

## Цифровой паспорт безопасности территорий промышленных агломераций и регионов

В. В. Москвичёв<sup>1</sup>, В. В. Ничепорчук<sup>2,\*</sup>, В. П. Потапов<sup>3</sup>, О. В. Тасейко<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, 660049, Красноярск, Россия

<sup>2</sup>Институт вычислительного моделирования СО РАН, 660036, Красноярск, Россия

<sup>3</sup>Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН, 664033, Иркутск, Россия

<sup>4</sup>Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнёва, 660037, Красноярск, Россия

\*Контактный автор: Ничепорчук Валерий Васильевич, e-mail: valera@icm.krasn.ru

Поступила 18 августа 2021 г., доработана 20 октября 2021 г., принята в печать 27 октября 2021 г.

Современные технологии получения и обработки данных приводят к формированию новых представлений и концепций управления рисками и безопасностью территориального развития промышленных регионов. В работе предложено определение цифрового паспорта безопасности территорий, сформулированы требования к его структуре. Показана актуальность интеграции данных мониторинга за состоянием окружающей среды, контроля объектов техносферы и характеристик социосферы. Концепция цифрового паспорта безопасности территории увязывает виды рисков, характеризующие их показатели, информационное обеспечение показателей рисков с параметрами управления территорией.

Разработаны информационно-аналитические модели, консолидирующие данные комплексного мониторинга, средства динамического картографирования и веб-визуализации. Выполнена систематизация мероприятий снижения рисков и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций, позволяющая определить стратегические направления управления безопасностью с учетом физико-географических и социально-экономических характеристик территорий. Показаны возможные реализации паспорта безопасности в виде цифровых двойников с учетом мульти-модальности информационных потоков.

*Ключевые слова:* социально-природно-техногенная система, комплексный мониторинг, цифровой паспорт безопасности, распределенные информационные ресурсы, технологии поддержки управления.

*Цитирование:* Москвичёв В.В., Ничепорчук В.В., Потапов В.П., Тасейко О.В. Цифровой паспорт безопасности территорий промышленных агломераций и регионов. Вычислительные технологии. 2021; 26(6):110–132. DOI:10.25743/ICT.2021.26.6.008.

## Введение

Развитие промышленных и информационных технологий, рост экономики потребления и ресурсного обеспечения повышают комфортность жизни, ее продолжительность, способствуют более полной реализации человеческого потенциала. Вместе с тем наблюдается нарастание масштабов и частоты возникновения негативных явлений, связанных с экономическим, экологическим, управленческим кризисами. Для выяснения их причин и поиска способов устранения необходимо изучение прямых и косвенных факторов, их взаимосвязей и изменений во времени. Уровень развития современных технологий получения и обработки данных, большие объемы детализированной информации об объектах и процессах окружающей среды и техносферы, разработка риск-ориентированных концепций устойчивого развития, повышение точности моделирования состояний сложных систем позволяют строить принципиально новые системы поддержки территориального управления.

В работе предложен регламент структурирования данных, описывающих состояние безопасности сложных территориальных систем в формате цифрового паспорта безопасности территорий (ЦПБТ). Рассмотрены структура и взаимосвязи ЦПБТ, потенциал его применения для формирования управленческих решений, направленных на снижение рисков развития социально-природно-техногенных (СПТ) систем разного генезиса.

## 1. Информационные системы и ресурсы управления безопасностью

Исследования территориальных рисков являются логическим продолжением работ по обеспечению безопасности сложных технических систем и объектов [1]. Оценивание объектовых рисков чрезвычайных ситуаций (ЧС) основано на проработанной научно-методической основе [2] и законодательно отрегулировано [3]. Программные системы ситуационного моделирования имитируют процессы развития и возможные последствия реализации техногенных аварий разного вида и происхождения. Результаты расчетов используются для принятия решений при проектировании, эксплуатации, модернизации производственных объектов [2, 4]. Определяется устойчивость элементов объекта к воздействию внешних и внутренних негативных факторов, обосновываются меры пассивной и активной защиты [5]. Оценивание объектовых рисков охватывает разные области специальных знаний: системный анализ, вероятность и статистика, механика деформирования и разрушения, теория катастроф и безопасности, технологии отраслей промышленности, общественные науки [1, 4–7].

Сложность и многоэтапность расчетов, необходимость исследования большого числа параметров аварийных ситуаций, оценки их негативных последствий обусловили разработку инструментария для автоматизации работы экспертов в области промышленной безопасности. Программный комплекс “Студия анализа риска”, созданный НПО “ДИАР” совместно с НТЦ “Промтехбезопасность” (Москва), используется при разработке деклараций промышленной безопасности и планов ликвидации аварийных ситуаций [8]. Комплекс включает модули расчета последствий аварий на химически, гидродинамически, взрыво- и пожароопасных объектах и другие реализации методик. Экспертные системы HAZARD 3.0 и “Арбитр”, разработанные НТЦ “Промтехбезопасность”, оценивают веро-

ятность возникновения техногенных происшествий при функционировании технологического объекта с учетом значимости свойств системы человек — машина — среда [9].

В 2013 г. сотрудниками ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ) совместно со специалистами МГТУ им. Н.Э. Баумана (Москва) разработан Программный комплекс динамического анализа природных, техногенных и биолого-социальных рисков на территории Российской Федерации. На основе статистики чрезвычайных ситуаций (ЧС) рассчитываются индивидуальные, коллективные и экономические риски в случае природных, техногенных и биолого-социальных опасностей территорий. В расчетах используются поправочные коэффициенты для характеристик территорий, определяемые экспертным путем. Система встроена в АИУС РСЧС с целью управления безопасностью территорий уровня муниципалитетов. Часть оценок рисков опубликована в Атласах рисков ЧС территорий Российской Федерации, федеральных округов, субъектов РФ [10–13].

За рубежом зонирование территорий по степени риска используется при обосновании ставок договоров страхования недвижимости и имущества от стихийных бедствий и пожаров. С использованием платформы ArcGIS компания ESRI (США) разработала карты рисков затопления Восточного побережья США на основе моделирования штормовых нагонов, вызванных ураганами [14]. На этой же основе созданы ГИС “Затопление р. Припять” (НАН Беларуси), IntroGIS (НИИ БЖД, Уфа) и ряд других [15].

Органами государственного управления РФ разрабатываются преимущественно социально-экономические системы без учета в территориальном планировании и управлении природных и техногенных рисков, возникающих при эксплуатации опасных промышленных объектов [16–19]. Особенности территорий как социо-эколого-экономических систем рассматриваются для разных регионов России с точки зрения управления региональным развитием [20].

С 2004 г. параллельно с разработкой информационно-управляющих систем формируется информационный ресурс “Паспорта безопасности объектов и территорий” (ПТ) [21]. Текстовые и табличные данные, графические представления, карты и атласы территориальных единиц, размещенные в Национальном центре управления кризисными ситуациями, выполнены в формате Power Point [22]. Паспорта территорий имеют большой объем, содержат растровые карты мелкого масштаба, таблицы объектов и событий имеют произвольную структуру [23]. Требования к представлению информации определяют только классы объектов, характеристики которых необходимо отобразить на слайдах. Информационное наполнение идентичных территорий сильно различается. Актуализация ПТ сопровождается большими затратами, при этом ресурс практически не используется для поддержки управления [24].

Значительный вклад в уровень суммарных (комплексных) рисков территорий вносят потенциально опасные производственные объекты. Сконцентрированные в них объемы опасных веществ, материалов и энергии представляют угрозу жизни и здоровью не только для персонала, но и для природной среды и населения прилежащих территорий. Если для пожаро-, взрывоопасных объектов размеры санитарно-защитных зон не превышают нескольких сотен метров, то опасные поражающие факторы химически, радиационно и гидродинамически опасных объектов могут распространяться на десятки километров. Сценарии ЧС содержатся в декларациях промышленной безопасности, планах действий по ликвидации аварийных ситуаций и других документах. Ввиду ограниченного доступа и сложно формализуемой информации деклараций, а также разнообразия опасностей количественно оценить вклад потенциально опасных промышленных объектов (ПОО) в общую величину риска территорий затруднительно [25].

Методы оценивания рисков ЧС территорий кардинально отличаются от расчетов рисков аварий ПОО по составу исходных данных и способам использования результатов [26]. В расчетах рисков ПОО, проводимых с целью максимального снижения вероятности опасных инцидентов, используются детальные характеристики участков производств, технологических процессов, внешней среды [27]. Территории, как правило, оцениваются на основе статистики потерь. Полученные результаты носят рекомендательный характер [28]. Значительно различаются методы управления рисками. В случае превышения допустимых рисков на ПОО законодательство требует проведения мероприятий, невыполнение которых позволяет приостановить производственные процессы. Примеры мероприятий: уменьшение количества опасных веществ и материалов, изменение технологий, расширение санитарно-защитных зон. Количество видов мероприятий по снижению риска территорий на порядок больше, они косвенно воздействуют на факторы рисков, а эффект от их реализации, как правило, отложен во времени.

