

УДК 614.84, 004.8

doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2021.85.25.014

## ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ И УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ

*Батуро А.Н.<sup>1</sup>, канд. тех. наук, доцент; Ничепорчук В.В.<sup>2</sup>, канд. тех. наук;  
Бутузов С.Ю.<sup>3</sup>, д-р тех. наук, доцент*

<sup>1</sup>*Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России*

<sup>2</sup>*Институт вычислительного моделирования СО РАН*

<sup>3</sup>*Академия ГПС МЧС России*

**Аннотация.** Представлен «сквозной» метод оценки территориальных рисков, включающий обработку данных мониторинга, представление результатов для разных уровней управления, формирование рекомендаций по проведению превентивных мероприятий. В отличие от известных методов оценивания, имеющих фрагментарный характер, предлагаемый подход предусматривает замкнутый цикл выработки, реализации и контроля эффективности решений. Использование гетерогенных информационных ресурсов с возможностью их обработки разными технологиями реализована за счёт оригинальной организации консолидации и хранения данных. Практическая апробация метода проведена для базовых рисков территорий Сибири.

**Ключевые слова:** комплексный мониторинг, территориальный риск, поддержка принятия решений.

## APPLICATION OF DIGITAL TWINS FOR RISK ASSESSMENT AND MANAGEMENT

*Baturo A.N.<sup>1</sup>, Ph.D. of Engineering Sciences, Docent; Nicheporchuk V.V.<sup>2</sup>, Ph.D. of Engineering Sciences; Butuzov S.U.<sup>3</sup>, Holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Engineering Sciences, Docent*

<sup>1</sup>*Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia*

<sup>2</sup>*Institute of Computational Modeling SB RAS*

<sup>3</sup>*SFA of EMERCOM of Russia*

**Abstract.** A “end-to-end” method for assessing territorial risks is presented, including the processing of monitoring data, presentation of results for different levels of management, and the formation of recommendations for conducting preventive measures. In contrast to the well-known methods of assessment, which are fragmented, the proposed approach provides for a closed cycle of development, implementation and control of the effectiveness of decisions. The use of heterogeneous information resources with the possibility of processing them by different technologies is realized due to the original organization of data consolidation and storage. Practical testing of the method was carried out for the basic risks of the territories of Siberia.

**Key words:** comprehensive monitoring, territorial risk, decision support.

## Введение

Несмотря на популярность понятия «Риски территорий» методы их оценки и рекомендации, сформированные на основе полученных результатов, слабо используются в управлении развитием территорий. Введённый в 2017 году стандарт определяет уровни риска регионов России в целом (допустимый индивидуальный риск ЧС для субъектов Российской Федерации, год<sup>-1</sup>) [1]. В этом документе, а также ряде исследований [2,4] приводятся агрегированные значения рисков возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) в диапазоне от  $5,72 \times 10^{-6}$  для Воронежской области до  $1,75 \times 10^{-4}$  для Сахалинской области. Делается вывод о превышении уровня рисков во всех регионах России по сравнению с развитыми странами. Воспроизвести и детализировать результаты расчётов в рамках независимых исследований крайне сложно. В российской и международной практике отсутствуют единые требования к составу и качеству информационной базы, алгоритмам обработки данных, позволяющих обосновывать конкретные решения и контролировать ход их выполнения. Необходимы единые критерии сравнения разных оценок, применимые для территорий любых масштабов – от промышленных площадок и малых поселений до стран в целом. Важными задачами являются: создание датасетов для машинного обучения и тиражируемых аналитических моделей оценки рисков, формализация процессов управления рисками и формирование распределённых баз знаний.

Обилие определений рисков, и, соответственно методов их расчёта, затрудняет интерпретацию результатов и непосредственное их использование в территориальном управлении. Трудно проследить связь факторов рисков, имеющих вероятностную природу, с детерминированными мероприятиями по их управлению. Снижение и ликвидация одного или нескольких негативных факторов может иметь отложенный во времени эффект или вовсе «размываться» под влиянием других неуправляемых либо неучтённых причин.

Применение ГИС-технологий позволило создать множество атласов рисков [3], мультимасштабных электронных ресурсов, иллюстрирующих ранжирование территорий по степеням опасности [5]. Однако пояснительный текст к картам, как правило, содержит общие рекомендации. Значительная часть исходных данных, алгоритмов их обработки, опыт планирования и проведения превентивных мероприятий скрыта от пользователя. В процессе территориального управления безопасностью основное время занимает поиск и преобразование информации вместо её осмысления, формирования сравнения разных вариантов решений по парированию рисков.

