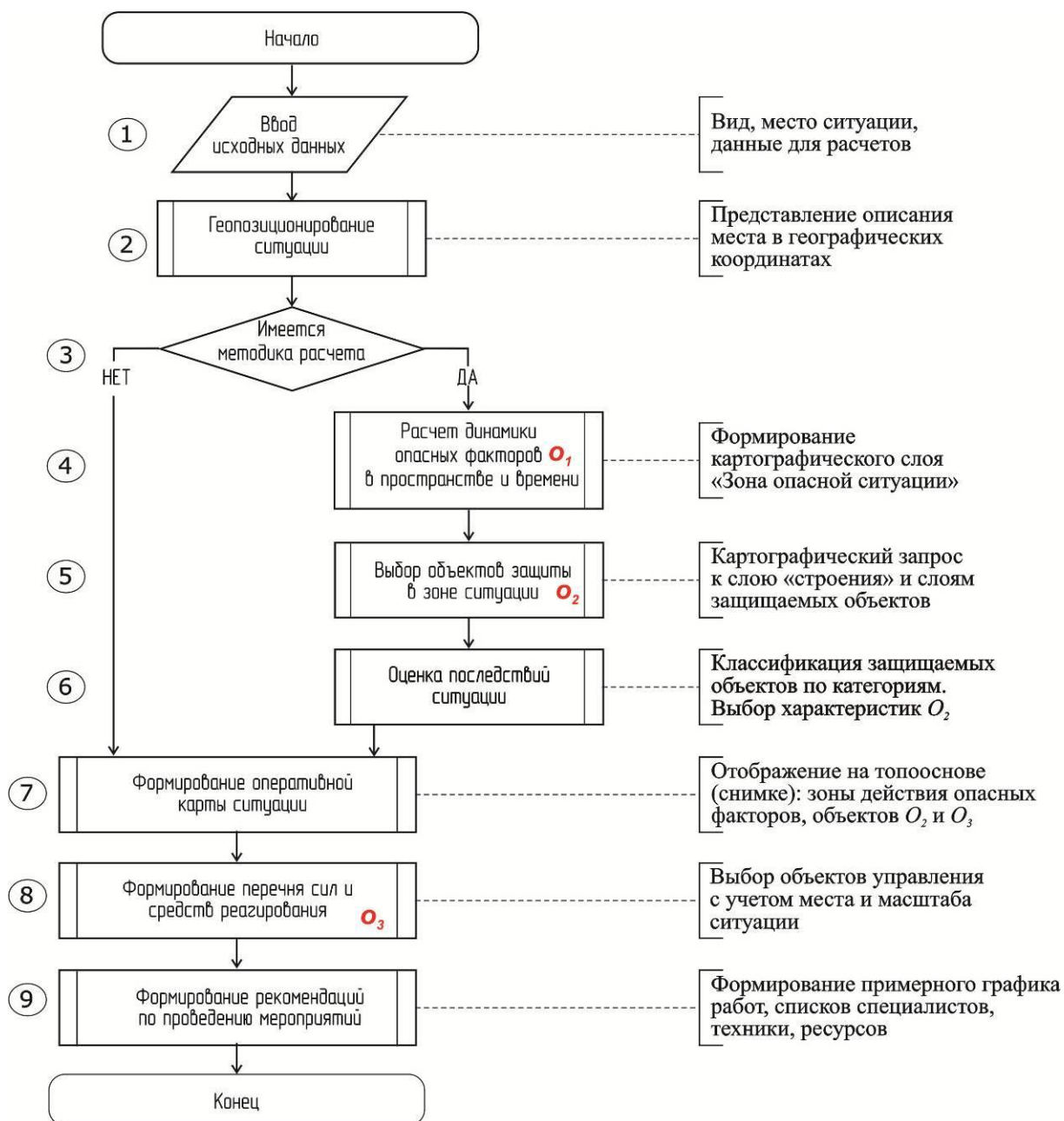


Рисунок 5 – Последовательность моделирования ситуаций

Сценарий описывает последовательность логического вывода, включающего расчёты, формирование оперативных карт и рекомендаций по управлению, состоящих из последовательности действий, перечней специалистов, необходимой техники и ресурсов. На шаге 2 выполняется перевод из различных представлений места ситуации в географические координаты. Геопозиционирование позволяет оценить удалённость формирований, время реагирования и вероятность эскалации ситуации.

Ситуационное моделирование реализуется в виде фоновых оценок (3) на основе упрощённых методик с повторным расчётом после уточнения обстановки либо с использованием специализированных моделей, учитывающих распространение опасных факторов во времени и пространстве. При неопределён-

ностях оценок масштабов ситуаций, для которых отсутствуют методики расчёта, предусматривается избыточность сил и средств реагирования.

Формирование оперативных карт (4-6) происходит с использованием ГИС *it₄*, которая интегрирует топографические основы или космические снимки из веб-ресурсов, тематические слои с результатами динамического картографирования зоны ситуации. На этапах 8 и 9 формируются описания сил и средств с детализацией до уровня специалистов, техники и ресурсов.