Сложившаяся практика использования в оценках рисков территорий только каталогов событий позволяет получать довольно грубые значения, не учитывающие высокую вариабельность пространственного и временного распределения данных мониторинга. Уровень рисков ЧС промышленных центров и агломераций определяется в основном опасностями техногенного характера, большим количеством источников техногенных и экологических рисков [29]. Характеристики расположенных в их черте производственных объектов в большинстве исследований экстраполируются на масштаб территорий, вкладами других рисков, как правило, пренебрегают [31, 32]. Иной набор показателей необходим для оценивания рисков территорий сельскохозяйственного назначения, нефтегазодобычи, гидротехнических сооружений, транспортных магистралей, природных экосистем [33].

## **2. Цифровой паспорт безопасности территорий: определение и содержание**

В рамках концепции единой социально-природно-техногенной системы (СПТ-система) крупный субъект Российской Федерации рассматривается как совокупность СПТ-систем, для оценивания и управления рисками которых необходимо использование разных методов и технологий [34]. В СПТ-системе формируются и реализуются комплексы социальных, природных и техногенных рисков, касающихся создания техники и технологий, возникновения аварий и катастрофических ситуаций, которые сопровождаются гибелью людей, сокращением продолжительности жизни и ухудшением ее условий, разрушением инфраструктуры и поражением природной среды [35, 36]. В качестве примеров СПТ-систем могут быть выделены:

- мегаполисы;
- отдельные муниципальные образования;
- промышленные агломерации и регионы;
- территории повышенной природно-техногенной опасности;
- районы добычи и первичной переработки природных ресурсов;
- лесные территории и лесопромышленные комплексы;
- водосборные территории крупных речных бассейнов, озер, водохранилищ;
- территории сельскохозяйственного назначения;
- арктические территории и акватории;
- особо охраняемые природные территории.

Формирование адаптированных информационных ресурсов для конкретного вида СПТ-систем представляется более целесообразным, чем использование единого стандарта описания для всех населенных пунктов и муниципалитетов страны, как это рекомендовано при разработке ПТ МЧС России.

Цифровым паспортом безопасности территорий (ЦПБТ) будем называть упорядоченный иерархический набор показателей, актуализируемых с использованием данных распределенных систем мониторинга и геоинформационных технологий, сервисов информационного обмена, специализированных моделей, необходимых для оценки и управления рисками СПТ-систем, а также решения задач безопасности и управления территориями с применением технологий интеллектуального анализа.

Помимо оценивания опасностей природного и техногенного происхождения, указанных в нормативных документах МЧС России и программных системах, ЦПБТ ориентирован на анализ социальных и экологических рисков, угроз здоровью и безопасности жизнедеятельности. Большое количество показателей, сложность взаимосвязей между ними, разнородность исходных данных требуют тщательной проработки структуры информационных ресурсов, процессов обработки данных для поддержки задач управления. Организация данных в ЦПБТ включает концептуальную и структурную модели, описывающие цифровые отображения элементов СПТ-систем и их взаимодействие.

Сложность территории как объекта управления требует сбора и анализа десятков показателей, описывающих разные характеристики территорий. Часть из них накапливается в процессе мониторинга обстановки. Значения других рассчитываются с использованием ситуационного и аналитического моделирования. Подходы к систематизации показателей находятся на этапе исследований [37]. Концептуальная схема и группы показателей цифрового паспорта показаны на рис. 1.



Рис. 1. Концептуальная схема цифрового паспорта безопасности территории  
Fig. 1. The conceptual scheme for digital pattern of territorial safety

Виды проявления рисков (уровень I, рис. 1) обуславливают применение разных методов сбора и аналитической обработки. Практика ведения единообразных описаний событий затрудняет исследование всех аспектов чрезвычайных и кризисных ситуаций. Как правило, ситуации любого вида и масштаба описываются плоскими таблицами. Количество полей и состав справочников могут изменяться, что затрудняет процессы анализа. Чрезвычайные ситуации, редкие в масштабе муниципалитета, можно отнести к аварийным рискам [38].

К фоновым событиям относятся пожары, дорожно-транспортные происшествия, проявления опасных погодных явлений и др. Показатели перманентных рисков характеризуют постоянно действующие неблагоприятные условия, которые влияют на состояние здоровья и продолжительность жизни. Каждый вид событий оценивается с помощью своего класса аналитических методов. Наиболее технологичным подходом решения такого рода задач являются контейнерные вычисления [39]. Каждому виду СПТ-систем ставятся в соответствие определенный набор показателей, связанных с источниками данных, алгоритмы обработки и визуализации. При этом используется единая информационно-аналитическая платформа [35].

С целью формирования внутреннего содержания и отражения взаимосвязей элементов паспорта безопасности разработан регламент обмена описаниями событий. Масштабные аварийные события (уже произошедшие и возможные сценарии) представляются в виде ситуационных моделей с применением баз знаний [40]. Для фоновых событий используются объекты из логически связанных таблиц. Это позволяет разрабатывать комплексные аналитические модели, выстраивать логические связи: показатели состояния территорий — причины и механизмы воздействия — эффект (последствия и ущербы).

Показатели безопасности традиционно группируются по происхождению (уровень II, рис. 1) [41]. Аналитические модели должны отражать все возможные виды воздействий. Например, техногенные факторы могут оказывать влияние на окружающую среду и социосферу. Детальное рассмотрение рисков с использованием графических методов анализа и формирования причинно-следственных связей (например, диаграмм Исикавы) вскрывает сложные взаимосвязи природных и антропогенных факторов, в разной степени определяющих величину риска [42]. Примером использования этого являются показатели медико-экологических рисков [43]. Аналогичный подход для оценивания территорий с использованием показателей и индикаторов развивается в исследованиях устойчивого развития территорий [44]. Для анализа социально-экономических объектов, формализации описательных правил экспертно-расчетных модулей и структурированных данных разработан программный комплекс на примере исследования состояния регионов Сибирского федерального округа [45].

На уровне III иерархии размещаются информационные ресурсы (рис. 1) — структуры, содержащие входные данные для расчетных, аналитических, имитационных моделей. Условно они разделены на категории:

- данные регулярного мониторинга;
- результаты выборочного контроля и периодического отбора проб;
- отчетные данные, собираемые в рамках повседневной деятельности органов территориального управления;
- результаты пространственного моделирования;
- результаты ситуационного моделирования последствий, причин ЧС, опасных ситуаций и последствий реализации превентивных мероприятий.

Следующий уровень содержит характеристики показателей риска. При его формировании используются классификатор чрезвычайных ситуаций МЧС России, атласы опасностей и рисков ЧС, другие источники. Уровень IV (рис. 1) показывает отнесение вклада факторов риска в опасность, уязвимость и защищенность территорий [46]. На этом же уровне располагаются “проявления рисков” — количественные значения показателей, получаемые из статистических данных о событиях. При отсутствии статистики опасных событий используются разные модельные расчеты. В их числе статистические методы, описание аварийных событий с применением деревьев событий и отказов, ряд других.

Уровень V составляют параметры управления, описываемые некоторой комбинацией свойств системы, таких как опасность, уязвимость, защищенность. Под опасностью традиционно понимают способность причинения какого-либо вреда (ущерба), в том числе угрозу жизни и здоровью человека, его материальным и духовным ценностям, окружающей среде [47]. Согласно [48] уязвимость — свойство (защищаемого) объекта утрачивать способность к выполнению своих естественных или заданных функций в результате его поражения опасностью определенного генезиса, интенсивности и длительности воздействия. Выражается долей физических, экономических или социальных потерь объекта при поражении указанной опасностью. Защищенность объекта или территории — комплексная характеристика, включающая оценки состояния служб экстренного реагирования на опасности, происшествия, ЧС, результаты проведения превентивных мероприятий и естественной способности системы противостоять опасностям определенного генезиса, интенсивности и длительности воздействия.

На рис. 2 приведена упрощенная схема организации кризисных баз данных, представляющих информационный ресурс цифрового паспорта [37]. В основной раздел “Данные мониторинга” помимо данных регулярных наблюдений за окружающей средой и результатов контроля объектов техносферы включены каталоги событий и характеристики объектов, обновляемые по специальным регламентам. Сводные отчеты ведомств, как правило, содержат агрегированную слабо формализованную информацию и используются в качестве дополнений к данным мониторинга.