Территорию можно представить в виде системы множества элементов и связей между ними. Вопросы обеспечения безопасности тесно переплетены с экономическими, социальными и другим аспектами жизнедеятельности населения. По этой причине существующие паспорта безопасности отражают лишь малую долю информации, необходимую для решения управленческих задач [6]. Решения, принимаемые с их использованием, основываются больше на личном опыте руководителей, интуиции и экспертных суждениях. Наблюдаются разнонаправленные тренды – увеличение вероятности и масштабов ЧС и снижение качества управления. Это приводит к росту уровня территориальных рисков, даже в условиях избытка информации.

Актуальна разработка новых методов оценивания, нивелирующих неполноту данных, их гетерогенный характер. Например, ущербы (материальные риски) от чрезвычайных ситуаций (ЧС) в каталогах событий имеют значительные пропуски. Законодательство позволяет не оценивать ущерб при уничтожении или повреждении объектов, находящихся в частной собственности. В иных случаях количественные значения потерь основываются на субъективных оценках. Для информационной поддержки управления необходимо

преобразование данных из табличных, пространственных и текстовых представлений в формализованный вид, пригодный для проведения расчётов, динамического представления результатов с учётом предпочтений лиц, принятия решения.

В работе предложен метод «сквозной» обработки данных, обеспечивающий принятие решений на основе интеллектуального анализа данных комплексного мониторинга, организация расчётов рисков с использованием элементов технологий цифровых двойников.

### **Описание безопасности территорий через цифровые двойники**

В данной работе территориальный риск представляется как интегральный показатель, определяющий уровень опасностей различного характера, оценки их воздействия и возможности парирования разными методами. Способы оценивания рисков изменяются в зависимости от масштабов рассматриваемых территорий. Интегральный показатель отражает результаты экспресс-оценки ситуации. Он является основой дальнейшего исследования факторов рисков и возможностей воздействия на них, принятия и обоснования решений по управлению безопасностью территорий.

Достоверно описать состояния и динамику факторов безопасности территорий, реализовать прогностические и ситуационные модели позволяет технология цифровых двойников [7]. Её особенности применительно к проблеме управления территориальными рисками:

- гарантированная актуализация больших объёмов гетерогенных данных, поддерживающая доверие к результатам оценивания рисков;
- использование разных методов интеллектуального анализа и представления данных, позволяющих динамически представлять концентрированную информацию и отражающих разнообразие задач управления и предпочтения лиц, принимающих решения;
- интеграция аналитических сервисов с рекомендательными системами, обеспечивающая полный контур обработки информации – от организации доступа к сырым данным до формирования комплексных решений;
- и, наконец, цифровизация территориального управления безопасностью, повышающая прозрачность решений и высвобождающая персонал, занятый сбором, переработкой и трансляцией данных.

Цифровой двойник безопасности территории представлен набором различных систем, формируемых на определенной платформе и обеспечивающих получение, хранение, обработку и анализ информационных потоков, характеризующих в полной мере её состояние. Их изменение обеспечивается за счёт обратной связи между подсистемами принятия решений и получения исходных данных.

Организовать онлайн обновление сотен параметров, характеризующих обширную территорию, крайне затруднительно. Для регионов Сибири характерно наличие удалённых территорий с неустойчивой связью, например, на Арктическом побережье. Кроме того, поступление большей части информации для оценивания рисков не может быть автоматизировано до уровня интернета вещей. Обновление донесений, отчётов происходит с задержкой в сутки и более. Однако такие интервалы актуализации достаточны для решения задач поддержки управления безопасностью и обеспечения доверия к результатам оценки рисков. Поэтому целесообразно говорить о квази-двойнике, содержащем большие объёмы гетерогенной информации всех доступных источников. При этом обновление и дополнение данных реализуется с периодичностью, не ухудшающей качество управления.

### **Концептуальная схема оценивания и управления рисками**

Общая схема оценивания и управления территориальными рисками показана на рис.1. Синим цветом внизу показаны элементы цифрового двойника. Входящие информационные

потоки обозначены сплошными зелёными, выходные – розовыми пунктирной линией. Для оценивания и визуализации данных достаточно аналитического сервиса, реализующего разные методы обработки данных. Данные мониторинга «сливаются» в озеро данных. Формализованная информация из хранилища данных (англ. Data Warehouse далее DW) используется для получения воспроизводимых оценок рисков.

Центральным элементом цифрового двойника является интеллектуальная подсистема. Она может быть построена на разных технологиях – экспертных систем, машинного обучения и др. Связь между ней и хранилищем данных двусторонняя. Из DW поступает информация, необходимая для формирования решений, а сами решения после верификации экспертами записываются для повторного использования в аналогичных ситуациях.