Результаты моделирования представляются в виде элементов множества *Y*, которые визуализируются с использованием веб-технологий *it₆*. В отличие от статических форм, динамически настраиваемые таблицы, карты, графики позволяют адаптировать формируемые решения под конкретную ситуацию и предпочтения лиц, принимающих решения, исключить избыточность информации, замедляющей выработку системы неотложных мероприятий.

Предложен метод графического представления мероприятий реагирования в виде сценариев опасных ситуаций. Он иллюстрирует последовательность процессов оценки последствий, действий по ликвидации опасных факторов, проведения защиты и формировать комплексные решения на разных уровнях управления в ситуациях любых видов. Сценарный подход упрощает организацию взаимодействия при ЧС большого масштаба. Далее сценарии описываются в виде баз знаний *d₇* с использованием продукционно-фреймовой модели. Показан процесс пополнения знаний, редактирования сценариев ситуаций.

Систематизированы функции информационной поддержки, реализуемые ГИС *it₄*. Описан процесс динамического картографирования последствий реализации опасной ситуации и действий по её ликвидации и проведению мероприятий защиты, позволяющий автоматизировать создания оперативных карт обстановки. Ситуационное моделирование апробировано в решении разных задач управления безопасностью, включая разработку паспортов безопасности промышленных объектов и муниципальных образований. Реализация моделей опасных ситуаций с использованием цифровых моделей рельефа впервые позволила оценить риски затоплений, спланировать и провести превентивные мероприятия по защите населённых пунктов, реконструкции и ремонту гидротехнических сооружений на территории Красноярского края.

В разделе 6.2 «Аналитическое моделирование в задачах управления рисками» представлен метод оценивания рисков ЧС, используемый для стратегического управления природно-техногенной безопасностью территорий разработан. Оценивание включает следующие этапы: 1) систематизация показателей, используемых в расчётах потенциально-возможных рисков и аналитическом моделировании; 2) формирование информационных ресурсов на основе данных мониторинга объектов и опасных событий, статистических данных и пространственной информации; 3) расчёт значений рисков с использованием методик, построение комплексных моделей OLAP; 4) картографирование распределения рисков на исследуемой территории; 5) формирование рекомендаций по управлению рисками с учётом приоритетности реализации и ограничений по ресурсам.

На основе информационных ресурсов разных ведомств, в ведение которых входят вопросы обеспечения безопасности, разработан перечень показателей риска. Обеспечено наполнение и актуализация проблемно-ориентированной базы данных для оценивания рисков территорий. База данных включает, характеристики элементов O_1 , O_2 , O_3 и зарегистрированные опасные события за статистически значимый период, числе которых: ЧС и социально значимые происшествия; техногенные и бытовые пожары, аварии систем ЖКХ, природные пожары, опасные погодные явления; затопления территорий и др. Впервые создана консолидированная региональная база данных опасных событий природного и техногенного характера большого объёма и степени детализации.

Реализованы методы картографической визуализации результатов оценивания рисков. Картографирование осуществляется путём построения динамических картограмм либо визуализации распределения на основе расчётной сетки. Разработан алгоритм построения карт различных масштабов и наполнения. Построен атлас рисков ЧС природного, техногенного и экологического характера Красноярского края и отдельных территорий (зоны влияния Богучанской ГЭС, Арктической зоны, районов добычи и транспортировки углеводородов).

Результаты оценивания рисков используются для решения задач стратегического управления, включая планирование превентивных мероприятий; совершенствование систем защиты от опасностей; подготовки целевых долгосрочных программ снижению рисков ЧС и обеспечению пожарной безопасности, контроля и проведения превентивных мероприятий по снижению уязвимости территорий; формирование информационных ресурсов, используемых для оперативного управления при реагировании на ЧС и другие опасные события на муниципальном и региональном уровнях управления.

В главе 7 «Информационно-аналитические системы поддержки управления природно-техногенной безопасностью» представлено описание структуры и функционирования систем ЭСПЛА-М, ЭСПЛА-ПРО, OLAP-GIS внедрённых в органах управления МЧС России. Использование системной архитектуры позволило обеспечить информационную поддержку задач управления за счёт интеграции технологий, использования консолидированных информационных ресурсов.

Информационно-аналитическая система мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций ЭСПЛА-М используется для формирования хранилищ данных с последующей аналитической обработкой, оперативной идентификации опасностей и угроз, информационной поддержки прогнозирования. Создание системообразующих ресурсов осуществляется средствами ведения справочников. Использование независимой платформы ведения справочников позволяет сохранять их целостность и унифицировать процессы анализа всех элементов распределённых систем. Программный компонент «Менеджер хранилища данных» применяется для управления консолидацией, анализом данных мониторинга для поддержки принятия решений в повседневном режиме функционирования органов управления разных уровней.

