

А.М. Бершадский, С.А. Ямашкин**РИСК-ОРИЕНТИРОВАННАЯ ГЕОПОРТАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

Рассматривается создание риск-ориентированной геопортальной системы поддержки принятия управленческих решений для территориально распределённых организационных систем (ТРОС). Цель работы – разработка архитектуры и формализованной модели, объединяющей пространственные данные, структуры рисков, ключевые показатели эффективности (КПЭ) и варианты управляющих воздействий в едином аналитическом контуре. Актуальность обусловлена тем, что классические СППР и геопорталы фрагментарно покрывают задачи управления ТРОС из-за отсутствия интеграции пространственного анализа с моделями каскадирования рисков, что приводит к несогласованности решений и росту уязвимости территорий. Методологическая основа включает формализацию взаимосвязей «объект-риск-показатель-воздействие», построение ориентированных графов влияния и механизмы распространения эффектов рисков по территории и уровням управления. Предложена многослойная архитектура геопортальной платформы, включающая подсистемы сбора пространственных данных, риск-аналитики, витрин КПЭ и сценарного моделирования. Техническая реализация опирается на открытые геопорталы Русского географического общества и единое хранилище пространственных данных. В качестве пилотной области исследована региональная система управления развитием и природопользованием Республики Мордовия, где реализован прототип риск-ориентированного модуля. Демонстрируется возможность визуализации распределения природных и техногенных рисков, оценки интегральных индексов уязвимости территорий и выбора приоритетных сценариев управления. Результаты внедрения в ООО «ЭМ-КАТ» показали снижение энергопотребления. Применение системы в Главном управлении МЧС по Республике Мордовия позволило оптимизировать управление территориями и повысить предсказуемость рисков. Предложенный подход обеспечивает целостное и воспроизводимое управление территориально распределёнными системами, повышая их устойчивость к локальным и транзитивным воздействиям, прозрачность принятия решений и оперативность межведомственного согласования.

Территориально распределённые организационные системы; риск-ориентированное управление; геопортал; система поддержки принятия решений; пространственные данные; ключевые показатели эффективности.

A.M. Bershadskiy, S.A. Yamashkin**RISK-ORIENTED GEOPORTAL DECISION SUPPORT SYSTEM FOR TERRITORIAALLY DISTRIBUTED ORGANIZATIONAL SYSTEMS**

The article discusses the development of a risk-oriented geoportal decision support system for territorially distributed organizational systems (TDOS). The aim of the work is to develop an architecture and a formalized model that integrates spatial data, risk structures, key performance indicators (KPIs), and management action options within a unified analytical framework. The relevance is due to the fact that classical DSS and geoportals fragmentarily cover the tasks of TDOS management due to the lack of integration of spatial analysis with risk cascading models, which leads to inconsistency of decisions and increased territorial vulnerability. The methodological foundation includes the formalization of "object-risk-indicator-impact" relationships, the construction of directed influence graphs, and mechanisms for the propagation of risk effects across the territory and management levels. A multi-layered architecture of the geoportal platform is proposed, including subsystems for spatial data collection, risk analytics, KPI dashboards, and scenario modeling. The technical implementation is based on open geoportals of the Russian Geographical Society and a unified spatial data repository. As a pilot area, the regional management system for development and natural resource use of the Republic of Mordovia was studied, where a prototype of the risk-oriented module was implemented. The article demonstrates the ability to visualize the distribution of natural and man-made risks, assess integral territorial vulnerability indices, and select priority management scenarios. The results of implementation at EM-KAT LLC showed a reduction in energy consumption. The application of the system in the Main Directorate of the Ministry of Emergency Situations for the Republic of Mordovia made it possible to optimize territorial management and increase risk predictability. The proposed approach ensures holistic and reproducible management of territorially distributed systems, increasing their resilience to local and transitive impacts, decision-making transparency, and the efficiency of interdepartmental coordination.

Territorially distributed organizational systems; risk-oriented management; geoportal; decision support system; spatial data; key performance indicators.

Введение. Организационные системы представляют собой совокупность взаимосвязанных подсистем, объектов и процессов, объединённых общими целями и ресурсами, функционирующих под управлением согласованной системы центров принятия решений [1]. Исследование принципов построения, управления и оптимизации таких систем является ключевым для обеспечения их устойчивости и эффективности, особенно в условиях территориальной распределённости и неоднородности среды [2]. Территориально распределённая организационная система (ТРОС) представляет собой совокупность пространственно разнесённых организационных подсистем, объектов и процессов, объединённых общими целями и ресурсами и управляемых через согласованную систему центров принятия решений [3]. В отличие от локализованных в пространстве организационных систем, в ТРОС географическое положение элементов, их включённость в разные природные, инфраструктурные и институциональные контуры напрямую влияют на динамику состояний и результат управления [4, 5].

Проблема управления такими системами проявляется в том, что одни и те же управленческие решения дают принципиально разные эффекты на разных территориях [6]. Техногенная нагрузка, доступность ресурсов, уязвимость к внешним воздействиям, регуляторные режимы и качество инфраструктуры меняются от зоны к зоне, и «среднее по системе» здесь не работает [7]. Локальные изменения (прекращение функционирования объекта, ремонт участка сети, запуск нового проекта) вызывают цепочки последствий, которые расслаиваются в пространстве и времени и плохо видны в классических отчётных формах и таблицах [8]. Дополнительная сложность связана с тем, что информационные потоки в ТРОС исторически строились без системной ориентации на пространство. Данные о состоянии объектов, рисках и показателях эффективности собираются по ведомствам и уровням управления, хранятся в разнородных форматах, а пространственная привязка либо отсутствует, либо задана формально и не позволяет быстро собрать целостную картину для принятия решения. В результате управляющее воздействие формируется в условиях фрагментированной и запаздывающей информации, а оценка его последствий по территории носит во многом интуитивный характер, что повышает чувствительность системы к ошибкам планирования, усиливает риски «слепых зон» и снижает управляемость в целом.

Классические системы поддержки принятия решений разрабатывались преимущественно для объектов управления, допускающих агрегированное представление состояний и «свертывание» пространственной неоднородности в параметры моделей [9]. В таких системах риск-ориентированные процедуры, как правило, реализуются в виде отдельных модулей (реестры рисков, матрицы «вероятность–ущерб», сценарный анализ) и слабо связаны с пространственным положением элементов организационной системы и их включённостью в различные контуры внешней среды. Это приводит к тому, что для территориально распределённых организационных систем существенная часть модели описания рисков оказывается «размытой»: модель фиксирует допустимый уровень совокупного риска, но не выявляет локальные концентрации уязвимостей и цепочки пространственно обусловленных последствий.

Геопортальные решения, в свою очередь, ориентированы на предоставление доступа к пространственным данным и выполнению ограниченного набора типовых геоаналитических операций (визуализация слоёв, выборка по атрибутам, простые пространственные запросы, построение тематических карт) [10]. При этом в архитектуру большинства геопорталов не заложены формализованные представления о рисках, ключевых показателях эффективности и управляющих воздействиях; отсутствуют механизмы каскадирования риск-эффектов по структуре системы и процедуры ранжирования управленческих альтернатив. По сути, геопортал выступает как витрина пространственно распределённых данных, а не как инструмент синтеза управленческих решений в риск-ориентированной постановке.

Таким образом, классические системы поддержки принятия решений (СППР) и геопорталы лишь отчасти решают задачи управления территориально распределёнными организационными системами. Первые обеспечивают расчёт показателей и сценариев в преимущественно «непространственной» постановке, вторые визуализируют состояние территории без жёсткой связи с моделями рисков и контурами управления. Разрыв между оцен-

кой рисков, пространственным анализом и формированием согласованных управленческих воздействий компенсируется за счёт экспертных процедур, что снижает воспроизводимость решений, ограничивает прозрачность обоснований и повышает чувствительность систем к субъективным ошибкам. Именно поэтому возникает необходимость в интегральной риск-ориентированной геопортальной системе, объединяющей пространственные данные, структуры описания рисков и управленческие контуры в единой архитектуре. Отказаться от риск-ориентированного подхода в управлении территориально распределёнными организационными системами сегодня фактически невозможно. Для ТРОС характерны высокая неопределённость внешней среды и последствий управленческих воздействий по территории и наличие длинных цепочек опосредованных эффектов, которые проявляются не сразу и не в том месте, где было принято решение [11]. Классические подходы, опирающиеся на усреднённые показатели и статические ограничения, позволяют фиксировать лишь факт нарушения целевых ориентиров, но не дают прозрачной картины того, какие риски лежат в основе сбоев и как они распределены в пространстве.

Риск-ориентированный подход, встраиваемый в контур управления ТРОС, позволяет перейти от констатации отклонений к явному описанию структуры рисков: идентифицировать источники и носители риска, оценить их влияние на набор ключевых показателей, задать правила каскадирования эффектов и увязать всё это с набором допустимых управляющих воздействий [12]. При этом пространственная компонента оказывается не вспомогательной, а системообразующей: локализация рисков, концентрация уязвимых элементов, наличие «коридоров» распространения негативных эффектов принципиально влияют на выбор приоритетов и конфигурацию решений [13]. Геопортал обеспечивает единое пространство представления для разнородных источников данных (реестры объектов, показатели, сенсорные и реестровые данные) и даёт возможность визуализировать структуры описания рисков и управленческих решений до уровня наглядных пространственных образов [14]. В интеграции с риск-ориентированными моделями геопортал превращается из витрины тематических слоёв в систему поддержки принятия решений: на карте одновременно отображаются зоны концентрации риска, чувствительные участки сети, приоритетные объекты вмешательства и ожидаемые изменения в системе показателей. В результате становится возможным совместно рассматривать риски, пространственное положение объектов и варианты управленческих действий, чего нет в большинстве классических СППР и геопорталов.