Сверху слева показаны процессы, инициирующие мероприятия снижения риска, обосновывающие их масштабы. На начальном этапе были использовали экспертные оценки для замещения недостающих данных о характеристиках территорий и событиях, влияющих на состояние их безопасности [8-10]. С расширением сфер мониторинга, повышением открытости данных, доля экспертных оценок снижается.

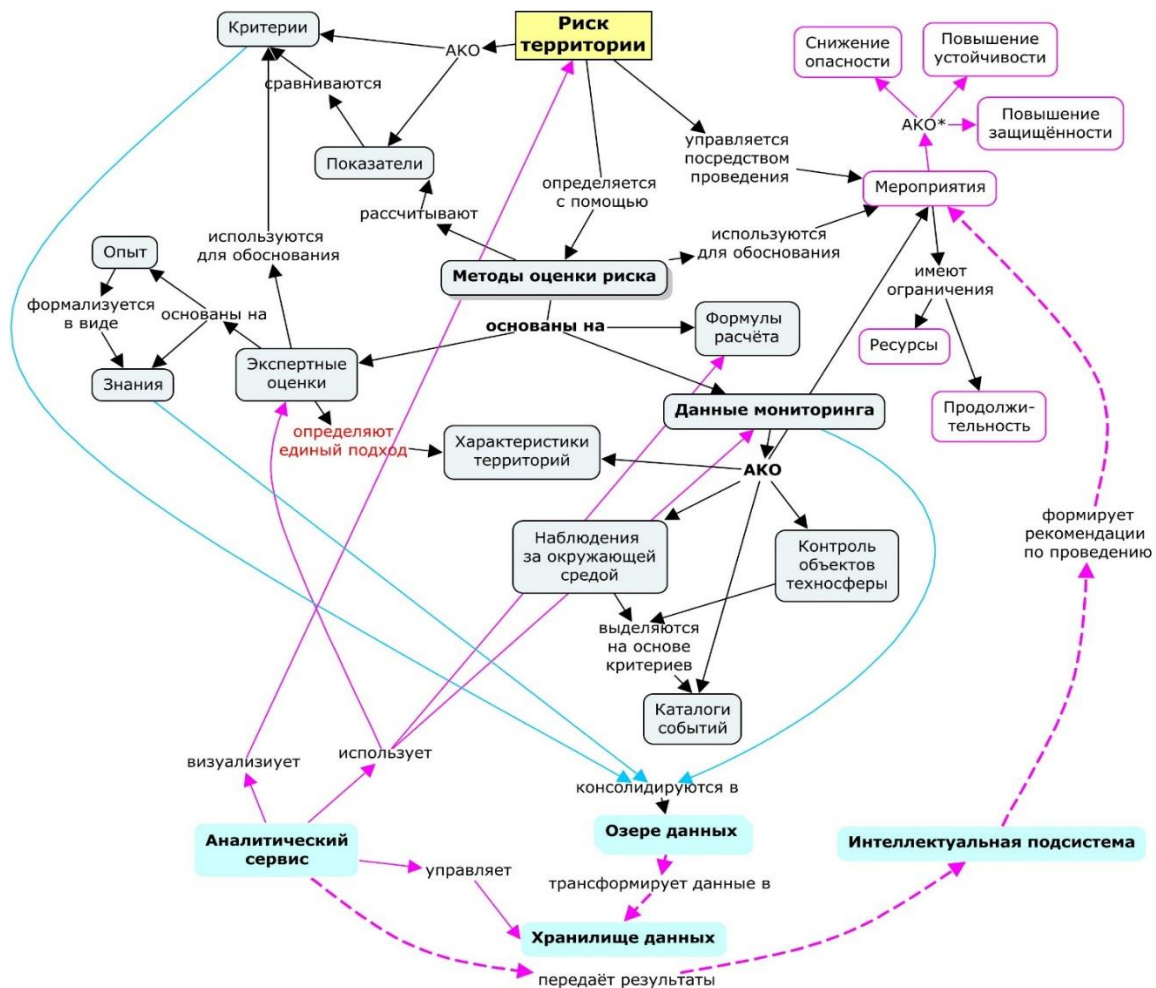


Рис. 1. Схема информационной поддержки управления безопасностью территорий на основе оценки рисков \*АКО (As Kind Of)

Сверху справа (красный цвет) показан общий состав мероприятий снижения рисков. Для каждого вида опасностей мероприятия детализируются, выбирается их объём с учётом показателей рисков и ограничений на ресурсы. Для реализации обратных связей – мониторинга

эффектов воздействия управления – описания мероприятий также формализуются в виде многотабличных связанных форм (рис. 2).