ЭСПЛА-М предназначена для решения задач:

1. Консолидация информационных потоков систем мониторинга, постов инструментальных измерений, других источников в хранилище данных. ХД содержит архивы наблюдений, каталоги событий, пространственные данные, характеристики защищаемых объектов, сил и средств экстренного реагирования, системообразующие ресурсы, импортированные из системы справочников.

2. Индикация опасностей и угроз по широкому спектру обстановок для определения выхода показателей за нормативные значения путём оперативного анализа данных мониторинга с применением технологии OLAP.

3. Публикация оперативных данных и результатов их обработки на веб-сайте Территориального центра мониторинга ЧС с использованием средств динамического геоинформационного моделирования (Рисунок 6).

4. Динамическое представление первичной информации, результатов анализа оперативных данных и архивов наблюдений.

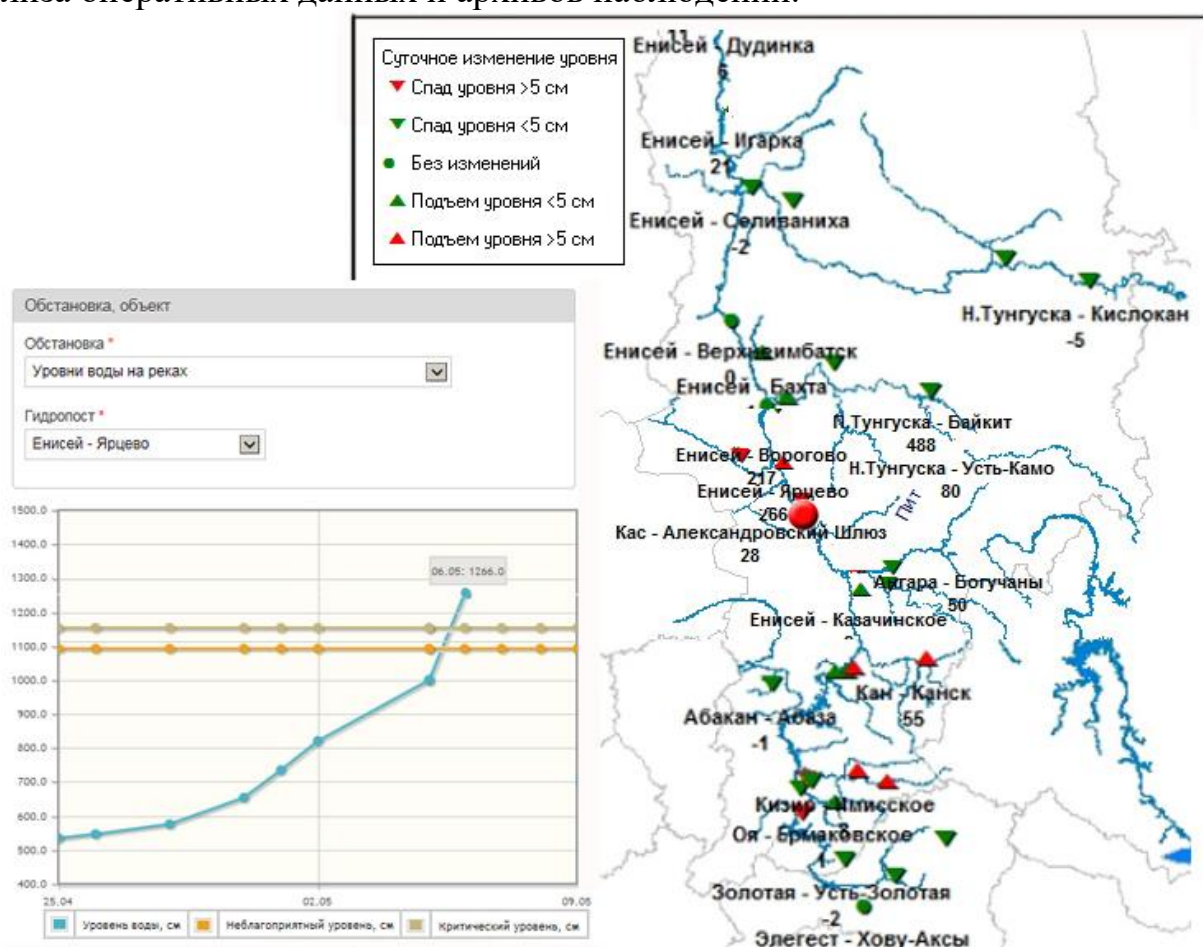


Рисунок 6 – Отображение результатов анализа гидрологической обстановки

Экспертная геоинформационная система поддержки экстренного реагирования ЭСПЛА-ПРО построена с использованием геоинформационных и интеллектуальных технологий, содержит блок методик ситуационного моделирования. Компоненты используются также как самостоятельные программы для расчётов, получения справочной информации для принятия решений.

Для представления знаний использована продукционно-фреймовая модель.

Процесс ситуационного моделирования реализован в виде эстафеты присоединённых процедур, автоматически вызывающих другие модули (Рисунок 7).