Целью настоящей работы является формирование принципов построения риск-ориентированной геопортальной системы поддержки принятия управленческих решений для территориально распределённых организационных систем, обеспечивающей формализованную связь между пространственными данными, структурами рисков, ключевыми показателями эффективности и управляющими воздействиями в едином архитектурном и модельном контуре.

Для достижения указанной цели поставлены следующие задачи:

- ♦ систематизировать особенности территориально распределённых организационных систем, определяющие формирование структур описания рисков и конфигурацию контуров управления;
- ♦ разработать архитектуру геопортальной системы, включающую подсистемы сбора и интеграции пространственных данных, риск-аналитики, витрин ключевых показателей эффективности и сценарного анализа;
- ♦ формализовать риск-ориентированную модель, связывающую объекты управления, риски, показатели и управляющие воздействия с учётом пространственной локализации и каскадирования эффектов;
- ♦ продемонстрировать работу системы на примере территориально распределённой организационной системы, показав механизм перехода от пространственной и риск-ориентированной картины состояния к обоснованным управленческим решениям.

Решение этих задач позволяет перейти от фрагментарного использования риск-менеджмента и геопорталов к целостной технологии управления территориально распределёнными организационными системами. Предлагаемая система должна не толь-

ко аккумулировать разнородные пространственные и управленческие данные, но и задавать прозрачный механизм их преобразования в интерпретируемые управленческие решения, опирающиеся на формализованную риск-структуру и учитывающие территориальную специфику функционирования объектов.

Постановка решаемой задачи. В качестве объекта исследования в статье рассматриваются территориально распределённые организационные системы, включающие пространственно разнесённые подсистемы, объекты и процессы, связанные общими целями, ресурсами и управляющими контурами. Такие системы функционируют в неоднородной природной, инфраструктурной и институциональной среде, что приводит к существенной вариативности состояний и откликов на управленческие воздействия по территории [15].

Предметом исследования является риск-ориентированная поддержка управленческих решений на геопортальной основе в рассматриваемых системах. Речь идёт о методах и средствах, позволяющих формализовать структуру рисков, их влияние на ключевые показатели эффективности, пространственную локализацию уязвимых зон и возможные сценарии развития, а также связать эти элементы с набором допустимых управляющих воздействий в единой архитектуре системы поддержки принятия решений.

Территориально распределённая организационная система (ТРОС) в рамках работы понимается как совокупность пространственно разнесённых организационных подсистем, объектов и процессов, объединённых общими целями и ресурсами и управляемых через согласованную систему центров принятия решений [16]. В отличие от локализованных организационных систем, где пространственный фактор выступает фоном, для ТРОС географическое положение элементов, конфигурация сети связей и включённость в различные сегменты внешней среды становятся одним из ключевых определяющих параметров поведения.

К типичным примерам ТРОС относятся региональные и отраслевые инфраструктурные комплексы (энергетические, транспортные, коммунальные сети), многоплощадочные производственные системы, распределённые сети объектов социальной сферы, а также природно-социально-производственные метагеосистемы, в которых взаимосвязаны природные, техногенные и управленческие контуры. Общей чертой таких систем является иерархическая структура управления с несколькими уровнями координации, наличие разветвлённой сети горизонтальных и вертикальных связей между подсистемами, а также выраженная пространственная неоднородность нагрузок, ресурсного обеспечения и профиля рисков [17].

В контуре управления ТРОС множество рисков неоднородно и не сводится к единственному типу. По характеру источника и масштабу последствий риски, релевантные для рассматриваемого класса систем, целесообразно разделить на несколько групп:

- ◆ операционные риски, связанные с нарушениями технологических процессов, отказами оборудования и ошибками персонала на уровне отдельных объектов или подсистем;
- ◆ инфраструктурные риски, обусловленные состоянием транспортных, энергетических, информационных и иных сетей, обеспечивающих связность распределённой системы;
- ◆ природно-климатические риски, определяемые территориальной дифференциацией условий среды: подтопления, засухи, экстремальные температуры, деградация почв и иные факторы, действие которых существенно зависит от пространственной локализации объектов;
- ◆ регуляторные и институциональные риски, возникающие при изменении нормативных требований, административных режимов и межведомственных регламентов, действующих на разных участках территории.

Принципиально важно, что в ТРОС перечисленные классы рисков не изолированы друг от друга. Реализация одного риска на определённой территории способна инициировать каскад последствий, затрагивающий объекты, показатели и управленческие контуры в пространственно удалённых частях системы [18]. Это свойство транзитивности эффектов риска существенно отличает ТРОС от компактных организационных систем и требует явного моделирования цепочек распространения.

Состояние и управляемость ТРОС оцениваются через набор ключевых показателей эффективности. К таким показателям относятся характеристики продуктивности отдельных подсистем и объектов, показатели надёжности и бесперебойности функционирования инфраструктуры, индикаторы ресурсообеспеченности и загрузки, а также интегральные показатели устойчивости системы в целом [19]. Каждый показатель формируется на определённой территории и зависит от локальных условий, что делает его пространственно привязанным: один и тот же показатель эффективности может принимать существенно различные значения в разных зонах системы.

Управляющие воздействия, доступные лицу принимающему решения, также неоднородны по типу и масштабу. В рамках настоящей работы выделяются:

- ♦ организационные воздействия (перераспределение ответственности, изменение режимов координации, введение дополнительных контуров контроля);
- ♦ ресурсные воздействия (перераспределение материальных, финансовых и кадровых ресурсов между подсистемами с учётом территориальных приоритетов);
- ♦ инфраструктурные воздействия (модернизация, ремонт или ввод новых элементов сетей, изменение пропускной способности);
- ♦ режимные воздействия (изменение регламентов, ограничений, нормативов функционирования на отдельных территориях).

Каждое управляющее воздействие имеет пространственную привязку: оно реализуется на определённой территории, затрагивает определённый набор объектов и через цепочки рисков и показателей влияет на состояние системы не только локально, но и в сопряжённых зонах. Именно пространственно-ассоциированная связка «риск – показатель эффективности управления – управляющее воздействие» и должна быть формализована в предлагаемой системе.

Помимо структурных и модельных требований, предъявляемых к риск-ориентированной геопортальной системе, существует ряд практических ограничений, которые напрямую определяют границы возможного и формат реализации.

Первое ограничение – пространственная разнородность и неоднородное распределение последствий управленческих решений. Одно и то же воздействие в разных частях территории приводит к различным результатам: различается состояние инфраструктуры, плотность объектов, природные условия, интенсивность хозяйственной деятельности. Это означает, что система не может оперировать единственным «средним» сценарием; она обязана поддерживать территориально дифференцированные оценки рисков, показателей и эффектов от управляющих воздействий.

Второе ограничение связано с неопределённостью данных, их запаздыванием и фрагментарностью. Информация о состоянии объектов ТРОС поступает из разных ведомств, систем мониторинга, реестров и сенсорных сетей с различной периодичностью, полнотой и достоверностью. Пространственная привязка зачастую задаётся в несогласованных системах координат и форматах, а часть объектов вовсе не имеет актуальной геолокации. Система должна быть устойчива к неполноте и рассогласованности входных данных и обеспечивать возможность принятия решений в условиях, когда часть информации отсутствует или устарела.

Третье ограничение определяется регуляторными и стандартными рамками. Управление рисками в Российской Федерации опирается на серию нормативных документов, прежде всего ГОСТ Р 58771-2019 «Менеджмент риска. Технологии оценки риска», устанавливающий рекомендации по выбору и применению технологий оценки риска в условиях неопределённости. Работа с пространственными данными регламентируется государственной программой «Национальная система пространственных данных» (постановление Правительства РФ от 1 декабря 2021 г. № 2148) и группой стандартов ГОСТ Р 70846, определяющих терминологию, классификацию, обменные форматы и требования к информационным продуктам на основе пространственных данных. Кроме того, приоритетные направления научно-технологического развития, утверждённые Указом Президента РФ от 18 июня 2024 г. № 529, прямо включают технологии системного анализа и прогноза социально-экономического развития, интеллектуальные транспортные и телекоммуникационные системы, технологии дистанционного зондирования Земли, что создаёт нормативный кон-

текст для разработки и внедрения предлагаемой системы. Система управления ТРОС должна быть совместима с указанными стандартами и программами, обеспечивая корректную работу с пространственными данными в рамках НСПД и прозрачное применение технологий оценки риска в соответствии с установленными требованиями.

Проведённый анализ показывает, что существующие системы поддержки принятия решений и геопортальные платформы покрывают лишь отдельные аспекты задачи управления территориально распределёнными организационными системами, но не обеспечивают их совместного рассмотрения в едином контуре.