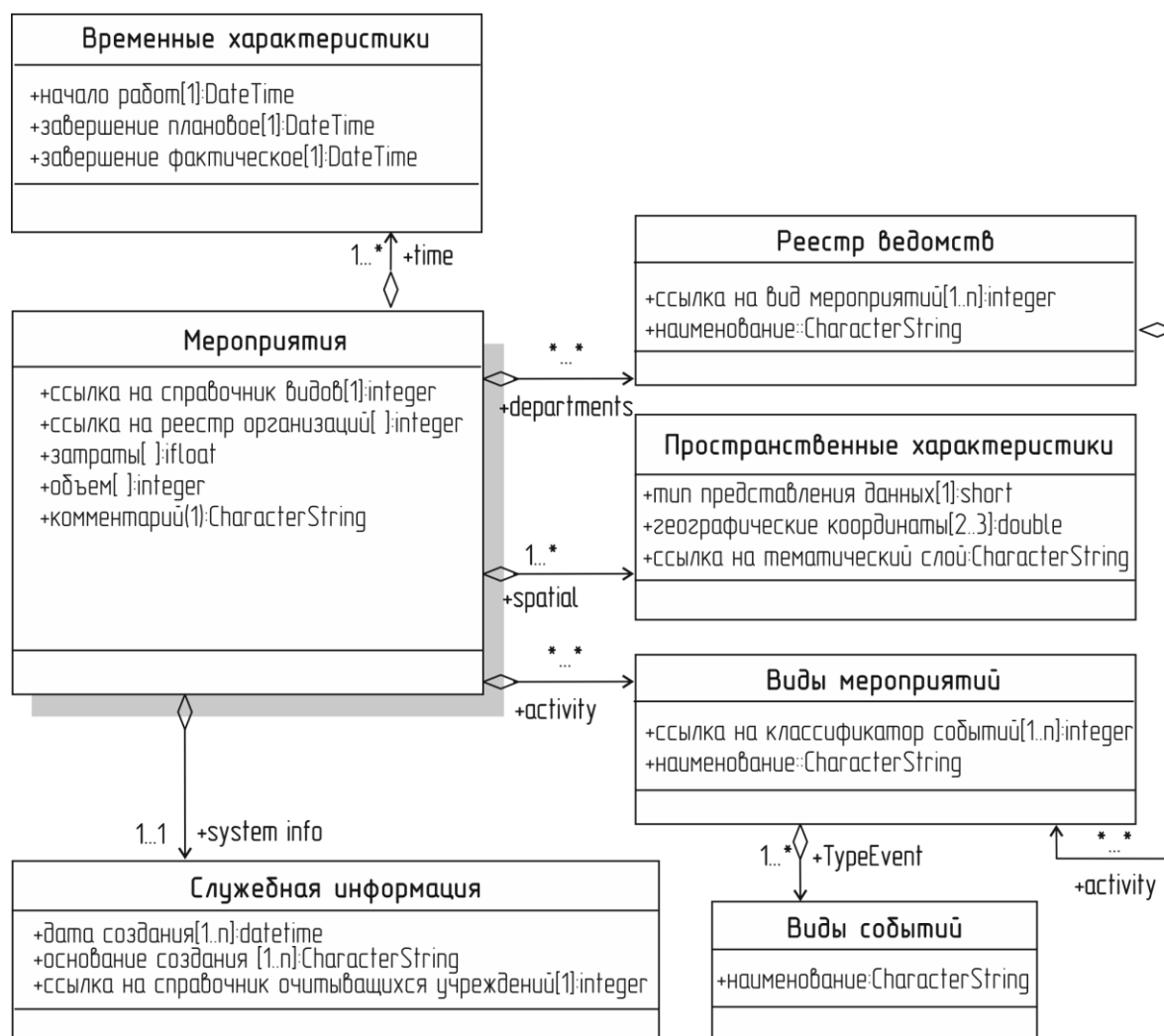


Рис. 2. Структура формализованного описания мероприятия по снижению риска

Выделение в отдельные сущности пространственных данных позволяет отобразить данные на картах, а служебных – отследить историю транзакций. Структура содержит только числовые поля и ссылки на справочники и классификаторы. Это сделано адаптации к аналитической обработке. Оставлено только одно поле с текстовым комментарием для контроля трансформации в данную структуру архивных записей. Такая форма используется для ведения баз данных как для периодически повторяющихся мероприятий, которые проводятся в рамках повседневной деятельности (например, пожарный надзор и пропаганда безопасности), так и эксклюзивным мерам защиты (строительство дамб, внедрение зелёных технологий). Аналогичным образом представлены каталоги событий, данные об опасностях и защищённости территорий [11]. В таком же виде представлены мероприятия, рекомендуемые к выполнению на основе оценок территориальных рисков.