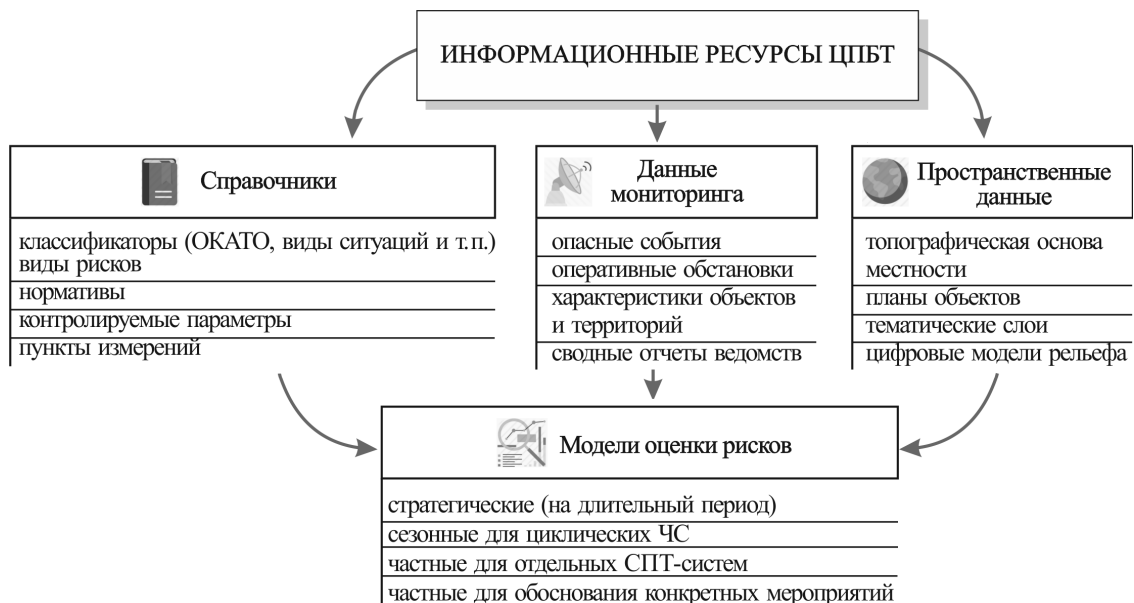


Рис. 2. Информационные ресурсы цифрового паспорта безопасности территорий  
 Fig. 2. Informational resources for digital pattern of territorial safety

Справочники и классификаторы составляют системообразующий раздел. Он позволяет формировать единообразные аналитические модели. К данному разделу предъявляются более жесткие требования по актуализации и модернизации. Пространственные данные используются не только для иллюстрации распределения показателей рисков на исследуемой территории, но и при ситуационном моделировании в задачах микропланирования. Результаты оценок рисков, сгруппированные в “стандартизованные” аналитические модели, также представляют собой информационный ресурс. Применение международных стандартов обмена данными XML, JSON и XBRL позволяет многократно использовать аналитические модели и отчетные формы в разных приложениях и сервисах.

Элементы и содержание концептуальной модели ЦПБТ (рис. 3), учитывающие особенности состояния безопасности СПТ-систем и доступные источники информации, имеют различия по составу и объему используемых данных для различных видов СПТ-систем, обладая при этом общностью правил их формирования.

Связи между видами СПТ-систем  $S$  и показателями рисков  $R$  “определяют состав показателей” можно представить как  $(\forall s \in S)(\exists r \in R)(S \rightarrow \{r\})$  — каждый конкретный вид СПТ-системы определяет перечень показателей рисков. Связи между  $R$  и  $D$  можно описать как  $(\forall r \in R)(\exists d \in D)(r \rightarrow D)$ , т. е. для каждого показателя риска должен быть определен источник данных. В свою очередь, совокупность всех источников данных  $D$  есть отображение СПТ-системы.

Связи между аналитическими моделями  $M$  и показателями рисков  $R$ , обозначенные на рисунке как “рассчитываются на основе”, можно описать как  $(\forall w \in W)(\exists t \in R)(w \rightarrow r)$ . Для каждого показателя строится аналитическая модель, учитывающая его специфику и применяемые информационные технологии. Предварительный анализ реализован с использованием технологии OLAP, включая поиск зависимостей, а объяснение изменения уровня рисков и прогнозирование выполнено с применением Data Mining и Data Science.

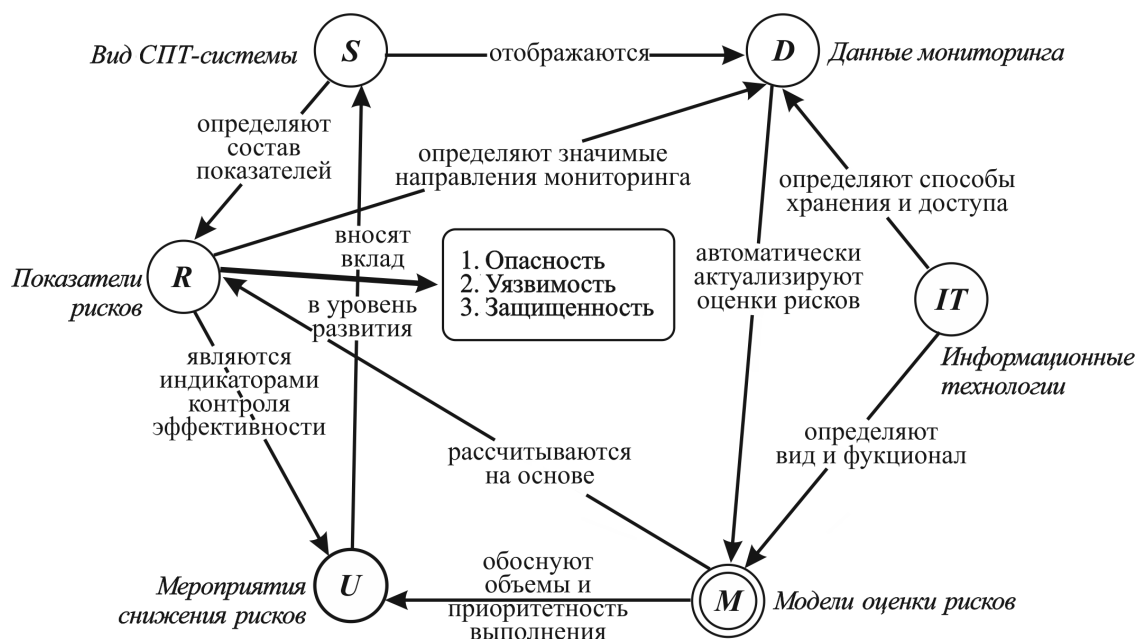


Рис. 3. Концептуальная схема организации цифрового паспорта безопасности территорий  
 Fig. 3. The conceptual organization scheme for digital pattern of territorial safety



### 3. Модели оценки рисков СПТ-систем

Выбор математического метода и модели для оценки того или иного вида риска определяется наличием входных данных и зависит от постановки конкретной задачи (табл. 1).

Принципиальная разница в подходах к оценке риска состоит в трактовке риска либо как детерминированной величины (чаще всего, ожидаемого ущерба), либо как случайной величины (вероятностного распределения степени вреда/ущерба). Оценка рисков потери человеком жизни и здоровья в условиях взаимодействия с СПТ-системой промышленного региона существенно ограничена недостаточной изученностью механизмов воздействия риска на реципиентов и необходимостью учета множества факторов. Расширение показателей и сетей экологического мониторинга в сочетании с методами интеллектуального анализа позволит разработать более качественные модели динамики экологических систем.

Предварительный анализ состояния безопасности регионов Сибири с верификацией полноты объема информационных ресурсов реализован с применением OLAP, Data Mining и Machine Learning. Исследованы причинно-следственные связи между масштабами проявления опасностей природного и техногенного характера и характеристиками защищенности на муниципальном и местном уровнях с детализацией до населенных пунктов. Результаты анализа показали избыточность данных метеорологических, гидрологических наблюдений, контроля за радиационной обстановкой в зонах влияния объектов атомной промышленности. Каталоги наблюдений за состоянием атмосферы не сбалансированы по местам наблюдений. Данные по защищенности населения и территорий, распределению материальных ресурсов, а также формализованные сведения о превентивных мероприятиях оказались в дефиците или в сильно фрагментированном виде. Перечень новых данных, необходимых для формирования комплексных решений по реагированию на опасности и долгосрочному их парированию, должен быть согласован с органами государственной власти и местного самоуправления.

Предложен метод “сквозной” обработки данных, обеспечивающий информационную поддержку принятия решений на основе комплексного анализа каталогов событий, характеристик территорий, состояния средств защиты. В отличие от известных методов анализа рисков, такой подход позволяет не только визуализировать пространственное и временное распределение проявления опасностей и их последствий, но и изучить влияние управляемых факторов.

Методы анализа, представленные в табл. 1, реализуются в виде независимых аналитических сервисов, ориентированных на решение задач управления конкретного вида. 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 возможен через массовое формирование баз знаний, описывающих процессы управления превентивными мероприятиями. Включение в этот процесс большого числа субъектов РФ позволит перевести ЧС из уникальных событий в категорию типовых за счет подбора ситуации-аналога по территории, виду и масштабу проявления. Это позволит также формировать несколько альтернативных решений с ранжированием их по приоритетам.