Классические СППР позволяют моделировать состояния системы, рассчитывать показатели эффективности, проводить сценарный анализ, однако пространственная структура объекта управления в них, как правило, редуцирована до набора параметров или агрегированных зон [9]. Риск-ориентированные модули таких систем работают с реестрами рисков и матрицами оценок, но не поддерживают каскадирование эффектов по территории и не связывают пространственную локализацию уязвимостей с набором допустимых управляющих воздействий. Геопорталы, в свою очередь, обеспечивают доступ к пространственным данным и их визуализацию, но не содержат встроенных механизмов оценки рисков, формирования показателей эффективности и ранжирования управленческих альтернатив. Цифровая карта остаётся средством отображения, а не инструментом формирования решений.

На практике этот разрыв приводит к ряду устойчивых негативных эффектов. Управленческие решения формируются на основе разрозненных источников: риски анализируются в одной системе, пространственная картина – в другой, показатели эффективности – в третьей. Увязка между ними выполняется экспертно, что снижает воспроизводимость обоснований, увеличивает время подготовки решений и повышает чувствительность к субъективным ошибкам. Пространственно обусловленные каскадные эффекты рисков остаются за пределами формальных моделей и проявляются постфактум, когда возможности для корректирующих воздействий ограничены.

Таким образом, научная и прикладная проблема, решаемая в настоящей работе, состоит в отсутствии интегральной системы, объединяющей в единой архитектуре пространственные данные, формализованные структуры описания рисков, ключевые показатели эффективности и механизмы синтеза управляющих воздействий для территориально распределённых организационных систем. Решение этой проблемы требует построения риск-ориентированной геопортальной системы поддержки принятия управленческих решений, способной работать в условиях пространственной неоднородности, неопределённости данных и регуляторных ограничений, описанных в предшествующих разделах.

Материалы и методы исследования. Основу предлагаемой системы составляет геопортальная платформа, реализующая функции пространственной инфраструктуры данных для территориально распределённой организационной системы [20]. Платформа обеспечивает централизованное хранение, каталогизацию, предоставление и визуализацию пространственно привязанной информации и выступает единой точкой доступа к компонентам системы поддержки принятия решений [21] для всех участников управленческого контура – от аналитиков и операторов до лиц, принимающих решения.

Геопортальная программная платформа как система поддержки принятия решений. Ядром платформы является банк пространственных слоёв, организованный по тематическому принципу. Слои формируются по основным предметным областям, значимым для управления ТРОС: природные условия и процессы (рельеф, гидрография, климатические характеристики, почвенный покров, растительность); инфраструктура (транспортные сети, энергетические объекты, объекты связи, инженерные коммуникации); социально-экономические характеристики (расселение, объекты социальной сферы, показатели хозяйственной деятельности); административно-территориальное деление и нормативные зоны. Каждый слой снабжается метаданными, описывающими источник, дату актуализации, пространственное разрешение и порядок обновления, что обеспечивает прослеживаемость и воспроизводимость аналитических результатов.

В Республике Мордовия доступ к пространственным данным и связанным материалам обеспечивается через веб-ресурсы экосистемы РГО. Портал meta.rgo.life предоставляет доступ к системе тематических слоёв различного содержания. Геопортал map.rgo.life предоставляет пользователям удобную работу с интерактивной картой, позволяя про-

смаивать характеристики пространственно распределенных объектов природного, исторического и культурного наследия. Архитектура геопортальной программной платформы, на основе которой функционируют геопорталы, построена на принципах модульности и разделения ответственности, позволяет легко расширять функциональность системы, добавляя новые модули, такие как риск-ориентированное ядро и сценарный анализ, без необходимости изменения основной инфраструктуры данных. На рис. 1 представлена структурно-компонентная схема архитектуры геопортальной платформы, которая служит основой для эффективного управления рисками в ТРОС. Ключевые элементы архитектуры включают:

- 1) Центры хранения пространственных данных (ЦХПД), позволяющие хранить и обеспечивать доступ к пространственно-временной информации для мониторинга рисков и оперативного корректирования управления ими.
- 2) Модули анализа и синтеза данных, использующие методы анализа рисков для обновления информации и поддержания проактивного управления рисками и позволяющие на основе собранных данных разрабатывать сценарии и принимать решения.
- 3) Геопортальные системы, обеспечивающие функционирование интерфейсов для взаимодействия с пользователями и сторонними системами, посредством предоставления прозрачности и доступа к актуальной информации для принятия обоснованных решений в рамках риск-ориентированного подхода.

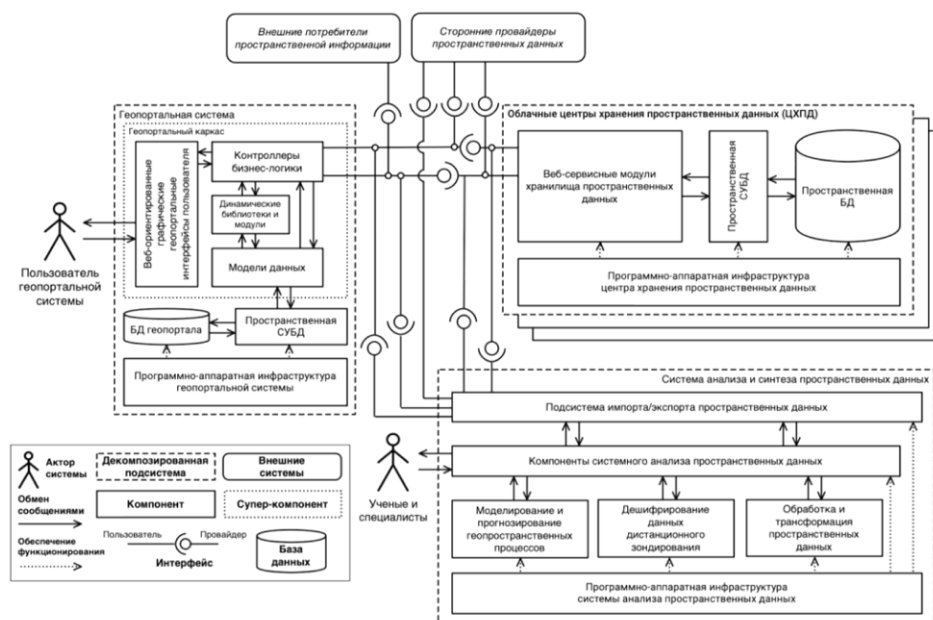


Рис. 1. Структурно-компонентная схема архитектуры геопортальной платформы

В рамках геопортальной платформы функционирует набор прикладных модулей, которые обеспечивают риск-ориентированную поддержку управленческих решений в ТРОС. Архитектура системы основывается на интеграции нескольких ключевых компонентов, которые взаимодействуют для оптимизации процессов управления рисками (рис. 2). На первой стадии данные о ТРОС поступают из различных источников, таких как пространственные базы данных, системы мониторинга IoT, SCADA, ERP, системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), источники метеорологической информации. Эти данные затем проходят через ETL-процесс (извлечение, преобразование и загрузка), который обрабатывает информацию, подготавливая её для последующего использования в системе.

ИПД служит центральным компонентом, который управляет хранилищем и распространением пространственно привязанных данных и метаданных, обеспечивает доступ к данным и их распространение по системе, предоставляя информацию для всех после-

дующих модулей. Полученные данные передаются в модуль риск-анализа, который позволяет ранжировать и систематизировать риски и их влияние на территорию, выявляя зоны повышенной уязвимости и предоставляя основу для дальнейшего прогнозирования.

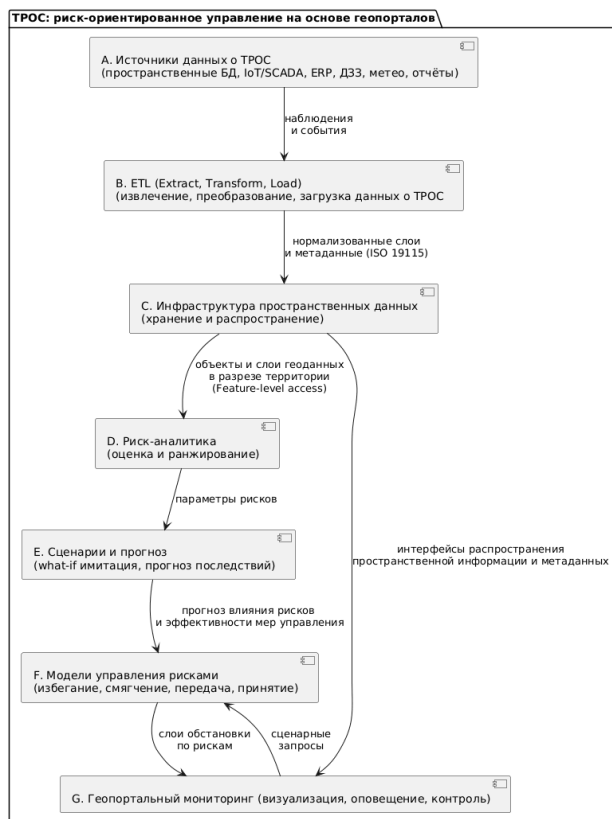


Рис. 2. Структурно-компонентная схема архитектуры геоportальной платформы

В составе риск-ориентированного ядра выделяется реестр рисков с пространственной привязкой, где каждый риск представлен как объект с атрибутами типа, вероятности, тяжести последствий, временных характеристик и территориальной локализации. На основе формальной модели реализуется модуль каскадирования эффектов: оценивается, как реализация отдельных рисков влияет на показатели эффективности, связанные с ними объекты и соседние территории, формируются локальные и агрегированные риск-индексы по подсистемам и зонам ТРОС.