Включение в описание справочника ведомств необходимо для анализа взаимодействия между ними в процессе подготовки и проведения превентивных мероприятий. Как показывает практика, согласование действий по горизонтали (разные организации и ведомства) и о вертикали (в иерархии территориального управления) является одной из самых сложных задач управления. Для её оперативного решения критически важна не скорость передачи

информации, а полнота данных и возможность их глубокой обработки. Предлагаемый подход может использоваться и для формирования реестра решений комиссий по чрезвычайным ситуациям и пожарной безопасности всех уровней управления.

Очевидно, что ведение записей о сложных объектах и процессах в такой форме не позволяет учесть массу деталей, содержащихся в документации, отчётах и донесениях. Пока это компромисс начального запуска цифрового двойника, формирования аналитических моделей, базы знаний, практическая отработка принципов хранения и использования информационных ресурсов. Модель их организации построена так, что даталогическое проектирование не зависит от сервисов обработки. Расширение характеристик какого-либо вида сущностей влечёт за собой небольшую перенастройку аналитических моделей. Цифровизация же управления безопасностью территорий подразумевает замену отчётных форм, готовых к печати дашбордами, инфографикой, другими динамическими представлениями результатов. Гибкость и адаптивность подсистем, сервисов и ресурсов гарантирует их долгий жизненный цикл.

### **Информационные ресурсы цифрового двойника**

Неотъемлемой частью цифрового двойника должны стать озёра данных. Процесс их создания в регионах инициирован осенью 2021 года МЧС России. [12]. В стратегиях цифровизации управления субъектами РФ также предусмотрено построение мультизадачных центров управления регионами на основе интеграции озёр данных и технологий интеллектуальной обработки [13].

Озёра данных представляют пользователям доступ к разрозненной разноформатной информации. Тем самым обеспечивается межведомственный информационный обмен, гибкость межсистемного взаимодействия. Предобработка данных и их подготовка к аналитическому моделированию для расчёта величин территориальных рисков и заключается в их трансформации для хранилища данных DW с более жёсткими требованиями к структуре и содержанию.

Классическое DW имеет следующую структуру: область длительного хранения, куда записываются все данные мониторинга, пространственные данные и базы знаний; системообразующие ресурсы (справочники и классификаторы); блок управления загрузкой, включающей описание источников данных, процедуры импорта, контроля и обогащения; аналитические модели, собранные в портфолио и дашборды для решения конкретных задач управления. Поскольку идеология цифрового двойника предполагает использование облачных сервисов и распределённых ресурсов, «офлайн» хранилище можно использовать для решения небольшой части задач поддержки управления. Например, оценка и управления рисками в отдельном муниципалитете, тестирование сервисов решения частных задач регионального уровня.

Опишем подробнее область длительного хранения. Здесь интегрируются каталоги опасных событий, данные наблюдений за окружающей средой и контроля объектов техносферы, паспорта безопасности объектов и территорий, пространственные данные. Каталоги опасных событий фиксирует все опасные события, начиная от обращений в экстренные службы и превышений концентраций вредных веществ в атмосферу и заканчивая чрезвычайными ситуациями федерального уровня. В России принято выделять более 100 видов рисков, включая природные, техногенные, социальные, экологические, информационные и прочие. Анализ факторов рисков с использованием диаграмм качества Исикавы [14] показал дефицит информации, необходимой для объективной оценки и управления для всех видов рисков. Образно говоря, данные мониторинга можно разделить на три типа: «тёмные» [15], о которых известно, что они влияют на величины рисков, «серые» – данные, для которых по доступным фрагментам определена

структура и предполагаемый источник; «белые» – регулярно обновляемые данные, используемые в расчётах.

В пилотной модели цифрового двойника для тестирования сервисов расчёта и формирования рекомендаций использованы так называемые базовые риски территорий. Критерии отнесения рисков к базовым:

- реализация рисков сопровождается наибольшими потерями для населения и экономики;
- информационная база доступна для исследований (наблюдения за 10 и более лет с гарантией регулярного обновления);
- риски содержат управляемые факторы, для которых однозначно определены мероприятия по снижению вероятности и масштабов.

Объём информации по базовым рискам показан в таблице.

**Таблица. Каталоги событий, использующиеся для оценивания рисков**

Вид	Начало периода
Аварии и инциденты на промышленных объектах	1999
Транспортные аварии	2015
Пожары техногенные и бытовые в городских агломерациях и сельской местности	1992
Аварии систем жизнеобеспечения	2007
Опасные погодные явления с масштабными последствиями	2010
Затопления территорий	1969
Ландшафтные пожары	1994
Землетрясения	1905

Для перечисленных рисков построены аналитические модели, проведена формализация превентивных мероприятий с учётом особенностей территорий. Модели учитывают характеристики территорий. Например, влияние метеофакторов можно оценить по данным GFS [16], характеристики застройки, дорожную сеть, инфраструктуру снабжения – по цифровым картам и планам, уровень информированности населения – на основе анализа отчётов образовательных учреждений, контента средств массовой информации и социальных сетей.