В качестве исходных данных пользователь выбирает место ЧС из списка населённых пунктов, задаёт уровень воды и характер затопления. В процессе логического вывода выполняются действия:

- запрос у пользователя типа ситуации и загрузка модуля расчёта масштаба ЧС;
- запрос данных о месте и других характеристиках ЧС;
- моделирование зоны действия опасных факторов с формированием тематической карты ситуации и списка объектов защиты в зоне их действия;
- формирование донесений и рекомендаций по действиям в ЧС.

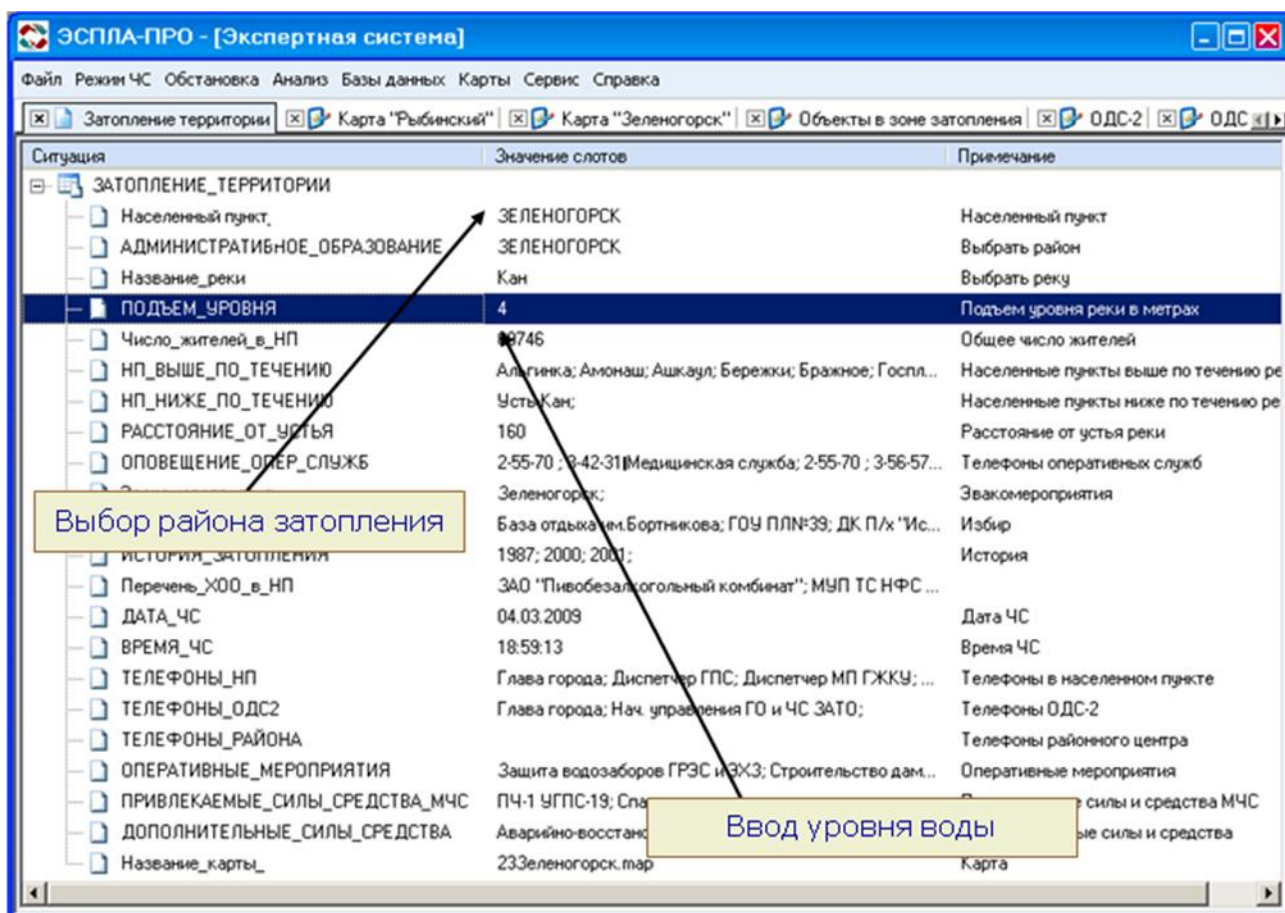


Рисунок 7 – Процесс формирования рекомендаций при затоплении территорий

В результате работы (менее одной минуты) формируются решения по экстренному реагированию, состоящие из текстов оповещения руководящего состава и населения, рекомендуемого состава сил и средств, карт оперативной обстановки, рекомендаций по ликвидации ЧС и проведению мероприятий защиты, а также справочной информации о месте и характеристиках ситуации, оперативные донесения. Редактор баз знаний позволяет создавать сценарии ситуаций, детализировать рекомендации за счёт подключения новых информационных ресурсов, формализовать существующие планы действий объектового и муниципального уровней.