Для прогнозирования возможных последствий управленческих решений используется модуль сценарного анализа, который моделирует различные сценарии, оценивая возможное влияние на активы, услуги и территории.

Модуль управления рисками принимает результаты анализа и определяет эффективность управленческих мер, направленных на предотвращение, смягчение или принятие рисков. Затем, средствами сценарного анализа обеспечивается переход к синтезу решений. ЛПР формирует реестр управляющих воздействий и задаёт сценарии их применения в разных частях ТРОС. Для каждого сценария оценивается влияние на структуру рисков и ключевые показатели эффективности: рассчитываются изменения риска по объектам и территориям.

Средства геоportального мониторинга предоставляют картографический интерфейс для визуализации данных и мониторинга рисков. Он служит точкой взаимодействия с ЛПР, обеспечивая доступ к геопространственным данным и инструментам для оценки рисков, отображая результаты сценарного анализа и управленческих решений. Предложенная ар-

хитектура системы интегрирует различные компоненты для комплексного управления рисками в ТРОС, обеспечивая эффективное получение, обработку и использование данных для принятия обоснованных управленческих решений. Это обеспечивает итеративную адаптацию управленческих решений к изменяющимся условиям и повышает устойчивость управления территориально распределёнными организационными системами.

Источники данных для поддержки принятия решений. Эффективность риск-ориентированной геопортальной системы напрямую зависит от состава и качества данных, которые поступают в неё из различных источников. В рассматриваемой архитектуре выделяются несколько ключевых классов источников, каждый из которых закрывает свой фрагмент картины состояния ТРОС.

Важную роль играют IoT-устройства и сенсорные сети, обеспечивающие мониторинг состояния объектов и среды вблизи реального времени. К таким источникам относятся датчики на инфраструктурных объектах, метеостанции, экологические посты и иные измерительные узлы, передающие данные по легковесным протоколам (в том числе MQTT) в коммуникационную подсистему геопортала. Потоки измерений привязываются к пространственным слоям по координатам или идентификаторам объектов, что позволяет формировать динамические карты состояний и аномалий, использовать эти данные в оценках рисков и при анализе эффективности управленческих воздействий. Второй класс источников – данные дистанционного зондирования Земли. Спутниковые снимки и производные от них продукты (индексы, карты покрытия, оценка техногенных изменений) дают возможность наблюдать динамику территорий и выявлять пространственные паттерны на основе средств цифровой обработки сигналов данных и алгоритмов машинного обучения. Третий важный комплект данных формируют государственные реестры и кадастры: адресные и территориальные реестры, сведения ЕГРН, отраслевые и ведомственные базы объектов инфраструктуры и социальной сферы. Четвёртую группу образуют экспертные и статистические данные, результаты обследований и аудитов, статистические формы отчётности, а также экспертные оценки вероятностей и последствий рисков, которые не могут быть напрямую измерены датчиками или получены из открытых реестров. Такие данные часто имеют качественный или интервальный характер и требуют специальной обработки при интеграции с формальными моделями и количественными показателями.

Интеграция перечисленных источников в единую систему опирается на ряд общих принципов. Во-первых, проводится нормализация форматов и схем данных: задаются единые справочники, системы координат, типовые структуры атрибутов, что позволяет объединять сведения из разнородных систем. Во-вторых, обеспечивается временная синхронизация: фиксируются моменты измерений и обновлений, вводятся процедуры согласования данных с разной периодичностью и задержками. В-третьих, реализуются механизмы обработки неполноты и рассогласованности данных: допускается наличие пробелов, вводятся правила приоритета источников, используются методы аппроксимации и оценивания, позволяющие принимать решения в условиях неоднозначной информации.

Обобщённая архитектурная схема риск-ориентированной СППР в ТРОС. В обобщённом виде архитектура риск-ориентированной геопортальной системы может быть представлена в виде многослойной схемы, включающей уровни источников данных, инфраструктуры хранения и обработки, прикладных аналитических модулей и пользовательских интерфейсов. На нижнем уровне располагаются источники данных: сенсорные сети и IoT-устройства, системы дистанционного зондирования, государственные реестры и кадастры, а также экспертные и статистические массивы, поступающие в систему через специализированные загрузчики и интеграционные шины.

Над ними формируется слой инфраструктуры пространственных данных, обеспечивающий хранение и каталогизацию слоёв, управление метаданными, базовые сервисы доступа и геообработки. Следующий уровень занимает прикладная аналитика: риск-ориентированное ядро (реестр рисков, каскадирование эффектов, расчёт риск-индексов), витрины ключевых показателей эффективности и OLAP-модули, а также инструменты сценарного анализа, работающие с пространственно привязанными объектами и показателями. Верхний уровень образуют пользовательские интерфейсы – геопортальная карта, панели мониторинга, формы настройки сценариев и отчётные представления, обеспечивающие взаимодействие аналитиков и ЛПР с системой.

Потоки данных между компонентами организованы в соответствии с логикой управленческого цикла. Сведения, поступающие из источников, проходят этапы предварительной обработки, нормализации и геопривязки и помещаются в хранилища пространственных и управленческих данных. На их основе формируются актуальные профили рисков и оценивается влияние рисков на показатели, витрины ключевых показателей эффективности агрегируют и структурируют метрики по территориям и подсистемам, а сценарный модуль рассчитывает последствия возможных управляющих воздействий. Результаты анализов возвращаются в интерфейсы пользователя в виде карт, таблиц и панелей мониторинга, после чего принятые решения и их фактическая реализация порождают новые данные, вновь поступающие на нижний уровень и замыкающие контур.

Архитектура напрямую связана с формальной моделью, представляемой в следующем разделе. Множество объектов управления, рисков, показателей и управляющих воздействий, описанных в модели, реализуется в виде соответствующих сущностей в хранилище и риск-ориентированном ядре. Граф связей «территориальный объект – риск – показатель эффективности – управленческое воздействие» отображается в архитектуре в виде конфигурации модулей и потоков данных между ними, а процедуры каскадирования эффектов и синтеза решений соответствуют алгоритмам, реализованным в аналитическом уровне системы. Таким образом, архитектурная схема задаёт техническую основу для воплощения формальной модели риск-ориентированного управления ТРОС в работоспособной геопортальной системе.

Риск-ориентированная модель управления. Для формализации риск-ориентированной модели введём следующие множества. Пусть V – множество объектов управления (элементов ТРОС: площадки, участки сети, учреждения и т.п.). Через R обозначим множество рисков, связанных с этими объектами; через K – множество ключевых показателей эффективности, по которым оценивается состояние системы и качество управления. Множество U отведём под управляющие воздействия (решения), реализуемые в системе. Пространственная привязка при этом задаётся не отдельным множеством «локусов», а как атрибут объектов и рисков: каждому объекту $v \in V$ сопоставляются координаты (точка, линия, полигон) и/или принадлежность административной или иной зоне.

Каждый риск $r \in R$ описывается типом, оценками вероятности реализации и тяжести последствий, временными характеристиками (горизонт анализа, длительность воздействия), а также ссылкой на тот набор объектов $V_r \subseteq V$, для которых данный риск релевантен. Для каждого показателя $k \in K$ задаются шкала и единицы измерения, допустимые диапазоны значений, пороговые уровни и правила нормировки, позволяющие сопоставлять неоднородные показатели в рамках интегральных оценок. Управляющие воздействия $u \in U$ характеризуются типом (организационное, ресурсное, инфраструктурное, режимное), параметрами интенсивности, ресурсной стоимостью и множеством объектов $V_u \subseteq V$, на которых они реализуются.

Связи между элементами задаются в виде ориентированных графов и матриц смежности. Отношение «объект – риск» фиксирует, какие риски потенциально реализуются на конкретных объектах; отношение «риск – показатель» описывает, на какие ключевые показатели эффективности влияет реализация данного риска и с какой направленностью. Аналогично, отношение «управляющее воздействие – риск» задаёт, какие риски модифицируются при применении воздействия u , а отношение «управляющее воздействие – показатель эффективности» – как оно отражается на значениях соответствующих ключевых показателей эффективности. Эти структуры далее используются для формального описания каскадирования эффектов рисков и процедур выбора управленческих воздействий.

Для оценки локального влияния рисков на показатели вводятся функции $E(R_{i,j,t})$, описывающие вероятность или интенсивность влияния риска r_i на показатель k_j в момент времени t , и веса $W(R_{i,j,t})$, отражающие относительную значимость этого влияния в интегральной оценке. Локальный вклад риска r_i в изменение показателя k_j может определяться как произведение функции влияния и веса, а суммарное влияние на показатель – как агрегирование вкладов по всем релевантным рискам.

Каскадирование влияний по структуре системы описывается с помощью матриц переходов, задающих, как изменение состояния одного объекта или показателя передается на другие элементы. Для этого формируются операторы, которые трансформируют вектор локальных оценок рисков на уровне отдельных объектов в векторы оценок для связанных объектов, показателей и уровней управления. Повторное применение операторов в соответствии с иерархией системы позволяет моделировать распространение эффектов риска по сети объектов и по уровням управления.