Т а б л и ц а 1. Задачи и методы оценки рисков

Table 1. Problems and methods of risk assessment

Задача оценки риска	Вид модели	Метод анализа	Входные данные
Риск состояния водных, лесных, биологических экосистем	Качественная	Категорирование оценки состояния системы по условным уровням риска	Загрязнение природной среды/биологического объекта
Риск состояния опасных промышленных объектов и их элементов			Количество и частота событий, отказов
Риск возникновения природных и техногенных ЧС	Статистическая	Расчет вероятностных характеристик	Вид и количество ЧС, величина ущерба
Риск гибели в природных и техногенных ЧС			Вид и количество ЧС, число погибших, величина ущерба
Риск, связанный с воздействием факторов образа жизни на здоровье населения			Смертность по группам болезней, факторы образа жизни и интенсивность их воздействия
Комплексный территориальный риск			Расчет полной вероятности
Относительный риск смертности от влияния температурных волн	Вероятностная	Расчет относительного риска	Суточная смертность по группам болезней, характеристики волн жары и холода
Относительный риск смертности от резких перепадов температуры			Суточная смертность по группам болезней, распределение температурных контрастов
Оценка профессиональных рисков			Заболеваемость в группах
Индивидуальный канцерогенный и неканцерогенный риск от загрязнения: – воздуха – питьевой воды	Детерминированная	Линейная зависимость риска от загрязнения	Концентрация загрязняющих веществ (ЗВ)
Риск здоровью от совместного влияния загрязнения воздуха и климатических параметров	Многомерная статистическая	Многомерная регрессионная модель Пуассона	Концентрации ЗВ, температура, влажность, характеристики температурных волн
Пространственное распределение рисков здоровью	Непараметрическая	Адаптивные системы	Поле концентраций ЗВ, параметры оценки рисков
		Нейросети	Концентрации ЗВ, эпидемиологические показатели заболеваемости

#### 4. Управление безопасностью на основе цифровых паспортов

В процессе формирования решений целесообразно применение еще одного способа группировки показателей. Управление рисками реализуется по трем направлениям. Это снижение разного рода опасностей и уязвимости территорий и повышение их защищенности. Негативные последствия проявления опасностей природного характера могут быть снижены путем повышения точности прогнозов, приемлемой оперативности и охвата населения оповещением и информированием. Методы оценки устойчивости к проявлениям природных и техногенных опасностей хорошо проработаны для промышленных объектов [23]. Для поиска приоритетных направлений снижения уязвимости территорий целесообразно моделирование воздействия характерных опасностей разных масштабов и реакций каждого вида защищаемых объектов. Реализация модели описывается показателями и соответствующими им мероприятиями. Их примеры показаны в табл. 2.

Т а б л и ц а 2. Направления повышения безопасности территорий  
Table 2. The directions increasing of the territorial safety

Вид управленческого воздействия	Виды проявления рисков		
	Техногенные	Природные	Социальные
Снижение опасностей	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Ремонт, реконструкция объектов техносферы;</li> <li>— строительство по новым технологиям с учетом требований безопасности;</li> <li>— автоматизация процессов для снижения роли человеческого фактора</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Совершенствование систем мониторинга;</li> <li>— совершенствование методов прогноза опасностей различной срочности</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Мониторинг негативных процессов, в том числе социальных сетей</li> </ul>
Снижение уязвимости защищаемых объектов	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Зонирование территорий, прилегающих к объектам техносферы;</li> <li>— установка сигнализации и систем защиты с применением технологии IoT [48]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Зонирование территорий по степени опасности;</li> <li>— строительство объектов инженерной защиты;</li> <li>— инженерные решения по повышению устойчивости городской среды [49]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Развитие систем здравоохранения и охраны труда;</li> <li>— профилактика через медиа</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Развитие систем оповещения и информирования;</li> <li>— страхование рисков компаниями и частными лицами;</li> <li>— контроль, надзор, профилактика, обучение населения</li> </ul>		
Совершенствование систем защиты	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Создание и модернизация аварийно-спасательных формирований, служб экстренного реагирования;</li> <li>— создание, пополнение, актуализация материальных запасов на случай ЧС;</li> <li>— увеличение резервов финансовых средств;</li> <li>— совершенствование межведомственного взаимодействия, работа с волонтерами;</li> <li>— страхование</li> </ul>		

Результаты обработки несбалансированных данных мониторинга, выраженных в наличии пропусков по времени и месту сбора, существенно затрудняют работу экспертов, принимающих стратегические решения. Внедрение интернета вещей и других технологий, накопление видеoinформации, данных дистанционного зондирования Земли, “цифровых следов” работы систем 112, “Безопасный город” показывают актуальность совершенствования аналитического инструментария цифрового паспорта безопасности территорий. Реализация паспорта на основе сервисов распределенного хранения и обработки данных позволит повысить эффективность и обоснованность управленческих решений.

## **5. Цифровой паспорт безопасности территории и ее цифровые двойники**

Широко используемые сегодня технологии цифровых двойников заключаются не только в тестировании конкретных продуктов или их компонентов. Цифровой двойник способен анализировать и моделировать условия реального мира и реагировать на операционные изменения, используя данные о принципах функционирования частей системы и реагирования на окружающие условия на основе цифровых показателей СПТ-систем. Главным образом, цифровой двойник функционирует как агент целого ряда реальных экспертов, устройств и средств мониторинга. Базовая концепция двойников предполагает, что мониторинг любой системы осуществляется на основе замкнутого цикла информационного обмена между ним и его виртуальной моделью (тем самым цифровым двойником). Существующие технологии создания цифровых двойников в большинстве своем связаны с их типами, которые определены в работе [50].

Наиболее распространена классификация, включающая три типа двойников: цифровые двойники-прототипы (Digital Twin Prototype, DTP), цифровые двойники-экземпляры (Digital Twin Instance, DTI) и агрегированные двойники (Digital Twin Aggregate, DTA).

DTP-двойник — это прототип некоторого физического объекта, включает в себя информацию, которая необходима для создания физической версии объекта, и описание его свойств. Для производственных условий он может состоять из 3D-модели объекта, условий для его создания, технологических регламентов, необходимых материалов и т. п. Чаще всего этот тип двойника используется в машино- и авиастроении, а также других отраслях, где может осуществляться сборка целого из разнообразных частей.

DTI-двойники — экземпляры, которые применяются в случае, когда имеется конкретный физический объект и с ним двойник остается связан на протяжении всего времени жизни. Двойники этого типа содержат 3D-модель с характерными параметрами, спецификации на материалы, используемые при создании физического объекта, спецификации технологических процессов и операций, которые применяются при создании этого объекта, а также любых его тестовых испытаниях, архив сервисного обслуживания, включая замену отдельных деталей, текущие и прогнозируемые значения параметров мониторинга и другие параметры, возникающие в процессе производства.

DTA-двойники — агрегаторы (наиболее интересные с точки зрения настоящей работы). Представляют собой распределенные информационно-вычислительные системы, организующие доступ ко всем цифровым двойникам-экземплярам, которые могут посылать им потоковые (активные и пассивные) запросы, получая необходимую информа-

цию для последующего воздействия на их состояние. Иными словами, цифровые двойники предполагают управление связью между пограничными и внутренними системами с последующим зеркальным отражением изменений в виртуальной модели системы.

Таким образом, цифровой двойник безопасности территории представляет собой набор различных систем, формируемых на определенной платформе и обеспечивающих получение, хранение, обработку и анализ информационных потоков, характеризующих в полной мере ее состояние, изменение которого обеспечивается обратной связью между подсистемами принятия решений и получения исходных данных.

При таком определении описанный выше ЦПБТ может быть использован как основной блок цифрового двойника, который, с одной стороны, отвечает за формирование и передачу цифровых потоков, а с другой — обеспечивает их регламентированное хранение, предварительную обработку и анализ данных, включая оценку рисков. С точки зрения архитектуры цифровых двойников ЦБПТ может быть реализован на уровне цифровых фабрик данных, множество которых формирует цифровой двойник с учетом мультимодальности информационных потоков, используемых при формировании цифрового паспорта [51]. Цифровые фабрики включают в себя системы комплексных технологических решений, обеспечивающие в кратчайшие сроки проектирование и производство глобально конкурентоспособной продукции нового поколения от стадии исследования и планирования, когда закладываются базовые принципы изделия, до создания цифрового макета, “цифрового двойника”, опытного образца или мелкой серии. Каждая модальность определяет достаточно большую группу однородных технологий, связанных с получением пространственно-временной информации (например, данных дистанционного зондирования Земли). При этом в случае появления новых средств измерений модальность либо расширяется, либо формируется новая при условии, что создана принципиально новая технология измерения свойств подсистемы.

Формирование модальностей позволяет затем сгруппировать соответствующие методы хранения и обработки данных, используя только соответствующие их метаописания, необходимые на последующих этапах работы с данными, а также обеспечить их интеграцию, получаемую от различных средств измерений в пределах модальности.

В то же время, разделяя потоки данных на модальности, можно существенно оптимизировать структуры обработки, хранения и анализа информации на основе стандартных цифровых платформ, которые и называются фабриками данных. Существенной особенностью таких фабрик является то, что мультимодальные данные, поступающие к ним, преобразуются в цифровую форму в соответствии с их метаописаниями, характеризующими специфику прикладной области. Сама архитектура фабрик данных по аналогии с производственными структурами формируется из типовых элементов, таких как контейнеры, объединяемые в зависимости от типа модальности в конвейеры, хранилища данных, блоки оркестрации, вычислительные блоки по обработке и анализу данных. Обобщенная архитектура цифровой фабрики данных как цифровой платформы для реализации паспорта показана на рис. 4.