Система анализа данных мониторинга чрезвычайных ситуаций OLAP-GIS используется анализа каталогов чрезвычайных ситуаций и происшествий, других событий, анализ и контроль которых необходим для планирования и осуществления стратегического управления. Информационные ресурсы содержат данные мониторинга субъектов Сибирского федерального округа (Рисунок 8). Примерный объём данных: более 16 тыс. чрезвычайных ситуаций и происшествий; 80 тыс. природных, 290 тыс. бытовых и производственных пожаров, более 10 тыс. записей о ДТП и авариях систем ЖКХ. Регистрация событий ведётся с середины 1990-х годов.

Система построена на основе интеграции технологий OLAP и ГИС. В качестве поставщика данных используется централизованное хранилище с системой ведения справочников. Для построения аналитических моделей разработан редактор последовательности действий, включающий настройки источников данных, связей между таблицами и справочниками, анализируемых показателей и измерений, а также представление результатов в виде кросс-таблиц, разных диаграмм и динамических картограмм.

Главными измерениями в аналитических моделях являются классификатор административно-территориального деления и справочник видов событий. Состав анализируемых показателей спроектирован в соответствии со структурой каталогов событий и включает: количество погибших, пострадавших, спасённых, материальный ущерб, сведения о задействованных силах и средствах. Построены тематические модели оценки состояния безопасности территорий Сибирского федерального округа по отдельным видам ЧС, интегральных характеристик регионов и отдельных территорий.

Реализован просмотр динамики ситуаций за произвольный период, отображение данных на карте, формирование отчётов разных форм. Например, на основе данных о пожарах и паспортах территорий сформированы аналитические отчёты о пожарной обстановке, готовности противопожарных формирований, уровне пожарной безопасности сельских поселений, требуемых объёмах финансирования противопожарных мероприятий. Это позволило обосновать мероприятия создания муниципальных постов пожарной охраны в рамках целевой программы «Обеспечение пожарной безопасности сельских населённых пунктов Красноярского края».

В заключении сформулированы основные результаты работы и выводы.

В диссертационной работе поставлена и решена научно-техническая проблема построения нового поколения информационно-аналитических систем комплексной поддержки управления природно-техногенной безопасностью региона, имеющая важное значение для реализации стратегических приоритетов социально-экономического развития страны. По-новому решены задачи раннего предупреждения об опасностях и угрозах, информационной поддержки экстренного управления реагированием, оценивания рисков ЧС и формирования мер защиты территорий.

Получены следующие новые научные результаты:

1. С целью описания процессов формирования управленческих решений на основе систематизации информационных ресурсов и интеграции информационных технологий разработана *системная модель* поддержки управления природно-техногенной безопасностью территорий.

2. Для проектирования мультизадачных проблемно-ориентированных программных комплексов территориального управления разработана *обобщённая системная архитектура* информационной поддержки процессов управления природно-техногенной безопасностью территорий.

3. Для систематизации мониторинговых данных, описания процессов их трансформации и представлений результатов аналитической обработки предложена *модель организации информационных ресурсов*, использующихся для всего спектра задач обеспечения природно-техногенной безопасности.

4. Предложен метод раннего выявления предпосылок ЧС и контроля состояния безопасности территорий на основе комплексной аналитической обработки данных оперативного мониторинга.

5. С целью информационной поддержки экстренного реагирования и мероприятий по предупреждению ЧС предложена *«сквозная» технология ситуационного моделирования*. Для информационной поддержки планирования превентивных мероприятий разработан *метод оценивания рисков*, интегрирующий технологии оперативной аналитической обработки данных и динамического картографирования.

6. Созданы и внедрены системы управления природно-техногенной безопасностью территорий Красноярского края, позволяющие по-новому решать задачи информационной поддержки управления и получать новые знания об исследуемых процессах.

Перспективы дальнейшей разработки темы. Универсальный характер системной модели и обобщённой системной архитектуры позволяет использовать новейшие сквозные технологии хранения и обработки данных в территориальном управлении без существенного перепроектирования информационно-аналитических систем. Модель организации информационных ресурсов, увязывающая структуру гетерогенных данных с задачами управления, может служить основой формирования единого информационного пространства управления природно-техногенной безопасностью и развитием территорий Российской Федерации. Ядром такого пространства могут быть информационные ресурсы, в том числе аналитические и ситуационные модели, сформированные в ходе многолетней эксплуатации информационно-аналитических систем. Такие модели позволяют накапливать и распространять знания о действиях в кризисных и экстремальных ситуациях. Метод раннего обнаружения опасностей и угроз может использоваться для обоснования функциональности систем управления безопасностью промышленных объектов, интегрированных платформ «Безопасный город», «Умный город». Опыт эксплуатации систем управления природно-техногенной безопасностью территорий показал возможность создания распределённых сервисов поддержки территориального управления.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

Монографии:

1. Москвичёв В.В., **Ничепорчук В.В.**, Сибгатулин В.Г., Симонов К.В. и др. Глава 3. Природно-техногенная безопасность и риски чрезвычайных ситуаций в развитии территорий Сибири // В кн. Безопасность России. Системные исследования чрезвычайных ситуаций. – М.: МГОФ «Знание», 2015. – 864 с.
2. Левкевич В.Е., Лепихин А.М., Москвичёв В.В., Никитенко В.Г., **Ничепорчук В.В.**, Шапарев Н.Я., Шокин Ю.И. Безопасность и риски устойчивого развития территорий. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 224 с.
3. Лепихин А.М., Москвичёв В.В., **Ничепорчук В.В.**, Ноженкова Л.Ф. и др. Глава 17. Управляющие и геоинформационные системы обеспечения безопасности // В кн. Безопасность России. Региональные проблемы безопасности. Красноярский край. – М.: «Знание», 2001. – 576 с.