Нормировка показателей и оценок рисков выполняется путем приведения их к безразмерным или сопоставимым шкалам с учётом целевых, пороговых и предельных значений. На основе нормированных значений вычисляются интегральные индексы рисков по объектам, подсистемам и системе в целом с использованием заданных правил агрегирования «снизу вверх» (от объекта к подсистеме, далее к системе). При этом могут применяться взвешенные суммы, свёртки или другие агрегирующие функции, согласованные с целями управления.

Для выбора приоритетов формулируются критерии и правила ранжирования объектов, рисков и управляющих воздействий по степени значимости для системы. В ранжировании учитываются ограничения ресурсов, допустимые уровни изменения показателей и требования к целевым значениям ключевых показателей эффективности, что позволяет выделить наиболее критические комбинации «объект – риск – воздействие» для первоочередного управления.

Множество управляющих воздействий $U = \{u_1, \dots, u_p\}$ включает решения разных типов: организационные, ресурсные, инфраструктурные, режимные и т.п. Каждое воздействие u_j описывается набором параметров $A(u_j, t) = \{C_t, ER_t, K_t\}$: стоимость/ресурсоёмкость C_t , вектор эффектов на риски ER_t (как меняются вероятности и/или ущерб по рискам во времени) и вектор целевых показателей эффективности K_t , а также привязкой к тем объектам системы, где оно может быть реализовано.

Соответствие «воздействие-риск» задаётся отображением $u_j \rightarrow r_i$, для которого определяются функции $E(R_{i,j,t})$, показывающие, как применение воздействия u_j изменяет реализацию риска r_i во времени (снижение вероятности, ущерба, скорости нарастания и т.д.). Соответствие «воздействие-показатель» описывается через веса $w_{i,j}^U$ и правила, по которым изменение набора рисков под действием u_j трансформируется в изменение значений ключевых показателей эффективности, в том числе с учётом пространственного распределения объектов, на которых это воздействие применяется.

Набор управляющих воздействий (сценарий) представляется подмножеством $U_s \subseteq U$, для которого рассчитываются агрегированные эффекты на риски и показатели. Для каждого сценария вычисляются новые индексы рисков на объектах и для системы в целом, проверяются ограничения по ресурсам (суммарная стоимость, доступность ресурсов) и нормативам (допустимые уровни риска и отклонения показателей эффективности). На основе сравнения сценариев по интегральным критериям (снижение риска, достижение целевых значений ключевых показателей эффективности при заданных ресурсных ограничениях) формируется множество приоритетных решений, рекомендуемых к реализации.

Сущности риск-ориентированной модели отображаются в геопортал в виде пространственных слоёв и атрибутов. Объекты управления и связанные с ними риски представляются как точечные, линейные или площадные объекты на карте, сгруппированные по тематическим слоям, а ключевые показатели эффективности фиксируются как их атрибуты и используются для построения тематических карт и изолиний значений показателей. Управляющие воздействия задаются как сценарные слои и инструменты геопортала, позволяющие включать или отключать те или иные решения и видеть их ожидаемые эффекты в пространстве.

Потоки данных «модель-карта» обеспечивают загрузку рассчитанных индексов рисков, значений ключевых показателей эффективности и приоритетных зон вмешательства в геопортал. На карте визуализируются уровень риска по объектам, «горячие» зоны по ключевым показателям, а также результаты моделирования сценариев управления, что позволяет анализировать пространственное распределение последствий решений.

Обратная связь «карта-модель-управление» реализуется через интерактивные инструменты геопортала. Пользователь выбирает на карте интересующие объекты и территории, формирует или запускает сценарии управленческих воздействий, после чего принятые решения и фактические данные (обновлённые показатели, подтверждённые события рисков) записываются обратно в модель для последующей переоценки рисков и адаптации управляющих воздействий.

Подсистема хранения пространственных и атрибутивных данных поддерживает слои объектов и рисков, вычислительный контур реализует процедуры расчёта индексов рисков и сценарного анализа, а витрины данных и web-интерфейс отвечают за визуализацию карт, показателей эффективности и управление сценариями. Такое разнесение ролей позволяет интегрировать риск-ориентированную модель в существующую геопортальную инфраструктуру без дублирования функций и с возможностью масштабирования.

Реализация и пример применения. Риск-ориентированная модель не остаётся абстрактной конструкцией, а реализуется в виде работающего геопортального решения. В качестве технологической базы используются открытые геопорталы Русского географического общества, что позволяет опереться на уже сформированный банк пространственных данных и существующие пользовательские интерфейсы.

Геопортал meta.rgo.life реализует систему «Метагеосистемы Мордовии. Пространственные данные региона» и используется как витрина пространственной информации о природных, социальных и хозяйственных системах республики. На нём аккумулируются и публикуются тематические слои о ландшафтах, инфраструктуре, природных и антропогенных объектах, что делает его рабочим инструментом для исследователей, органов управления и экспертов, которым нужна согласованная картографическая основа региона. Геопортал map.rgo.life реализует систему «Природное и культурное наследие Мордовии. Путешествуем с Русским географическим обществом» и служит пользовательским web-клиентом для интерактивной работы с картой. Через него пользователь просматривает объекты наследия, маршруты, описания и мультимедийный контент, а в рамках риск-ориентированного прототипа – включает специализированные слои, анализирует показатели и запускает сценарии управления непосредственно с карты.

Тем самым риск-ориентированный модуль встраивается в действующую экосистему пространственных сервисов Отделения Русского географического общества в Республике Мордовия. Это упрощает тиражирование решений, снижает порог входа для пользователей и обеспечивает прямую связь между научными моделями и практикой территориального управления.

Логическая схема данных прототипа риск-ориентированного модуля опирается на уже сформированный набор слоёв геопорталов meta.rgo.life и map.rgo.life, которые используются как источники пространственного контекста и атрибутивных данных. Входные данные модуля включают несколько групп слоёв. К первой группе относятся базовые подложки («Базовая карта», гибридные и спутниковые изображения, OSM, рельеф), обеспечивающие картографическую основу и используемые для визуальной интерпретации результатов. Ко второй группе относятся природно-географические и геоэкологические слои: геологические карты (стратиграфические комплексы от неогена до каменноугольной системы), четвертичные отложения, литологический состав поверхностных отложений, почвы и их эколого-геохимическая устойчивость, водоносные горизонты и характеристики подземных вод (глубина залегания, тип, класс, содержание ключевых компонентов), а также слои, отражающие проявления опасных геологических процессов (оползни, водопроявления) и изменения природной среды (например, утрата леса за 2000–2021 гг.).

Третью группу составляют слои, характеризующие освоение территории и инфраструктуру: населённые пункты, дорожная сеть (федеральные, региональные и районные дороги), объекты особо охраняемых природных территорий, участки недр и полезных ископаемых, потенциально пригодные земли, многоквартирные дома с атрибутами этажности и года ввода в эксплуатацию, административное деление по районам. Дополнительные слои map.rgo.life, отражающие объекты природного и культурного наследия,

туристические маршруты и структуру расселения, используются для детализации уязвимых элементов и уточнения контуров зон повышенной значимости. На основе композиции этих слоёв формируются множества объектов анализа и агрегирования (районы, функциональные зоны, типы территорий), для которых впоследствии рассчитываются риск-индикаторы и показатели эффективности.

Встраивание сущностей «риск – показатель эффективности – управляющее воздействие» в описанную структуру реализуется в виде надстройки над базовыми слоями. Каждый тип риска связывается с подмножеством природных и техногенных факторов, считаваемых из указанных тематических слоёв: например, геоэкологические риски задаются комбинациями литологии, свойств почв и параметров подземных вод, риски опасных геологических процессов – связью с зонами оползней, склонов определённой крутизны и близости к долинам рек, техногенные риски – сочетаниями плотности застройки, возраста жилого фонда, конфигурации транспортной и инженерной инфраструктуры. На этой основе формируются картографированные поля риск-индикаторов, привязанные к выбранным единицам анализа (ячейки регулярной сетки, контуры районов, окрестности объектов).

Ключевые показатели эффективности описывают состояние и управляемые свойства системы на различных уровнях агрегирования. Часть показателей определяется на уровне территориальных единиц (районов, муниципальных образований) как функции от пространственного распределения рисков и характеристик освоения территории: интегральный риск-индекс, доля площадей с высокими классами природной опасности, показатели нагрузки на инфраструктуру, качество среды проживания. Другая часть показателей эффективности формируется на уровне выделенных объектов или групп объектов (например, типов населённых пунктов или функциональных зон), где учитываются как риск-индикаторы, так и структурные параметры (возраст и состояние фонда, плотность застройки, наличие особо ценных природных и культурных объектов). Все ключевые показатели эффективности хранятся в атрибутивных таблицах соответствующих слоёв и могут визуализироваться в виде тематических карт.

Управляющие воздействия трактуются как сценарии изменения части входных слоёв и их атрибутов в заданных пространственных пределах. В простейшем случае воздействие задаётся как комбинация операций над группой объектов или территорий (реконструкция или ограничение застройки, изменение режима использования земель, внедрение природоохранных мероприятий, модернизация инфраструктуры), для которой фиксируется ожидаемый эффект в терминах изменения параметров риска и показателей эффективности. На уровне логики прототипа это реализуется через задание набора целевых модификаций исходных слоёв, запуск процедур пересчёта риск-индикаторов и показателей эффективности для затронутых территорий, а затем публикацию результатов в виде новых сценарных слоёв. Таким образом, элементы триады «риск – показатель эффективности – управляющее воздействие» интегрируются с существующей геопортальной инфраструктурой: риски вычисляются как функции от тематических слоёв, показатели эффективности агрегируют эти оценки на уровне управляемых единиц, а управляющие воздействия описываются как пространственно локализованные сценарии изменений, проверяемые в картографической форме.