Каждый из элементов цифровой фабрики данных выполняет определенные функции, реализуемые в зависимости от типа обрабатываемой модальности через множество контейнеров. Отдельный контейнер представляет собой инкапсулируемый модуль обработки данных, информационно связанный с другими. Кластер контейнеров образует конвейер, в результате работы которого реализуется функционал по обработке конкретного типа модальности. Промежуточные результаты обработки, а также сами исходные данные помещаются в хранилище данных, из которого они в дальнейшем могут быть по-

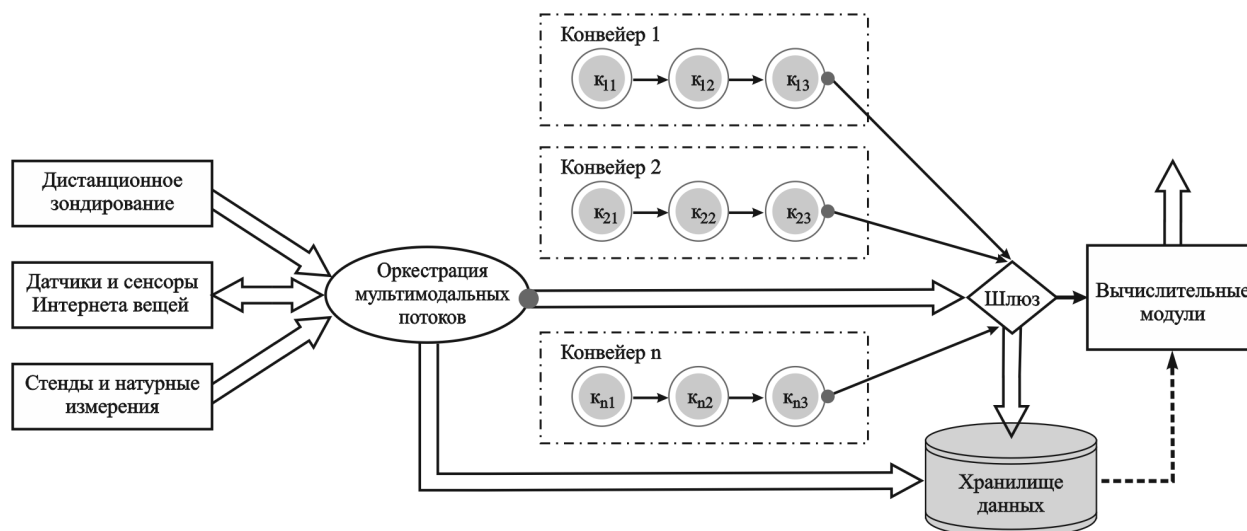


Рис. 4. Концептуальная схема цифрового паспорта на основе цифровой фабрики данных:  $k_{11}$ – $k_{n3}$  — контейнеры процессов обработки группы объединяемых в конвейеры мультимодальных данных определенного типа в зависимости от специфики генерации потоков  
 Fig. 4. The conceptual scheme of digital pattern based on digital data factory:  $k_{11}$ – $k_{n3}$  are containers of processes for processing a group of multimodal data combined into containers of a certain type depending on the specifics of thread generation

лучены на любом этапе работы системы. Это позволяет, с одной стороны, локализовать методы обработки данных, а с другой — осуществлять их эффективное масштабирование для переноса в другие системы, поскольку любой контейнер имеет свои собственные вход и выход. При таком подходе, где все компоненты фактически переводятся на уровень микросервисов (Microservice) [52], существенно упрощается не только разработка всей системы цифрового паспорта, но и легко реализуется переход на концептуально другие методы анализа и расчета рисков. Блок вычислительных моделей также представляет собой набор модулей, реализующих анализ данных с последующей передачей результатов на вышележащий уровень, при этом он готовит цифровые потоки для цифровых двойников. Сами вычислительные модули не являются “монолитными блоками” и могут реализовываться как микросервисы.

Если ранее практически все системы для расчета рисков строились как монолитные и состояли из больших программных комплексов, то переход на цифровые фабрики, с одной стороны, не требует больших интеллектуальных затрат, а с другой — позволяет на единой методологической основе разрабатывать специализированные системы мониторинга и быстро модифицировать уже существующие.

Одним из важных элементов цифровой фабрики является новый блок оркестрации, основное предназначение которого — управление как конвейерами, так и группами контейнеров, системами хранения и моделирования данных. О специфических особенностях реализации оркестрации в настоящее время опубликовано несколько работ [53–55], однако для систем, связанных с комплексной оценкой безопасности, их применение рассматривается впервые. Отметим лишь наиболее важные для цифровой фабрики особенности блока оркестрации, которые позволяют:

- абстрагироваться от базовой инфраструктуры фабрики данных и тем самым упростить разработку, развертывание и управление приложениями. При этом процеду-

ра развертывания приложений становится одинаковой и не зависит от количества их контейнеров;

- осуществлять бесперебойную работу кластеров контейнеров;
- масштабировать количество копий;
- повышать эффективность работы оборудования.

Продолжая аналогию с промышленным предприятием, укажем, что оркестрация выполняет функции, аналогичные подразделению главного технолога, осуществляющего координацию всех производственных процессов.

Таким образом, для реализации ЦПБТ как цифровой фабрики целесообразно использовать достаточно просто организованную вертикально и горизонтально интегрированную инфраструктуру из стандартизованных и адаптивно заменяемых блоков, обеспечивающих регламентированный сбор, обработку, хранение и анализ мультимодальных потоков информации, которые характеризуют как состояние систем, так и динамику изменения любых их характеристик, особенно с учетом перехода на мультимодальные потоки больших данных.

## Заключение

Формирование цифрового паспорта безопасности территорий — важный этап создания комплексной информационной платформы решения задач территориального управления на основе риск-ориентированного подхода. Предложенная структура ЦПБТ отражает специфику и особенности территорий, обладает универсальностью и адаптивностью к изменению ситуации. Например, анализ угроз показал необходимость сбора данных инвентаризации промышленных и сельскохозяйственных производств, водохранимых территорий и гидротехнических сооружений, оказавшихся без необходимого мониторинга в 1990-е гг. Здания и коммуникации, находящиеся без надзора двадцать и более лет, являются причинами обрушений и пожаров, а неконтролируемое накопление и хранение отходов представляют латентную опасность для окружающей среды.

Систематизация информационных ресурсов выполняется параллельно с работами по проектированию сервисов обработки данных, подключением новых источников информации, консолидацией архивов наблюдений, каталогов событий, данных о характеристиках территорий. Средства динамической визуализации результатов обработки позволяют обеспечить баланс детальности описания безопасности с возможностью целостного восприятия всей картины для управления на системной основе. Практическое использование ЦПБТ в органах территориального управления требует разработки нормативно-технических документов, регламентирующих процессы актуализации, модернизации и использования паспорта для решения широкого спектра задач.

Сочетание новых методов консолидации и интеллектуального анализа данных и сервисов поддержки принятия решений позволит выработать стратегию планомерного снижения рисков безопасности жизнедеятельности человека, общества, экологических систем в России до приемлемых значений, достигнутых лишь в небольшом числе развитых стран.

**Благодарности.** Работа выполнена при участии Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности в рамках реализации проекта № 2020061506473.

## Список литературы

- [1] Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Фундаментальные и прикладные проблемы комплексной безопасности. Научный руководитель Махутов Н.А. М.: МГОФ “Знание”; 2017: 992.
- [2] Приказ Ростехнадзора от 11.04.2016 № 144. “Об утверждении Руководства по безопасности “Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах”. Адрес доступа: <http://docs.cntd.ru/document/420347908> (дата обращения 15.03.2021).
- [3] № 116-ФЗ от 21.07.1997. Федеральный закон о промышленной безопасности опасных производственных объектов (с изменениями на 8 декабря 2020 года). Адрес доступа: <http://base.garant.ru/11900785> (дата обращения 15.03.2021).
- [4] **Махутов Н.А.** Прочность и безопасность: фундаментальные и прикладные исследования. Новосибирск: Наука; 2008: 528.
- [5] **Саулова Т.А., Беседина И.Н., Ничепорчук В.В.** Оценка устойчивости пожаровзрывоопасных объектов в чрезвычайных ситуациях. Серия “Безопасность в чрезвычайных ситуациях”: Метод. пособ. для студентов спец. 280101 “Безопасность жизнедеятельности в техносфере”. Красноярск: СибГТУ; 2011: 84.
- [6] **Башкин В.Н.** Экологические риски: расчет, управление, страхование: Учеб. пособие. М.: Высшая школа; 2007: 360.
- [7] ГОСТ Р 55059-2012. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска ЧС. Термины и определения. Адрес доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200102321> (дата обращения 15.03.2021).
- [8] **Аншукова М.В.** Современные информационные технологии безопасности и анализа риска. Мониторинг. Наука и безопасность. 2013; 12(4):80–91.
- [9] **Белов П.Г.** Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере: Учеб. пос. для вузов. М.: Академия; 2003: 512.
- [10] Атлас природных и техногенных опасностей и рисков ЧС: научное издание МЧС России. М.: Феория: Объединенная редакция МЧС; 2011: 652.
- [11] Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации. Под общей редакцией С.К. Шойгу. М.: ИПЦ “Дизайн. Информация. Картография”; 2010: 696.
- [12] Атлас риска пожаров на территории Российской Федерации: научное издание МЧС России. М.: Феория: Объединенная редакция МЧС; 2011: 720.
- [13] **Верескун А.В., Зиновьев С.В., Олтян И.Ю., Барышев Е.М., Балер М.А.** Комплексное исследование влияния рисков природных и техногенных ЧС на безопасность жизнедеятельности населения Республики Крым и г. Севастополя. М.: ВНИИ ГОЧС (ФЦ); 2015: 208.
- [14] Complete flood management with ArcGIS. Адрес доступа: <https://waterresources.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html> (дата обращения 10.02.21).
- [15] **Митакович С.А., Заяц Е.В.** Современные ГИС-технологии для мониторинга и прогнозирования ЧС. Башкирский экологический вестник. 2011; 28-29(3-4):57–62.
- [16] **Никоноров С.М., Соловьева С.В., Ситкина К.С.** Устойчивое развитие регионов и городов Поволжья: коллективная монография. М.: Экономический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова; 2020: 255.