Разведочный анализ состояния безопасности регионов Сибири с верификацией полноты объёма информационных ресурсов реализован на основе OLAP [17]. Для поиска причинно-следственных связей между масштабами проявления опасностей природного и техногенного характера и характеристиками защищённости на муниципальном и местном уровнях (детализация до населённых пунктов) использован Data Mining [18] и Machine Learning [19]. Результаты анализа показали избыточность данных метеорологических, гидрологических наблюдений, контроля за радиационной обстановкой в зонах влияния объектов атомной промышленности. Данные по защищённости населения и территорий, распределении материальных ресурсов, а также формализованные сведения о превентивных мероприятиях оказались в дефиците или сильно фрагментированном виде. Перечень новых данных, необходимых для формирования комплексных решений по реагированию на опасности и долгосрочному их парированию и рекомендации по и сбору согласован с органами государственной власти и местного самоуправления.

### **Архитектура цифрового двойника**

На основании предложенного метода разработана архитектура цифрового двойника. Выполнена декомпозиция задач управления рисками в виде функциональных диаграмм. Описаны процессы трансформации информационных ресурсов с применением разных технологий обработки данных.

В архитектуру интеллектуальной системы многоуровневой поддержки управления входят: блок консолидации и обеспечения доступа к информационным ресурсам, сервисы обработки данных, человеко-машинный интерфейс (рис. 3).

Хранилище режиме консолидирует формализованные мониторинговые данные непосредственно во время работы аналитических сервисов и интеллектуальной подсистемы. Картографические данные используются в пространственном анализе. Формирование системообразующих ресурсов и знаний реализовано в отдельных приложениях. Таким образом, пробные расчёты для отладки аналитических сервисов и рекомендательной подсистемы можно проводить в автономном режиме. Облачные хранилища предпочтительны для данных, требующих минимальной предобработки и имеющих «стабильную» структуру. К ним относятся мировые ресурсы наблюдений за окружающей средой: метеорологическая, лесопожарная, сейсмическая информация. Недавно для исследований открылся доступ к озёрам данных МЧС России. В них содержатся данные экстренных служб, а также федеральных министерств и ведомств по характеристикам территорий и инфраструктуре, аварийным ситуациям и проч. Такой подход позволяет использовать данные ограниченного доступа без владения ими.

В центральном блоке цифрового двойника реализовано несколько независимых аналитических сервисов, ориентированных на решение задач управления конкретного вида. Разведочный анализ с использованием OLAP применяется для предварительной оценки факторов рисков, поиска аномалий и т.п. Причинно-следственный анализ необходим для детального исследования нелинейности вкладов в величины базовых территориальных рисков. Кластерный анализ позволяет группировать территории по многомерным метрикам. Например, муниципалитеты Красноярского края разделены по категориям: городские агломерации, районы с развитым сельским хозяйством и лесоперерабатывающей промышленностью, ресурсодобывающие, отдалённые и Арктические территории. Соответственно, расчётные методы и рекомендации по управлению рисками адаптированы для каждой категории.

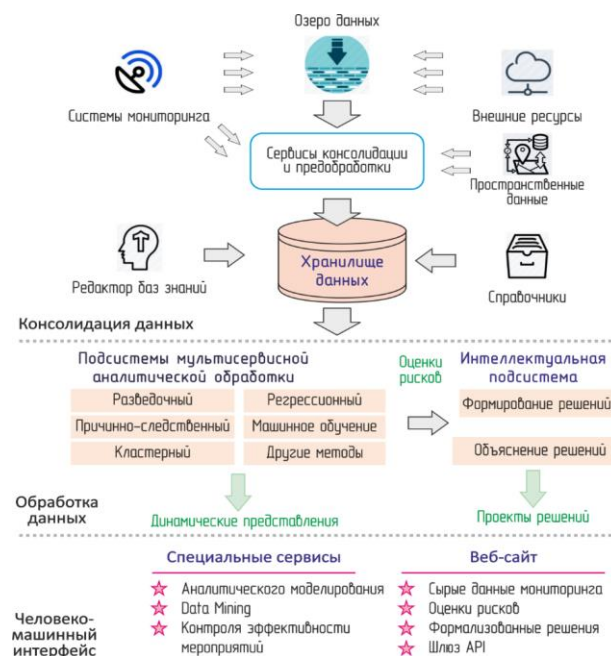


Рис. 3. Схема архитектуры сервисов и ресурсов цифрового двойника безопасности территории

Регрессионный анализ позволяет оценить тренды для среднесрочного прогноза рисков и скорректировать модели управления. Применение методов машинного обучения в сфере управления безопасностью территорий имеет самые широкие перспективы – от предсказательной аналитики до выбора и объяснения решений из базы прецедентов.