Техническая реализация риск-ориентированного модуля опирается на уже существующую инфраструктуру пространственных данных и геопортальные интерфейсы. Модель развёртывается в виде серверного модуля (сервиса приложений), связанного с хранилищем пространственных данных, используемым в meta.rgo.life. Это позволяет обращаться к единым справочникам слоёв и атрибутов, выполнять выборки по территории и объектам, а также записывать результаты расчётов в виде новых таблиц и представлений, не дублируя картографическую основу. Серверный модуль реализует процедуры расчёта риск-индикаторов, агрегирования показателей эффективности и оценки эффектов управляющих воздействий, обмениваясь данными с хранилищем по стандартным интерфейсам доступа к пространственным данным.

Результаты вычислений публикуются для клиентского геопортала в форме веб-сервисов и слоёв, которые могут быть непосредственно подключены в карту. Для риск-индексов и сценарных расчётов формируются тематические слои с геометрией, согла-

сованной с базовыми слоями (районы, объекты, ячейки сетки), и атрибутами, описывающими уровни риска и значения показателей «до» и «после» применения сценария. Эти слои доступны через стандартные картографические сервисы и могут подключаться в web-интерфейс как отдельные группы слоёв, переключаемые пользователем. Сценарные результаты представляются либо как отдельные слои для каждого сценария, либо как многослойные представления с возможностью выбора сценария через атрибутные фильтры.

Пользовательские интерфейсы прототипа обеспечивают полный цикл работы с риск-ориентированной моделью в картографической форме. В web-клиенте доступны: выбор и загрузка сценария из справочника (например, набор управляющих воздействий для конкретного района), включение и отключение тематических слоёв с риск-индексами и ключевыми показателями эффективности, просмотр значений показателей в атрибутах объектов и на панелях показателей, фильтрация территорий по порогам риска и целевым значениям показателей эффективности. Пользователь может сравнивать несколько сценариев на одной и той же карте, анализировать карты «до/после», а также формировать отчётные представления на основе выбранных слоёв и панелей. Таким образом, техническая реализация объединяет серверный расчётный модуль, интегрированный с хранилищем пространственных данных, и лёгкий web-клиент, который предоставляет ЛПР доступ к картам, сценариям и показателям эффективности без необходимости работать напрямую с кодом или базами данных.

Результаты и их обсуждение. В качестве пилотной области рассмотрена региональная система управления развитием и природопользованием Республики Мордовия, где пространственные решения напрямую влияют на устойчивость среды проживания, состояние природных комплексов и эффективность инфраструктуры. Отраслевой фокус примера охватывает, с одной стороны, задачи территориального планирования и размещения хозяйственной деятельности, а с другой – управление экологическими и техногенными рисками, связанными с состоянием ландшафтов, водных ресурсов и жилищно-коммунальной инфраструктуры.

Пространственные границы организационной системы задаются контуром субъекта Российской Федерации и входящих в него муниципальных районов, которые выступают базовыми единицами агрегирования показателей и сопоставления управленческих сценариев. Внутри этих границ выделяются ключевые агломерации и зоны концентрации населения и производства, для которых важно оценивать не только локальные, но и транзитивные эффекты рисков (перетекание нагрузок между территориями, влияние инфраструктурных узлов на окружающее пространство).

В пилотном примере объектом управления выступает региональная система «территория-население-хозяйство» Республики Мордовия. Состояние этой системы описывается через совокупность пространственных объектов: элементы жилищного фонда, транспортную и инженерную инфраструктуру, особо охраняемые природные территории, участки недропользования, ландшафты и водные объекты, сгруппированные внутри административных районов и муниципальных образований. Районы используются как основные пространственные агрегаты, по которым задаются целевые значения показателей и сопоставляются альтернативные сценарии. Субъектами управления являются региональные и муниципальные органы власти и подведомственные им структуры, принимающие решения о размещении и модернизации инфраструктуры, режимах использования территорий и мероприятиях по снижению природных и техногенных рисков.

В пилотной постановке риск-ориентированной модели используются несколько групп данных, уже представленных в геопортальной инфраструктуре.

Во-первых, задействованы базовые пространственные слои, обеспечивающие картографический каркас анализа: административные границы субъекта и муниципальных образований, населённые пункты, дорожная сеть разных уровней, рельеф и гидрография. Эти данные задают геометрию объектов и территорий, по которым далее рассчитываются частные и интегральные оценки риска и агрегируются показатели.

Во-вторых, в модель включены природно-геологические и геоэкологические слои. К ним относятся стратиграфические и литологические карты (геология, четвертичные отложения, литологический состав поверхностных отложений), почвы и их экологи-

геохимическая устойчивость, характеристики подземных и грунтовых вод (глубина залегания, тип, класс, содержание основных компонентов), а также данные о зонах опасных процессов и утрате леса. Эта группа слоёв описывает природную основу территории и служит источником факторов, формирующих природные и геоэкологические риски.

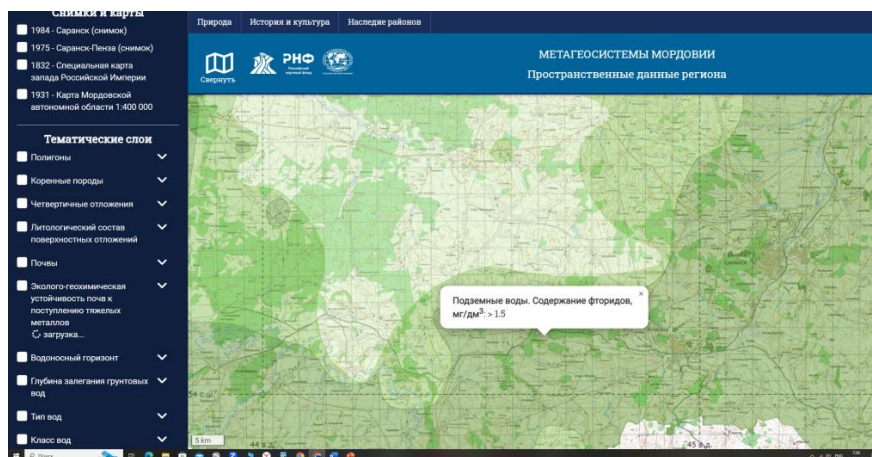
В-третьих, используются социально-экономические и отраслевые слои, отражающие освоение территории и размещение инфраструктуры. В их число входят данные о жилищном фонде (например, этажность и год ввода в эксплуатацию многоквартирных домов), объектах хозяйственной деятельности, особо охраняемых природных территориях, участках недропользования и потенциально пригодных землях. Эти слои позволяют идентифицировать уязвимые объекты и зоны, характеризовать нагрузку на инфраструктуру и связывать пространственные риски с параметрами социально-экономического развития.

Формируемая модель опирается на ограниченный, но показательный набор классов рисков. К природным и геоэкологическим рискам относятся, прежде всего, процессы и состояния, непосредственно связанные с природной основой территории: вероятность подтопления и затопления отдельных участков, наличие и активность оползневых процессов, распространение почв с неблагоприятными свойствами и низкой эколого-геохимической устойчивостью, а также ухудшение качества подземных и грунтовых вод (по глубине залегания, типу, классу и содержанию загрязняющих компонентов). Эти риски формируются на пересечении геологических, почвенных и гидрогеологических слоёв с объектами освоения территории. К техногенным и инфраструктурным рискам отнесены угрозы, связанные с состоянием и режимом эксплуатации элементов хозяйственной и социальной инфраструктуры. В пилоте учитываются, в частности, риски, обусловленные аварийностью и старением жилищного фонда, перегрузкой транспортной сети на отдельных направлениях, а также потенциальные негативные воздействия на объекты природного и культурного наследия вследствие интенсивного освоения или неблагоприятных сочетаний природных и техногенных факторов. Такой набор позволяет продемонстрировать, как в единой геопортальной среде связываются природные и антропогенные источники опасности при оценке совокупной уязвимости территорий.