- [17] **Бобылев С.Н., Григорьев Л.М.** Доклад о человеческом развитии в Российской Федерации за 2017 год. М.: Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации; 2017: 292.
- [18] Постановление № 60 Правительства Республики Алтай от 13.03.2018 “О стратегии социально-экономического развития Республики Алтай на период до 2035 года”. Адрес доступа: <https://www.altai-republic.ru/investments/strategy-of-social-economic> (дата обращения 19.10.21).
- [19] **Замятина М.Ф.** Эколого-экономическое развитие регионов в контексте современных вызовов. Экономика и управление. 2019; (3):23–31.
- [20] **Татаркин А.И., Даванков А.Ю., Пряхин Г.Н., Седов В.В., Шумаков А.Ю.** Управление сбалансированным развитием территориальных систем: вопросы теории и практики. Челябинск: ЧелГУ; 2016: 295.
- [21] Нормативно правовой акт МЧС России от 04.11.2004 г. № 506 “Об утверждении типового паспорта безопасности опасного объекта”. Адрес доступа: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/762> (дата обращения 06.08.21).
- [22] Приказ МЧС России от 25 октября 2004 г. № 484 “Об утверждении типового паспорта безопасности территорий субъектов РФ и муниципальных образований”. Адрес доступа: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/763> (дата обращения 06.08.21).
- [23] **Бабинцев И.В., Некрасов И.В., Ничепорчук В.В.** Концепция формирования паспортов безопасности территорий с использованием современных информационных технологий. Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2018; 3(10):17–22.
- [24] **Ничепорчук В.В., Пенькова Т.Г.** Паспорт территории — динамический инструмент анализа опасностей. Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2014; (1):3–8.
- [25] **Гражданкин А.И., Печёркин А.С., Сидоров В.И.** Допустимый риск — мера неприемлемой опасности промышленной аварии. Безопасность труда в промышленности. 2015; (3):66–70.
- [26] Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Научные основы техногенной безопасности. Научный руководитель Махутов Н.А. М.: МГОФ “Знание”; 2015: 936.
- [27] **Малкин В.С.** Надежность технических систем и техногенный риск. Ростов-на-Дону: Феникс; 2010: 432.
- [28] **Ахметханов Р.С., Дубинин Е.Ф., Куксова В.И.** Применение нечетких множеств при оценке и управлении рисками. Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2015; (4):56–72.
- [29] Technology for disaster reduction. Адрес доступа: <https://www.undrr.org> (дата обращения 06.08.21).
- [30] **Фалеев М.И.** Управление рисками техногенных катастроф и стихийных бедствий (пособие для руководителей организаций). Монография. М.: ВНИИ ГОЧС (ФЦ); 2016: 270.
- [31] **Фалеев М.И., Олтян И.Ю.** Методология и технология дистанционной оценки риска. Проблемы анализа риска. 2018; 15(4):6–19.
- [32] Taming natural disasters. Multi-jurisdictional local hazard mitigation plan for the San Francisco bay area. Адрес доступа: <https://www.sanjoseca.gov/home/showpublisheddocument/19465/636684931138530000> (дата обращения 06.08.21).

- [33] **Wood M., Jelinek R.** Risk mapping in the new member states. A summary of general practices for mapping hazards, vulnerability and risk. European Commission Joint Research Centre. Institute for the Protection and Security of the Citizen; 2007: 30.
- [34] **Махутов Н.А., Гаденин М.М., Юдина О.Н.** Научный анализ рисков в жизнеобеспечении человека, общества и государства. Проблемы анализа риска. 2019; 16(2):70–89.
- [35] **Москвичёв В.В., Бычков И.В., Потапов В.П., Тасейко О.В., Шокин Ю.И.** Информационная система территориального управления рисками развития и безопасностью. Вестник РАН. 2017; 87(8):696–705.
- [36] **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; 15(2):56–77.
- [37] **Шокин Ю.И., Москвичев В.В., Ноженкова Л.Ф., Ничепорчук В.В.** Кризисные базы данных для управления безопасностью территорий. Вычислительные технологии. 2011; 16(6):115–126.
- [38] **Лепихин А.М., Москвичев В.В., Ничепорчук В.В., Тридворнов А.В.** Оценка и районирование риска чрезвычайных ситуаций для территории Красноярского края. Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2007; (5):124–133.
- [39] **Negus C., Henry W.** Docker containers. Build and deploy with Kubernetes, Flannel, Cockpit, and Atomic. Indiana US: Pearson Education; 2015: 319.
- [40] **Ничепорчук В.В., Яровой А.В., Кожемякин Н.Л.** Метод проектирования сценариев действий в опасных ситуациях. Тр. Всеросс. научно-практ. конф. “Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и ЧС”. Железногорск: СибПСА ГПС МЧС России; 2019: 47–58.
- [41] Приказ МЧС России от 08.07.2004 г. № 329 “Критерии информации о ЧС”. Адрес доступа: <https://docs.cntd.ru/document/902066864> (дата обращения 17.11.21).
- [42] **Ничепорчук В.В., Пенькова Т.Г.** Исследование факторов риска для оценки и управления природно-техногенной безопасностью территорий. Матер. и докл. VI Всеросс. научно-практ. конф. “Безопасность и мониторинг техногенных и природных систем”. Красноярск: СФУ; 2018: 81–86.
- [43] **Бельская Е.Н., Медведев А.В., Михов Е.Д., Тасейко О.В.** Оценка экологической ситуации с применением методов непараметрического моделирования. Экология и промышленность России. 2017; 21(8):54–58.
- [44] **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.
- [45] **Попов С.Е., Замараев Р.Ю.** Программный комплекс и язык метаописаний алгоритмов анализа социально-экономических объектов. Программная инженерия. 2012; (7):27–33.
- [46] **Махутов Н.А.** Безопасность и риски: системные исследования и разработки. Новосибирск: Наука; 2017: 724.
- [47] Сборник методических документов, применяемых для независимой оценки рисков в области пожарной безопасности, гражданской обороны и защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций. Союз организаций, осуществляющих экспертную деятельность в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, промышленной, пожарной и экологической безопасности. Часть 1. М.: МЧС России; 2008: 704.

- [48] Словарь основных терминов и определений системы “Безопасность в чрезвычайных ситуациях”. М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ); 2011: 336.
- [49] **Lea P.** Internet of Thing for architects. Birmingham-Mumbai: Packt. Publishing; 2018: 454.
- [50] **Олтян И.Ю., Арефьева Е.В., Крапухин В.В., Ляховец Т.Л.** О реализации в Российской Федерации Сендайской рамочной программы и глобальной кампании МСУОБ ООН по повышению устойчивости городов “Мой город готовится!”. Технологии гражданской безопасности. 2017; 14(2(52)):33–38.
- [51] **Grievess M.W.** Digital twin: Manufacturing excellence through virtual factory replication. Адрес доступа: <https://scholar.google.com/citations?user=OgGMvvgkAAAAJhl=en> (дата обращения 06.08.21).
- [52] **Ying Yang M., Rosenhahn B., Murino V.** Multimodal scene understanding. Algorithms, applications and deep learning. London: Academic Press is an imprint of Elsevier; 2019: 406.
- [53] **Ричардсон К.** Микросервисы. Паттерны разработки и рефакторинга. СПб.: Питер; 2019: 544.
- [54] **Sayfan G.** Mastering Kubernetes. Automating container deployment and management. Birmingham, UK: Packt Publishing Ltd.; 2017: 397.
- [55] **Ibryam B., Hus R.** Kubernetes patterns. Sebastopol, CA: O’Reilly Media; 2019: 246.