Публикации в рецензируемых изданиях из перечня ВАК:

1. Москвичёв В.В., **Ничепорчук В.В.**, Потапов В.П., Тасейко О.В., Фалеев М.И. Информационное обеспечение мониторинга и рисков развития социально-природно-техногенных систем // Проблемы анализа риска, 2018. – Т.15. – №2. – С. 56-77.
2. **Ничепорчук В.В.**, Ноженков А.И. Архитектура территориальной системы мониторинга чрезвычайных ситуаций // Информатизация и связь, 2018. – №2. – С. 22-28.
3. **Ничепорчук В.В.**, Соколов С.В. Концепция создания информационно-управляющей системы контроля лесопожарной обстановки // Вестник СибГУТИ, 2020. – №2. – С. 1-5.
4. Ноженкова Л.Ф., Исаев С.В., **Ничепорчук В.В.**, Евсюков А.А., Марков А.А., Морозов Р.В. Средства построения систем поддержки принятия решений по предупреждению и ликвидации ЧС // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций, 2008. – № 4. – С. 46-54.
5. Ноженкова Л.Ф., **Ничепорчук В.В.**, Ноженков А.И. Создание комплексной системы безопасности региона на основе системной интеграции технологий // Информатизация и связь, 2013. – №2. – 122-124.
6. **Ничепорчук В.В.**, Антамошкина О.А., Трофимова Н.В., Медведев О.А. и др. Концепция создания автоматизированного центра поддержки принятия решений для оперативного анализа рисков техногенных ЧС // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций, 2014. – Т.11. – №3(41) – С. 88-93.
7. Трофимова Н.В., **Ничепорчук В.В.** и др. Информационно-управленческие методы обеспечения безопасности туристической деятельности // Технологии гражданской безопасности, 2013. – №2. – С. 62-67.
8. Ноженкова Л.Ф., Бадмаева К.В., **Ничепорчук В.В.** и др. Проблемы построения управляющей системы поддержки принятия решений при возникновении угроз пожарной безопасности на объектах сферы науки и образования // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций, 2011. – №2. – С. 25-33.
9. **Ничепорчук В.В.**, Пенькова Т.Г. Паспорт территории – динамический

инструмент анализа опасностей // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты, 2014. – №1. – С. 3-8.

10. Коробко А.А., **Ничепорчук В.В.**, Ноженков А.И. Динамическое формирование интерфейса Веб-системы сбора данных мониторинга чрезвычайных ситуаций // Информатизация и связь, 2014. – №3. – С. 59-64.

11. **Ничепорчук В.В.**, Ноженков А.И., Коробко А.А. Мобильные приложения безопасности жизнедеятельности // Образовательные ресурсы и технологии, 2018. – №4(25). – С. 60-65 с. DOI: 10.21777/2500-2112-2018-4-60-65.

12. **Ничепорчук В.В.**, Ноженкова Л.Ф. Методы разработки многоуровневых систем мониторинга стихийных бедствий // Информатизация и связь, 2011. – №3. – С. 49-52.

13. Шокин Ю.И., Москвичев В.В., Ноженкова Л.Ф., **Ничепорчук В.В.** Кризисные базы данных для управления безопасностью территорий // Вычислительные технологии, 2011. – Т.16. – №6. – С.115-126.

14. **Ничепорчук В.В.** Перспективы виртуализации управления РСЧС // Вестник СПб университета ГПС МЧС России, 2020. – №2. – С. 118-120.

15. Трофимова Н.В., Антамошкин О.А., Антамошкина О.А., **Ничепорчук В.В.** Система поддержки принятия решений по реагированию на ЧС и происшествия на опасных производственных объектах // Технологии гражданской безопасности, 2011. – Т.8. – №4(30). – С. 64-70.

16. Бадмаева К.В., Пенькова Т.Г., **Ничепорчук В.В.** Проектирование специализированного хранилища данных для мониторинга ЧС ситуаций // Вестник Сиб. гос. аэрокосм. ун-та, 2011. – № 5 (38). – С.14-18.

17. Ноженкова Л.Ф., **Ничепорчук В.В.**, Ноженков А.И. Система распределённого сбора и анализа данных мониторинга ЧС // Информатизация и связь, 2012. – №5. – С. 45-50.

18. Ноженкова Л.Ф., **Ничепорчук В.В.** и др. Система консолидации и анализа данных мониторинга чрезвычайных ситуаций в Красноярском крае // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций, 2012. – №4. – С. 63-73.