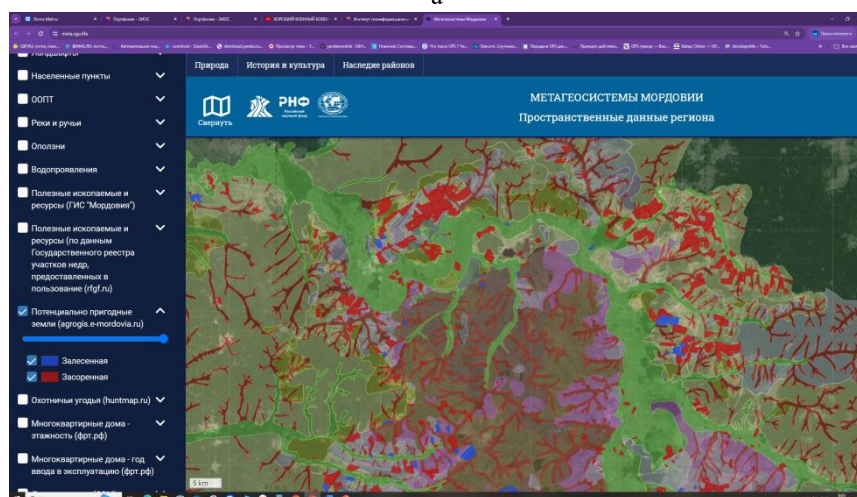
Набор ключевых показателей подбирался не абстрактно, а под конкретные управленческие задачи регионального уровня. Он должен одновременно отражать уровень совокупного риска для территории и давать понятные ориентации по качеству среды и устойчивости пространной организации хозяйства. Во-первых, для территориальных единиц (районов, агломераций) рассчитываются интегральные оценки риска как свёртки по выбранным группам природных и техногенных рисков. Для каждого района агрегируются частные индикаторы (например, доля площади в зонах опасных процессов, доля населения и объектов в неблагоприятных условиях, характеристики инфраструктуры), после нормирования они объединяются в безразмерный интегральный индекс, позволяющий ранжировать территории по уровню совокупной уязвимости. Во-вторых, формируются показатели качества среды и устойчивости, дополняющие интегральный риск. К ним относятся доля населения и доля площади, приходящиеся на зоны повышенного риска, показатели нагрузки на инфраструктуру (например, насыщенность объектами и сетью при заданных ресурсах), а также индикаторы обеспеченности особо охраняемыми природными территориями и другими элементами природного каркаса.

В рамках построения риск-ориентированной модели особое внимание уделяется пространственной вариативности природно-геологических факторов. Содержание химических элементов в водоносных горизонтах, распределение литологических комплексов и устойчивость почв существенно влияют на вероятность возникновения природных и техногенных рисков, а также на показатели доступности ресурсов и надежности инфраструктуры. Пространственное представление этих данных предоставляет ЛПР возможность выявлять критические зоны и формировать сценарии управленческих воздействий с учётом локальных особенностей. Визуализация концентрации фторидов в контексте других природных и геоэкологических слоёв (рис. 3,а) позволяет выявлять локальные зоны повышенной уязвимости и интегрировать их в риск-ориентированные сценарии управления.

На рис. 3,б показана совместная визуализация цифровой почвенной карты и слоя потенциально пригодных земель Республики Мордовия, демонстрирующая пространственную дифференциацию пригодности почв и наличие критических зон с ограниченной ресурсной устойчивостью.



а



б

Рис. 3. Анализ рисков на основе визуализации системы тематических слоев:
а – распределение концентрации фторидов в водоносном карбонатном горизонте,
б – диагностика пригодности земель на основе наложения тематических слоёв

Представленные графические интерфейсы демонстрируют, как пространственные данные могут быть встроены в риск-ориентированную систему поддержки решений для ТРОС. Зоны с низкой природной устойчивостью и ограниченной пригодностью земель могут быть сопоставлены с объектами инфраструктуры, транспортной и социальной сети, что позволяет формализовать локальные риски и оценивать влияние управленческих воздействий на ключевые показатели эффективности.

Заключение. В традиционной практике значительная часть решений принимается постфактум, после обнаружения проблемы; в предложенном подходе анализ рисков с предварительной оценкой последствий на карте позволяет заблаговременно выявлять уязвимые зоны и формировать превентивные мероприятия. Существенно сокращается число ситуаций, в которых локальные проблемы обнаруживаются слишком поздно из-за того, что пространственные взаимосвязи между объектами, факторами и рисками оставались за пределами аналитического горизонта лица, принимающего решение.

Практическая апробация описанного подхода позволяет выделить несколько групп наблюдаемых эффектов. Включение пространственных ограничений и оценок риска в контур планирования ведёт к перераспределению нагрузки и ресурсов между территориальными единицами. Там, где ранее решения принимались без учёта пространственной неоднородности условий, нагрузка концентрировалась на отдельных объектах и районах, а после введения сценарного анализа с территориальной привязкой пиковые значения показателей по критическим объектам снижаются за счёт целенаправленного перераспределения мероприятий и ресурсов. Одновременно возрастает предсказуемость динамики показателей: решения формируются с явным учётом того, какие территории находятся в зонах повышенного риска и какие ограничения из этого вытекают, что сокращает разброс фактических значений относительно плановых.

Внедрение геопортальной программной платформы реализовано в ряде организаций с обеспечением достижения целевых эффектов. Внедрение программного комплекса на предприятии ООО «ЭМ-КАТ» (ГК «Оптикэнерго»), для оптимизации технологических процессов позволило снизить расходы на потребление электроэнергии в пределах 4%, что повлияло на общую эффективность работы предприятия. Также автоматизация процессов уменьшила количество ошибок и ускорила работу сотрудников в ТРОС.

Геопортальная программная платформа была успешно интегрирована в работу Федеральной инновационной площадки «Цифровые технологии в образовании для планирования устойчивого развития регионов». В результате использования предложенных алгоритмов и методов, удалось сократить время разработки геопортальных решений на 61% и снизить стоимость внедрения на 71%, что значительно повысило эффективность использования системы в образовательных процессах. Так, значительную эффективность решение показало при создании цифрового Атласа Астраханской области.

Кроме того, результаты внедрения геопортальной платформы были реализованы в рамках проектной работы с Русским географическим обществом. В этом контексте система интегрировалась в работу по созданию интерактивных карт и автоматизации процесса оценки и анализа природных и культурных объектов. Внедрение этой системы привело к значительному увеличению точности и оперативности принятия управленческих решений в области территориального планирования и природоохранной деятельности. Внедрение системы в Главное управление МЧС Республики Мордовия позволило оптимизировать управление территориями, повысить предсказуемость рисков и улучшить использование информационных технологий для реагирования на чрезвычайные ситуации.

Таким образом, внедрение разработанных решений в различных областях и организациях способствовало не только улучшению управления ресурсами и повышению эффективности, но и оптимизации процессов принятия решений на разных уровнях, что в целом повысило устойчивость территориально распределённых систем к внешним воздействиям и улучшило качество управления.

Наконец, общая пространственная картина и единый расчётный контур меняют организацию взаимодействия между подразделениями. Когда все участники управленческого процесса опираются на одну и ту же карту с одними и теми же слоями, оценками и результатами сценариев, время согласования сокращается, а содержательная дискуссия смещается от спора о данных к обсуждению приоритетов и вариантов действий. Дополнительно формируется документированная база обоснований: каждое решение привязано к конкретному сценарию, набору показателей и территориальному контуру, что повышает прозрачность управленческих действий и упрощает отчётность перед надзорными и вышестоящими органами.

Проведённое исследование продемонстрировало эффективность интеграции риск-ориентированного подхода в геопортальные системы поддержки принятия управленческих решений для территориально распределённых организационных систем. Разработанная архитектура платформы обеспечивает единую пространственную и модельную основу, объединяя данные о состоянии объектов, инфраструктуры, природных и социальных факторов с формализованными структурами рисков, ключевыми показателями эффективности и набором управляющих воздействий.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках НИР «Создание лаборатории искусственного интеллекта» по программе социально-экономического развития Республики Мордовия на 2022-2026 гг.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бурков В.Н., Буркова И.В., Губко М.В. [и др.]. Механизмы управления: управление организацией: планирование, организация, стимулирование, контроль. – М.: Ленанд, 2013. – 215 с.
2. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. – М.: ЛЕНАНД, 2022. – 500 с.
3. Ямашкин С.А. Управление территориально распределенными организационными системами на основе риск-ориентированного подхода // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2025). – М.: ИПУ РАН, 2025. – С. 884-896.
4. Дранко О.И., Новиков Д.А., Райков А.Н., и др. Управление развитием региона: моделирование возможностей. – М.: ЛЕНАНД, 2023. – 432 с.
5. Бурков В.Н., Новиков Д.А., Щепкин А.В. Механизмы управления эколого-экономическими системами. – М.: ООО Издательская фирма "Физико-математическая литература", 2008. – 244 с.
6. Ямашкин С.А. Управление организационными системами на основе пространственно-ориентированных систем поддержки принятия решений // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2025. – Т. 13, № 4 (51). – DOI 10.26102/2310-6018/2025.51.4.055.
7. Кулагин В.П. Качественные рассуждения на геоданных // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2018. – № 6 (10). – С. 77-83.
8. Васильев С.Н., Макаров А.А., Пирузян Л.А. [и др.]. Управление развитием крупномасштабных систем. – М.: ООО Издательская фирма "Физико-математическая литература", 2012. – 494 с.
9. Трахтенгерц Э.А., Степин Ю.П., Андреев А.Ф. Компьютерные методы поддержки принятия управленческих решений в нефтегазовой промышленности. – М.: Синтез, 2005. – 582 с.
10. Кошкарев А.В., Тикунов В.С., Тимонин С.А. Картографические web-сервисы геоportалов: технологические решения и опыт реализации // Пространственные данные: в информационных, кадастровых и геоинформационных системах. – 2009. – № 3. – С. 6-12.
11. Цыганов В.В. Механизмы развития транспортной инфраструктуры в сложных климато-географических условиях // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2020. – № 2 (16). – С. 3-7.
12. Львович Я.Е., Львович И.Я., Чопоров О.Н. [и др.]. Оптимизация цифрового управления в организационных системах. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр, 2021. – 191 с.
13. Черемисина Е.Н., Спивак Л.Ф., Спивак И.Л. Информационно-аналитическое обеспечение ситуационного центра управления территорией // Геоинформатика. – 2013. – № 3. – С. 1-7.
14. Yamashkin S., Yamashkin A., Radovanović M. [et al.]. Risk-Oriented Geoportal Systems and the Internet of Things as a Tool for Managing Metageosystems // International Journal of Engineering Trends and Technology. – 2023. – 71 (11). – P. 159-170.
15. Вакуленко Д.В., Кравец А.Г. Спектральная классификация космоснимков агроландшафта на основе ранжирования каналов наибольшей информативности // Геоинформатика. – 2022. – № 3. – С. 15-29.
16. Ямашкин С.А. Управление в организационных системах на основе пространственных данных: Геопортальный подход // Современные наукоемкие технологии. – 2023. – № 3. – С. 57-61.
17. Цвиркун А.Д. Управление развитием крупномасштабных систем в новых условиях // Проблемы управления. – 2003. – № 1. – С. 34-43.
18. Бурлов В.Г., Горелов С.А., Грачев М.И. Геоинформационные системы и вопросы управления в особых условиях // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. – 2017. – № 3 (21). – С. 68-70.
19. Бершадский А.М., Бождай А.С. Концепция мониторинга комплексной инфраструктуры территории: монография. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2010.
20. Патент № 2818866. Российская Федерация, МПК G06F 17/40. Геопортальная платформа для управления пространственно-распределенными ресурсами: № 2023124548: заявл. 25.09.2023; опубл. 06.05.2024 / С.А. Ямашкин, М.В. Баландин; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Цифровые Геосистемы".
21. Трахтенгерц Э.А. Компьютерные системы поддержки принятия управленческих решений // Проблемы управления. – 2003. – № 1. – С. 13-28.