## Digital pattern of safety of a territory

MOSKVICHEV VLADIMIR V.<sup>1</sup>, NICHEPORCHUK VALERIY V.<sup>2,\*</sup>, POTAPOV VADIM P.<sup>3</sup>,  
TASEIKO OLGA V.<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Federal Research Center for Information and Computational Technologies, 660049, Krasnoyarsk, Russia

<sup>2</sup>Institute of Computational Modeling SB RAS, 660036, Krasnoyarsk, Russia

<sup>3</sup>Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory SB RAS, 664033, Irkutsk, Russia

<sup>4</sup>Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 660037, Krasnoyarsk, Russia

\*Corresponding author: Nicheporchuk Valeriy V., e-mail: [valera@icm.krasn.ru](mailto:valera@icm.krasn.ru)

Received August 18, 2021, revised October 20, 2021, accepted October 27, 2021.

## Abstract

Modern technologies for obtaining and processing data lead to new concepts of risk management and safety for territorial development in industrial regions. This paper formulated the definition of “Digital Pattern of Territory Safety” (DPTS) and his structure requirements. The need to create a DSPT is due to the complexity of the tasks of territorial administration, the presence of a large amount of heterogeneous data, the potential of modern intellectual technologies of analysis. The issues of monitoring data integration for the environmental state, control of technosphere objects and characteristics of the social sphere are urgent. The content of a common information space of territorial administration should be determined by the structure of indicators DPTS. The concept

of a digital passport of territory safety links types of risks, indicators of their characteristics, information support of indicators with parameters of territory management.

The analytical models that consolidate complex monitoring data, dynamic mapping and web visualization were developed for DPTS. Determination of strategic directions for safety territories management, taking into account for their physical-geographical and socio-economic characteristics is based on the systematization of measures to reduce risks.

This article provides the examples of using the indicators of Digital Patterns to assess and manage the social, natural and technogenic risks for the systems. The implementations of the safety data sheet in the form of digital twins are possible taking into account the multimodality of information flows.

*Keywords:* social-natural-technogenic system, integrated monitoring, digital safety pattern description, distributed information resources, management support technologies.

*Citation:* Moskvichev V.V., Nicheporchuk V.V., Potapov V.P., Taseiko O.V. Digital pattern of safety of a territory. Computational Technologies. 2021; 26(6):110–132. DOI:10.25743/ICT.2021.26.6.008. (In Russ.)

**Acknowledgements.** This work was carried out with the financial support of the Krasnoyarsk regional fund of Science and Technology within the framework of the project No. 2020061506473.

## References

1. Bezopasnost' Rossii. Pravovye, sotsial'no-ekonomicheskie i nauchno-tekhnicheskie aspekty. Fundamental'nye i prikladnye problemy kompleksnoy bezopasnosti [Safety of Russia. Legal, socio-economic and scientific and technical aspects. Fundamental and applied problems of integrated security]. Moscow: MGOF Znanie; 2017: 992. (In Russ.)
2. Prikaz Rostekhnadzora ot 11.04.2016 N 144. "Ob utverzhdenii Rukovodstva po bezopasnosti "Metodicheskie osnovy po provedeniyu analiza opasnostey i otsenki riska avariyy na opasnykh proizvodstvennykh ob'ektakh" ["On approval of the Safety Guide "Methodological foundations for conducting hazard analysis and risk assessment of accidents at hazardous production facilities"]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/420347908> (accessed 15.03.2021). (In Russ.)
3. 116-FL from 21.07.1997. Federal'nyy zakon o promyshlennoy bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob'ektov (s izmeneniyami na 8 dekabrya 2020 goda) [Federal Law on Industrial Safety of Hazardous Production Facilities (as amended on December 8, 2020)]. Available at: <http://base.garant.ru/11900785> (accessed 15.03.2021). (In Russ.)
4. **Makhutov N.A.** Prochnost' i bezopasnost': Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya [Strength and safety: Basic and applied research]. Novosibirsk: Nauka; 2008: 528. (In Russ.)
5. **Saulova T.A., Besedina I.N., Nicheporchuk V.V.** Otsenka ustoychivosti pozharovzryvoopasnykh ob'ektov v chrezvychaynykh situatsiyakh. Seriya "Bezopasnost' v chrezvychaynykh situatsiyakh" [Assessment of the stability of fire and explosive objects in emergency situations. Emergency Safety Series: Method. manual. for students special. 280101 "Life safety in the technosphere"]. Krasnoyarsk: SibGTU; 2011: 84. (In Russ.)
6. **Bashkin V.N.** Ekologicheskie riski: Raschet, upravlenie, strakhovanie [Environmental risks: Calculation, management, insurance: Textbook allowance]. Moscow: Vysshaya Shkola; 1994: 360. (In Russ.)
7. GOST R55059-2012. Bezopasnost' v chrezvychaynykh situatsiyakh. Menedzhment riska ChS. Terminy i opredeleniya [GOST P55059-2012. Safety in emergencies. Emergency risk management. Terms and Definitions]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200102321> (accessed 15.03.2021). (In Russ.)
8. **Anshukova M.V.** Modern information technology security and risk analysis. Monitoring. Science and Security. 2013; 12(4):80–91. (In Russ.)
9. **Belov P.G.** Sistemnyy analiz i modelirovanie opasnykh protsessov v tekhnosfere: Uchebnoe posobie dlya vuzov [System analysis and modelling of hazardous processes in the technosphere: Textbook for universities]. Moscow: Akademiya; 2003: 512. (In Russ.)

10. Atlas prirodnykh i tekhnogennykh opasnostey i riskov ChS: Nauchnoe izdanie MChS Rossii [Atlas of natural and man-made hazards and risks of emergencies: Scientific publication EMERCOM of Russia]. Moscow: Feoriya: Ob'edinennaya redaktsiya MChS; 2011: 652. (In Russ.)
11. Atlas prirodnykh i tekhnogennykh opasnostey i riskov chrezvychnykh situatsiy v Rossiyskoy Federatsii. Pod obshchey redaktsiey S.K. Shoygu [Atlas of natural and man-made hazards and risks of emergency situations in the Russian Federation. Ed. by S.K. Shoigu]. Moscow: IPTs "Dizayn. Informatsiya. Kartografiya"; 2010: 696. (In Russ.)
12. Atlas riska pozharov na territorii Rossiyskoy Federatsii: Nauchnoe izdanie MChS Rossii [Atlas of fire risks in the territory of the Russian Federation: Scientific publication. EMERCOM of Russia]. Moscow: Feoriya: Ob'edinennaya redaktsiya MChS; 2011: 720. (In Russ.)
13. **Vereskun A.V., Zinoviev S.V., Oltyan I.Yu., Baryshev E.M., Baler M.A.** Kompleksnoe issledovanie vliyaniya riskov prirodnykh i tekhnogennykh ChS na bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti naseleniya Respubliki Krym i g. Sevastopolya [Comprehensive study of the impact of natural and man-made emergencies risks on the life safety of the population of the Republic of Crimea and the city of Sevastopol]. Moscow: VNII GOCHS (FTs); 2015: 208. (In Russ.)
14. Complete flood management with ArcGIS. Available at: <https://waterresources.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html> (accessed 10.02.21).
15. **Mitakovich S.A., Zayaz E.V.** Modern GIS technologies for monitoring and forecasting of emergency situations. Bashkirskiy Ekologicheskiy Vestnik. 2011; 28–29(3–4):57–62. (In Russ.)
16. **Nikonorova S.M., Solovyeva S.V., Sitkina K.S.** Ustoychivoe razvitie regionov i gorodov Povolzh'ya: Kollektivnaya monografiya [Sustainable development of regions and cities of the Volga region: Collective monograph]. Moscow: Ekonomicheskiy Fakul'tet MGU im. M.V. Lomonosova; 2020: 255. (In Russ.)
17. **Bobyleva S.N., Grigor'eva L.M.** Doklad o chelovecheskom razvitii v Rossiyskoy Federatsii za 2017 god [Human development report for the Russian Federation]. Moscow: Analiticheskiy Tsentri pri Pravitel'stve Rossiyskoy Federatsii; 2017: 292. (In Russ.)
18. Postanovlenie No. 60 Pravitel'stva Respubliki Altay ot 13.03.2018 "O strategii sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Respubliki Altay na period do 2035 goda" [Resolution No. 60 of the Government of the Altai Republic of 13.03.2018 "On the strategy of social and economic development of the Altai Republic for the period up to 2035"]. Available at: <https://www.altai-republic.ru/investments/strategy-of-social-economic> (accessed 19.10.21). (In Russ.)
19. **Zamyatina M.F.** Regional environmental and economic development in the context of contemporary challenges. Economics and Management. 2019; (3):23–31. (In Russ.)
20. **Tatarkin A.I., Davankov A.Yu., Pryakhin G.N., Sedov V.V., Shumakov A.Yu.** Upravlenie sbalansirovannym razvitiem territorial'nykh sistem: Voprosy teorii i praktiki [Management for the balanced development of territorial systems: Theory and practice]. Chelyabinsk: ChelGU; 2016: 295. (In Russ.)
21. Normativno pravovoy akt MChS Rossii ot 04.11.2004 g. No. 506 "Ob utverzhdenii tipovogo pasporta bezopasnosti opasnogo ob'ekta" [Order of EMERCOM of Russia of 04.11.2004 No. 506 "On approval of the standard safety data sheet for a hazardous facility"]. Available at: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/762> (accessed 06.08.21). (In Russ.)
22. Prikaz MChS Rossii ot 25 oktyabrya 2004 g. No. 484 "Ob utverzhdenii tipovogo pasporta bezopasnosti territoriy sub'ektov RF i munitsipal'nykh obrazovaniy" [Order of EMERCOM of Russia of 25.10.2004 No. 484 "On approval of the standard safety data sheet for the territories of the constituent entities of the Russian Federation and municipalities"]. Available at: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/763> (accessed 06.08.21). (In Russ.)
23. **Babintsev I.V., Nekrasov I.V., Nicheporchuk V.V.** Concept of formation of safety passports of territories with the use of modern information technologies. Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2018; 3(10):17–22. (In Russ.)
24. **Nicheporchuk V.V., Penkova T.G.** Area's certificate — Dynamic analysis tool of hazards. Nauchnye i Obrazovatel'nye Problemy Grazhdanskoj Zashchity. 2014; (1):3–8. (In Russ.)
25. **Grazhdankin A.I., Pecherkin A.S., Sidorov V.I.** Permissible risk is a measure of the unacceptable hazard of an industrial accident. Bezopasnost' Truda v Promyshlennosti. 2015; (3):66–70. (In Russ.)
26. Safety of Russia. Legal, socio-economic and scientific and technical aspects. Scientific fundamentals of technogenic safety. Moscow: MGOF Znanie; 2017: 992. (In Russ.)