19. Коробко А.В., Пенькова Т.Г., **Ничепорчук В.В.** Оперативный аналитический контроль состояния объектов техносферы и окружающей среды Красноярского края на основе мониторинговых данных // Мониторинг. Наука и безопасность, 2013. – №3 (11). – С. 66-83.

20. **Ничепорчук В.В.**, Ноженков А.И. Автоматизация мониторинга чрезвычайных ситуаций в арктической зоне (на примере Красноярского края) // Информатизация и связь, 2013. – №5. – С. 37-42.

21. **Ничепорчук В.В.**, Ноженков А.И. Технология ситуационного моделирования опасных ситуаций для информационной поддержки управления безопасностью территорий // Информатизация и связь, 2019. – №4. – С. 76-82.

22. Пенькова Т.Г., **Ничепорчук В.В.** Комплексный анализ природно-техногенной безопасности территорий Красноярского края на основе методов интеллектуальной обработки данных // Мониторинг. Наука и технологии, 2016. – №2 (27). – С.64-71.

23. **Ничепорчук В.В.**, Пенькова Т.Г. Система аналитических показателей

для стратегического контроля природно-техногенной безопасности территорий // Проблемы анализа риска, 2018. – Т.15. – №1. – С. 34-41.

24. Москвичев В.В., Симонов К.В., **Ничепорчук В.В.** Моделирование аварийных ситуаций на крупных гидротехнических и энергетических объектах Красноярского края // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций, 2008. – № 4. – С. 75-82.

25. Шокин Ю.И., Москвичев В.В., **Ничепорчук В.В.** Методика оценки антропогенных рисков территорий и построения картограмм рисков с использованием геоинформационных систем // Вычислительные технологии, 2010. – Т. 15. – №1. – С. 120-131.

26. Лепихин А.М., Москвичев В.В., **Ничепорчук В.В.** и др. Оценка и районирование риска ЧС для территории Красноярского края // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций, 2007. – №5. – С.124-133.

27. Лепихин А.М., Москвичев В.В., Чернякова Н.А., **Ничепорчук В.В.** Оценка антропогенных рисков нефтегазодобывающих территорий Сибири // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций, 2013. – №5. – С. 42-52.

28. **Ничепорчук В.В.**, Симонов К.В. и др. Оценка рисков аварийных ситуаций на гидроэлектростанциях Красноярского края // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies, 2008. – V. 1. – № 2. – Pp. 207-218.

29. **Ничепорчук В.В.**, Пенькова Т.Г., Метус А.М. Формирование стандарта природно-техногенной безопасности территорий Красноярского края // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций, 2018. – № 1. – С. 41-52.

30. Пенькова Т.Г., Метус А.М., **Ничепорчук В.В.** Метод интегрального аналитического оценивания природно-техногенной безопасности территорий (на примере Красноярского края) // Проблемы анализа риска, 2018. – Т.15. – №5. – С. 16-25. DOI: 10.32686/1812-5220-2018-15-5-16-25.

31. **Ничепорчук В.В.**, Пенькова Т.Г. Комплексный анализ факторов территориальных рисков // Проблемы анализа риска, 2019. – Т.16. №4. – С. 52-62. DOI: 10.32686/1812-5220-2019-16-4-0-0

32. Грязин И.В., **Ничепорчук В.В.** Предварительный анализ угроз биологическому разнообразию в природном парке «Ергаки» // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций, 2019. – № 2. – С. 92-101.

33. Лепихин А.М., Москвичев В.В., **Ничепорчук В.В.**, Симонов К.В. Концепция оценки экологического риска на примере Красноярского края // Проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях, 2010. – №1. – С. 31-42.

34. Симонов К. В., Кирбабина О.И., Коровин А.Л., Сибгатулин В.Г., **Ничепорчук В.В.** Информационная поддержка управления экологической безопасностью территорий Сибири // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций, 2010. – №5. – С. 91-102.

35. **Ничепорчук В.В.** Информационная поддержка управления безопасностью территорий Красноярского края при паводках и наводнениях // Вестник Томского государственного университета. Серия "Математика. Кибернетика. Информатика", 2004. – №9 (II). – С.57-62.

36. **Ничепорчук В.В.**, Ноженкова Л.Ф. Информационные системы при-

родно-техногенной безопасности Красноярского края // Вычислительные технологии, 2003. – Т. 8. – С.70-79.

37. Ноженкова Л.Ф., Исаев С.В., **Ничепорчук В.В.**, Евсюков А.А., Морозов Р.В., Марков А.А. Применение экспертной ГИС для анализа пожарной обстановки в Красноярском крае // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций, 2009. – №2. – С. 75-85.

38. **Ничепорчук В.В.**, Ноженкова Л.Ф. Экспертная ГИС поддержки принятия решений в паводкоопасных ситуациях для территорий Сибирского региона // Вестник Кемеровского гос. университета, 2012. – № 3/1(51). – С. 91-97.