Вследствие существенных различий в структуре данных, методах их обработки и представления результатов целесообразна их интеграция для каждого вида рисков по типу контейнерной обработки. Рост интеллектуализации системы реализуется через массовое формирование баз знаний, описывающих процессы управления превентивными мероприятиями. Это позволяет также формировать несколько альтернативных решений с ранжированием их по приоритетам.

Человеко-машинные интерфейсы проектируются с учётом различия задач, решаемых на разных уровнях в иерархии территориального управления. Вариативность динамических представлений результатов обработки позволяет избежать редуцирования оценок рисков в виде «территория/числовой показатель». Предусмотрена поддержка разнообразия доступа лиц, формирующих и принимающих управленческие решения, – настольные программные комплексы, веб-сайты, мобильные приложения.

Разработанная архитектура определяет функционал цифрового двойника с обоснованием выбора программных компонентов и рациональных способов комплексного решения задач управления.

### **Предварительные оценки территориальных рисков**

Процесс формирования информационной базы реализован в несколько этапов. По мере подключения новых источников информации разрабатывались и верифицировались аналитические модели, используемые не только для поддержки принятия решений, но и для контроля качества сырых данных. Основой моделей, описывающих проявления базовых территориальных рисков являются графовые модели [10]. Несмотря на простоту, графовые модели помимо группировки факторов рисков позволяют решать множество задач. Среди них: определение источников информации мониторинга и приемлемого регламента обновления; детализация факторов до показателей и отдельных полей в таблицах DW; определение видов управленческих воздействий и ожидаемых эффектов; корректность применения экспертными оценками. Например, факторам, влияющими на вероятность возникновения ландшафтных пожаров, являются урбанизированность территорий, вид деятельности в лесу, информированность и обученность населения мерам пожарной безопасности. Результаты пространственного анализа, социологических опросов сильно зависят от выбранного метода исследования. Однако комплексное их использование в цифрового двойника позволяет определить чувствительность оценок территориальных рисков к этим параметрам. Причём отложенный эффект в оценках воздействия мероприятий на уровень риска на конкретной территории можно обойти, используя поиск аналогов в больших данных.

Оценка территориальных рисков происходит по следующей схеме:

- идентификация рисков и консолидация исходных данных;
- оценка рисков, включающая расчёты, аналитическое моделирование и представление результатов;
- формирование рекомендаций по управлению рисками с учётом приоритетов.

На первом этапе происходит предварительное ранжирование рисков на основе каталогов опасных событий, определяется доступность, объём и качество данных для оценивания. Далее проектируются аналитические модели, использующие разные методы, исследуются потери от факторов риска. Здесь реализован принцип сквозной аналитики. Результатом анализа каталогов событий являются графические представления (распределение во времени: кластеризация, цикличность и др.), картографические представления (распределение в пространстве: группировка территорий по степени опасности, геокодирование источников рисков). Экстраполяция при оценивании потерь при возникновении опасных событий применяется только для аварийных рисков большой вероятности. При подключении данных о защищённости формируются элементы планов действий для разных видов и масштабов

проявления опасностей и угроз. Расчёт интегрального показателя территориального риска реализуется на основе трёх компонентов – базы событий, данных о защищённости и уязвимости объектов и инфраструктуры. На его основе оценивается возможность управления рисками, результаты реализации аналогичных превентивных мероприятий, проведённых на других территориях. Для управления фоновыми рисками и предотвращения масштабных чрезвычайных ситуаций формализован каталог типовых мер в виде баз знаний.

Приведённая последовательность работы цифрового двойника имеет циклический характер. При необходимости исследования новых видов рисков происходит дополнение информационных ресурсов путём импорта в хранилище или подключения к источнику. Оценка происходит на основе существующих методов, либо путём создания новых. Поскольку оценивание территориальных рисков требует периодического повторения процедур, разработаны методические рекомендации территориям о порядке работы с системой, требованиями к исходным данным и представлению результатов.

Использование экспертных оценок позволяет не только компенсировать дефицит исходной информации, но учитывать вероятностный характер связей «мероприятие – эффект». Например, охват населения мероприятиями повышения знаний по пожарной безопасности (пропаганда, информирование, обучение) лишь косвенно влияет на количество и масштаб бытовых пожаров.