27. **Malkin V.S.** Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem i tekhnogenny risk [Reliability of technical systems and technogenic risk]. Rostov-na-Donu: Feniks; 2010: 432. (In Russ.)
28. **Akhmetkhanov R.S., Dubinin E.F., Kuksova V.I.** Application of fuzzy sets for risk assessment and management. Problemy Bezopasnosti i Chrezvychaynykh Situatsiy. 2015; (4):56–72. (In Russ.)
29. Technology for disaster reduction. Available at: <https://www.undrr.org> (accessed 06.08.21).
30. **Faleev M.I.** Upravlenie riskami tekhnogennykh katastrof i stikhiynykh bedstviy (posobie dlya rukovoditeley organizatsiy). Monografiya [Risk management of man-made and natural disasters (a guide for leaders of organizations). Monograph]. Moscow: VNII GOCHS (FTs); 2016: 270. (In Russ.)
31. **Faleev M.I., Oltyan I.Yu.** A methodology and technology for risk assessment based on open data. Issues of Risk Analysis. 2018; 15(4):6–19. (In Russ.)
32. Taming natural disasters. Multi-jurisdictional local hazard mitigation plan for the San Francisco bay area. Available at: <https://www.sanjoseca.gov/home/showpublisheddocument/19465/636684931138530000> (accessed 06.08.21).
33. **Wood M., Jelinek R.** Risk mapping in the new member states. A summary of general practices for mapping hazards, vulnerability and risk. European Commission Joint Research Centre. Institute for the Protection and Security of the Citizen; 2007: 30.
34. **Makhutov N.A., Gadenin M.M., Yudina O.N.** The scientific analysis of risks in life-support of a person, a society and the state. Issues of Risk Analysis. 2019; 16(2):70–89. (In Russ.)
35. **Moskvichev V.V., Bychkov I.V., Potapov V.P., Taseiko O.V., Shokin Yu.I.** Information system for territorial risk management development and safety. Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2017; 87(8):696–705. (In Russ.)
36. **Moskvichev V.V., Nicheporchuk V.V., Potapov V.P., Taseiko O.V., Faleev M.I.** Information support of monitoring and development risks for social, natural and technogenic systems. Issues of Risk Analysis. 2018; 15(2):56–77. (In Russ.)
37. **Shokin Yu.I., Moskvichev V.V., Nozhenkova L.F., Nicheporchuk V.V.** Crisis database for management of territorial risks. Computational Technologies. 2011; 16(6):115–126. (In Russ.)
38. **Lepikhin A.M., Moskvichev V.V., Nicheporchuk V.V., Tridvornov A.V.** Estimation and division into districts of extreme situations risk for territory of Krasnoyarsk Region. Safety and Emergency Problems. 2007; (5):124–133. (In Russ.)
39. **Negus C., Henry W.** Docker containers. Build and deploy with Kubernetes, Flannel, Cockpit, and Atomic. Indiana US: Pearson Education; 2015: 319.
40. **Nicheporchuk V.V., Yarovoy A.V., Kozhemyakin N.L.** A method for designing scenarios for actions in dangerous situations. Trudy Vseross. Nauchno-Prakt. Konf. "Monitoring, Modelirovanie i Prognozirovaniye Opasnykh Prirodnykh Yavleniy i ChS" [Proc. of the All-Russian. Conf. "Monitoring, Modelling and Forecasting of Natural Hazards and Emergencies"]. Zheleznogorsk: SibPSA GPS MChS Rossii; 2019: 47–58. (In Russ.)
41. Prikaz MChS Rossii ot 08.07.2004 g. No. 329 "Kriterii informatsii o ChS" [Order of EMERCOM of Russia of 08.07.2004 No. 329 "Emergency information criteria"]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/902066864>. (accessed 17.11.21). (In Russ.)
42. **Nicheporchuk V.V., Penkova T.G.** Research of risk factors for assessment and management of natural and technogenic safety of territories. Materialy i Doklady VI Vseross. Nauchno-Prakt. Konf. "Bezopasnost' i Monitoring Tekhnogennykh i Prirodnykh Sistem" [Proc. of the VI All-Russian. Conf. "Safety and Monitoring of Technogenic and Natural Systems"]. Krasnoyarsk: SFU; 2018: 81–86. (In Russ.)
43. **Belskaya E.N., Medvedev A.V., Mikhov E.D., Taseiko O.V.** Assessment of ecological situation using the method of nonparametric modelling. Ecology and Industry of Russia. 2017; 21(8):54–58. (In Russ.)
44. **Levkevich V.E., Lepikhin A.M., Moskvichev V.V., Nikitenko V.G., Nicheporchuk V.V., Shaparev N.Ya., Shokin Yu.I.** Bezopasnost' i riski ustoychivogo razvitiya territoriy [Safety and risks of sustainable development of territories]. Krasnoyarsk: SFU; 2014: 224. (In Russ.)
45. **Popov S.E., Zamaraev R.Yu.** The software and metalanguage of algorithms for analysis of social and economic entities. Software Engineering. 2012; (7):27–33. (In Russ.)
46. **Makhutov N.A.** Bezopasnost' i riski: Sistemnye issledovaniya i razrabotki [Safety and risks: System research and development]. Novosibirsk: Nauka; 2017: 724. (In Russ.)
47. Sbornik metodicheskikh dokumentov, primenyaemykh dlya nezavisimoy otsenki riskov v oblasti pozharnoy bezopasnosti, grazhdanskoy oborony i zashchity naseleniya i territoriy ot chrezvychaynykh

- situatsiy. Soyuz organizatsiy, osushchestvlyayushchikh ekspertnuyu deyatel'nost' v oblasti zashchity naseleniya i territoriy ot chrezvychaynykh situatsiy, promyshlennoy, pozharnoy i ekologicheskoy bezopasnosti [A collection of methodological documents used for an independent risk assessment in the field of fire safety, civil defense and protection of the population and territories from emergencies. Union of organizations carrying out expert activities in the field of protection of the population and territories from emergencies, industrial, fire and environmental safety]. Part 1. Moscow: MChS Rossii; 2008: 704. (In Russ.)
48. Slovar' osnovnykh terminov i opredeleniy sistemy "Bezopasnost' v chrezvychaynykh situatsiyakh" [Glossary of basic terms and definitions of the system "Safety in emergency situations"]. Moscow: FGU VNII GOCHS (FTs); 2011: 336. (In Russ.)
  49. **Lea P.** Internet of Thing for architects. Birmingham-Mumbai: Packt. Publishing; 2018: 454.
  50. **Oltyan I.Yu., Arefieva E.V., Krapukhin V.V., Lyakhovets T.L.** Implementing Sendai framework and unisdr global campaign making cities resilient: "My city is getting ready!" in Russia. *Tekhnologii Grazhdanskoy Bezopasnosti*. 2017; 14(2(52)):330–38. (In Russ.)
  51. **Grievies M.W.** Digital twin: Manufacturing excellence through virtual factory replication. Available at: <https://scholar.google.com/citations?user=0gGMvgkAAAAJhl=en> (accessed 06.08.21). (In Russ.)
  52. **Ying Yang M., Rosenhahn B., Murino V.** Multimodal scene understanding. Algorithms, applications and deep learning. London: Academic Press is an imprint of Elsevier; 2019: 406.
  53. **Richardson C.** Microservices. Development and refactoring patterns. N.Y.: Manning Publication Co.; 2019: 478.
  54. **Sayfan G.** Mastering Kubernetes. Automating container deployment and management. Birmingham, UK: Packt Publishing Ltd.; 2017: 397.
  55. **Ibryam B., Hus R.** Kubernetes patterns. Sebastopol, CA: O'Reilly Media; 2019: 246.