Публикации, индексируемые в базах Web of Science и Scopus:

1. **Nicheporchuk V.V.**, Lepikhin A.M., Moskvichev V.V., Simonov K.V. Investigation of ecological danger for territories of Siberia. Journal Ecology and Safety. Burgas, Bulgaria, 2009. Vol.3, Part 2, Pp. 104-122.

2. Shokin Yu.I., Moskvichev V.V., **Nicheporchuk V.V.** Method of Assessment of Human - Induced Area Risks and Creation of Risk Map Using Geoinformation Systems // Journal of American Society of Civil Engineers "Vulnerability, Uncertainty, and Risk Analysis, Modeling, and Management". 2011. ASCE Conf. Proc. doi:10.1061/41170(400)54.

3. Korobko A.V., Penkova, T.G., **Nicheporchuk V.V.**, Mihalev A.S. The integral OLAP-model of the emergency risk estimation in case of Krasnoyarsk region // Proc. 36th International Convention. The conference «Business Intelligence Systems (miproBIS)», 2013. – pp. 1456-1461.

4. Penkova, T.G., Korobko A.V., **Nicheporchuk V.V.** Emergency situations monitoring use OLAP-technology // Proc. 35th International Convention. The conference «Business Intelligence Systems (miproBIS)», 2012. – Pp. 1941-1946.

5. Penkova T.G., **Nicheporchuk V.V.**, Nozhenkova L.F., etc. On-line modelling and assessment of the state of technosphere and environment objects based on monitoring data // Procedia Computer Science, Vol. 35 (2014). – Pp. 156-165.

6. Penkova T., Korobko A., **Nicheporchuk V.**, Nozhenkova L., Metus A. On-line Control of the Natural and Anthropogenic Safety in Krasnoyarsk Region // International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic and Management Engineering: World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol. 9 N8. (2015) Pp. 2336-2341.

7. Penkova T.G., Korobko A.V., **Nicheporchuk V.V.**, Nozhenkova L.F. On-line Control of the State of Technosphere and Environment Objects in Krasnoyarsk region // International Journal of Knowledge-based and Intelligent Engineering Systems, IOS Press, 2016. Vol. 20, N 2. Pp.65-74, DOI 10.3233/KES-160330.

8. Tatiana Penkova, **Valeriy Nicheporchuk**, and Anna Metus. Comprehensive Operational Control of the Natural and Anthropogenic Territory Safety Based on Analytical Indicators //International Joint Conference, IJCRS 2017. Olsztyn, Poland, July 3–7, 2017. Proceedings, Part I. Pp. 263-270, DOI 10.1007/978-3-319-60837-2.

9. **Nicheporchuk V.V.**, Nozhenkov A.I. The technology of situational modeling of dangerous events for territorial management information support // *Procedia Structural Integrity*, 2019, №20C. – Pp. 248-253.

10. **Nicheporchuk V.V.** Method of using hazard criteria for identifying hazardous situations // *CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org) Vol. 2534*. ISSN 1613-0073. Proceedings of the All-Russian Conference "Spatial Data Processing for Monitoring of Natural and Anthropogenic Processes" (SDM-2019) – Pp. 427-433.

11. **Nicheporchuk V.V.** Applications of Analytical Technologies in Safety Management of Territories // *CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org) Vol. 2020*. ISSN 1613-0073. Short Paper Proceedings of the 1st Siberian Scientific Workshop on Data Analysis Technologies with Applications (SibDATA 2020). Krasnoyarsk, Russia, June 10, 2020. – Pp. 120-127.

Свидетельства государственной регистрации программ для ЭВМ

1. Ноженкова Л.Ф., Исаев С.В., **Ничепорчук В.В.**, Морозов Р.В., Марков А.А. Евсюков А.А. Система комплексной поддержки управления по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций ЭСПЛА-ПРО. Свидетельство №200915944 от 27.10.2009 г.

2. Ноженкова Л.Ф., **Ничепорчук В.В.**, Марков А.А., Евсюков А.А. Система анализа данных мониторинга чрезвычайных ситуаций OLAP-GIS. Свидетельство №2011612987 от 14.04.2011 г.

3. Ноженков А.И., Ноженкова Л.Ф., **Ничепорчук В.В.**, Пенькова Т.Г., Коробко А.В., Марков А.А., Метус А.М. Информационно-аналитическая система мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций – ЭСПЛА-М». Свидетельство №2018661879 от 20.09.2018 г.

4. Пенькова Т.Г., Метус А.М., Черниговский А.С., **Ничепорчук В.В.** Веб-сервис комплексного оценивания состояния природно-техногенной безопасности территорий. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2020660295 от 17.09.2020 г.

Подписано в печать

«__».....2022

Формат 60×84^{1/16}

Печать цифровая

Объем 1,5 п.л.

Тираж 150 экз.

Отпечатано в Институте вычислительного моделирования СО РАН – обособленном подразделении ФИЦ Красноярский научный центр Сибирского отделения РАН
660036, г. Красноярск, Академгородок, 50, строение 44