### **Заключение**

Наблюдающейся в настоящее время дефицит информационных ресурсов, их асимметрия для сравнения состояния безопасностью территорий, низким уровнем понимания рисков у пользователей и другими проблемами являются препятствиями реализации и применения описанного метода. В то же время технологии, описанные в работе позволяют с минимальными затратами перейти к реальной цифровизации управления.

Реализация многофакторной оценки рисков и управления безопасностью по технологии цифрового двойника даёт шанс реализовать принцип Парето – найти 20% видов мероприятий, выполнение которых позволит достичь 80% эффекта снижения рисков территорий. До последнего времени главной целью существующей в России системы обеспечения природно-техногенной безопасности территорий являлось поддержание текущего уровня безопасности. Трудности достижения цели связаны с возрастанием вероятности и масштабов опасностей, обусловленных изменениями климата, ростом сложности и энергоёмкости производств, антропогенного воздействия на окружающую среду, снижением компетенции лиц, принимающих решения.

Однако Президентом России поставлена задача существенного снижения к 2030 году количества чрезвычайных ситуаций, пожаров и потерь от них [20]. По мнению экспертов и цифровизация управления будет способствовать выполнению этих амбициозных планов. Помимо увеличения затрат, модернизации законодательства необходима организация тесного взаимодействия науки со всеми органами управления. При этом управление безопасности следует рассматривать без отрыва от цифровизации экономики в целом.

Обозначенные контуры построения цифрового двойника, в том числе требования к составу информационной базы, интеллектуальным методам оценивания рисков и формирования решений на их основе позволяет решить большую часть сформулированных нами проблем.

### **Литература**

1. ГОСТ Р 22.10.02-2016. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Допустимый риск чрезвычайных ситуаций.
2. Артюхин В.В., Арефьева Е.В., Олтян И.Ю. и др. Управление рисками техногенных катастроф и стихийных бедствий (пособие для руководителей организаций).

- Монография. Под общей редакцией Фалеева М.И./ РНОАР. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2016. – 270 с.
3. Атлас рисков и угроз МЧС России <https://atlas.mchs.ru/>
  4. Акимов В.А., Олтян И.Ю., Иванова Е.О. Методика ранжирования чрезвычайных ситуаций природного, техногенного и биолого-социального характера по степени их катастрофичности // Технологии гражданской безопасности, 2021. – Т.18. – № 1 (67). – С. 4-7.
  5. Cutter S. L., Mitchell J. T., Scott M. S. Revealing the vulnerability of people and places: a case study of Georgetown County, South Carolina // Annals of the Association of American Geographers. – Volume 90, Number 4, December 2000. – P. 713-737.
  6. Приказ МЧС России от 25 октября 2004 г. № 484 «Об утверждении типового паспорта безопасности территорий субъектов РФ и муниципальных образований. (ред. от 11.09.2013 № 606).
  7. Multimodal Scene Understanding. Algorithms, Applications and Deep Learning. Edited by Michael Ying Yang, Bodo Rosenhahn, Vittorio Murino. London. Academic Press is an imprint of Elsevier, 2019. 406 p.
  8. 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.
  9. 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.
  10. 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
  11. A V Kalach, E Z Arifullin, V V Nicheporchuk, E V Kalach and A V Oblienko Support technologies for management of the land flood protection // Journal of Physics: Conference Series, Volume 1902, International Conference "Applied Mathematics, Computational Science and Mechanics: Current Problems" (AMCSM 2020) 7-9 December 2020, Voronezh, Russia 012072. doi:10.1088/1742-6596/1902/1/012072
  12. Разъяснения по созданию и развитию «Озера данных» регионального уровня единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. – М.: МЧС России, 2021. – 10 С.
  13. Указ Президента РФ от 09.05.2017 № 203 «Об утверждении стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы».
  14. Ishikawa K. What is Total Quality Control? The Japanese Way. London, Prentice Hall, 1985.
  15. David J. Hand Dark Data: Why What You Don't Know Matters. Princeton University Press: New-Jersey, 2020. 321 p.
  16. Global Forecast System (GFS). URL: <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forecast-system-gfs> (Accepted data 21.09.2021)
  17. Penkova T., Metus A. Method of Comprehensive Estimation of Natural and Anthropogenic Territory Safety in the Case of Krasnoyarsk Region. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 2019, 11619 LNCS, Pp. 421–433.
  18. 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.
  19. Evgeniy Materov and Valery Nicheporchuk Using tools of intellectual analysis. CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org) Vol. 2021. Short Paper Proceedings of the 2nd

Siberian Scientific Workshop on Data Analysis Technologies with Applications (SibDATA 2021). Krasnoyarsk, Russia, June 10-11, 2021.

20. Указ Президента Российской Федерации от 16.10.2019 № 501 «О Стратегии в области развития гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, обеспечения пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах на период до 2030 года».