REFERENCES

1. Burkov V.N., Burkova I.V., Gubko M.V. [i dr.]. Mekhanizmy upravleniya: upravlenie organizatsiye: planirovanie, organizatsiya, stimulirovanie, kontrol' [Management mechanisms: organization management: planning, organization, stimulation, control]. Moscow: Lenand, 2013, 215 p.
2. Novikov D.A. Teoriya upravleniya organizatsionnymi sistemami [Theory of organizational systems management]. Moscow: LENAND, 2022, 500 p.

3. Yamashkin S.A. Upravlenie territorial'no raspredelennymi organizatsionnymi sistemami na osnove risk-orientirovannogo podkhoda [Management of geographically distributed organizational systems based on a risk-oriented approach], *Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnykh sistem (MLSD'2025)* [Management of the development of large-scale systems (MLSD'2025)]. Moscow: IPU RAN, 2025, pp. 884-896.
4. Dranko O.I., Novikov D.A., Raykov A.N., i dr. Upravlenie razvitiem regiona: modelirovanie vozmozhnostey [Regional development management: modeling possibilities]. Moscow: LENAND, 2023, 432 p.
5. Burkov V.N., Novikov D.A., Shchepkin A.V. Mekhanizmy upravleniya ekologo-ekonomicheskimi sistemami [Mechanisms for managing ecological and economic systems]. Moscow: OOO Izdatel'skaya firma "Fiziko-matematicheskaya literatura", 2008, 244 p.
6. Yamashkin S.A. Upravlenie organizatsionnymi sistemami na osnove prostranstvenno-orientirovannykh sistem podderzhki prinyatiya resheniy [Management of Organizational Systems Based on Spatially-Oriented Decision Support Systems], *Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii* [Modeling, Optimization and Information Technology], 2025, Vol. 13, No. 4 (51). DOI 10.26102/2310-6018/2025.51.4.055.
7. Kulagin V.P. Kachestvennye rassuzhdeniya na geodannykh [Qualitative reasoning on geodata], *ITNOU: Informatsionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii* [Information Technologies in Science, Education and Management], 2018, No. 6 (10), pp. 77-83.
8. Vasil'ev S.N., Makarov A.A., Piruzyan L.A. [i dr.]. Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnykh sistem [Managing the development of large-scale systems]. Moscow: OOO Izdatel'skaya firma "Fiziko-matematicheskaya literatura", 2012, 494 p.
9. Trakhtengerts E.A., Stepin Yu.P., Andreev A.F. Komp'yuternye metody podderzhki prinyatiya upravlencheskikh resheniy v neftegazovoy promyshlennosti [Computer methods for supporting management decision-making in the oil and gas industry]. Moscow: Sinteg, 2005, 582 p.
10. Koshkarev A.V., Tikunov V.S., Timonin S.A. Kartograficheskie web-servisy geoportalov: tekhnologicheskie resheniya i opyt realizatsii [Cartographic web services of geoportals: technological solutions and implementation experience], *Prostranstvennye dannye: v informatsionnykh, kadastrykh i geoinformatsionnykh sistemakh* [Spatial Data: in Information, Cadastral and Geoinformation Systems], 2009, No. 3, pp. 6-12.
11. Tsyganov V.V. Mekhanizmy razvitiya transportnoy infrastruktury v slozhnykh klimato-geograficheskikh usloviyakh [Mechanisms for the development of transport infrastructure in complex climatic and geographical conditions], *ITNOU: Informatsionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii* [Information Technologies in Science, Education and Management], 2020, No. 2 (16), pp. 3-7.
12. L'vovich Ya.E., L'vovich I.Ya., Choporov O.N. [i dr.]. Optimizatsiya tsifrovogo upravleniya v organizatsionnykh sistemakh [Optimization of digital management in organizational systems]. Voronezh: Izdatel'sko-poligraficheskiy tsentr, 2021, 191 p.
13. Cheremisina E.N., Spivak L.F., Spivak I.L. Informatsionno-analiticheskoe obespechenie situatsionnogo tsentra upravleniya territoriei [Information and analytical support for the situational center of territorial management], *Geoinformatika* [Geoinformatics], 2013, No. 3, pp. 1-7.
14. Yamashkin S., Yamashkin A., Radovanović M. [et al.]. Risk-Oriented Geoportal Systems and the Internet of Things as a Tool for Managing Metageosystems, *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 2023, 71 (11), pp. 159-170.
15. Vakulenko D.V., Kravets A.G. Spektral'naya klassifikatsiya kosmosnimkov agrolandshafta na osnove ranzhirovaniya kanalov naibol'shey informativnosti [Spectral classification of space images of agricultural landscapes based on ranking of the most informative channels], *Geoinformatika* [Geoinformatics], 2022, No. 3, pp. 15-29.
16. Yamashkin S.A. Upravlenie v organizatsionnykh sistemakh na osnove prostranstvennykh dannykh: Geoportal'nyy podkhod [Management in organizational systems based on spatial data: Geoportal approach], *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern Science-intensive Technologies], 2023, No. 3, pp. 57-61.
17. Tsvirkun A.D. Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnykh sistem v novykh usloviyakh [Management of the development of large-scale systems in new conditions], *Problemy upravleniya* [Problems of Management], 2003, No. 1, pp. 34-43.
18. Burlov V.G., Gorelov S.A., Grachev M.I. Geoinformatsionnye sistemy i voprosy upravleniya v osobykh usloviyakh [Geographic information systems and management issues in special conditions], *Informatsionnye tekhnologii i sistemy: upravlenie, ekonomika, transport, pravo* [Information Technologies and Systems: Management, Economics, Transport, Law], 2017, No. 3 (21), pp. 68-70.
19. Bershadskiy A.M., Bozhday A.S. Kontseptsiya monitoringa kompleksnoy infrastruktury territorii: monografiya [Concept of monitoring the complex infrastructure of the territory: monograph]. Penza: Izd-vo PGU, 2010.

20. Yamashkin S.A., Balandin M.V. Patent № 2818866. Rossiyskaya Federatsiya, MPK G06F 17/40. Geoportal'naya platforma dlya upravleniya prostranstvenno-raspredelemnymi resursami: № 2023124548: zayavl. 25.09.2023: opubl. 06.05.2024; zayavitel' Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennost'yu "TSifrovye Geosistemy" [Patent No. 2818866. Russian Federation, IPC G06F 17/40. Geoportal platform for managing spatially distributed resources: No. 2023124548: declared 09.25.2023; published 05.06.2024; applicant Limited Liability Company "Digital Geosystems"]].
21. Trakhtengerts E.A. Komp'yuternye sistemy podderzhki prinyatiya upravlencheskikh resheniy [Computer systems for supporting management decisions], *Problemy upravleniya* [Problems of Management], 2003, No. 1, pp. 13-28.

Бершадский Александр Моисеевич – Пензенский государственный университет; e-mail: bam@pnzgu.ru; г. Пенза, Россия; тел.: +78412666535; д.т.н.; профессор кафедры «Системы автоматизированного проектирования»; Заслуженный деятель науки РФ.

Ямашкин Станислав Анатольевич – Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва; e-mail: yamashkinsa@mail.ru; г. Саранск, Россия; тел.: +79271821716; к.т.н.; доцент; зав. лабораторией искусственного интеллекта.

Bershadsky Alexander Moiseevich – Penza State University; e-mail: bam@pnzgu.ru; Penza, Russia; phone: +78412666535; dr. of eng. sc.; professor, Department of Computer-Aided Design; Honored Scientist of the Russian Federation.

Yamashkin Stanislav Anatolyevich – National Research Ogarev Mordovia State University; e-mail: yamashkinsa@mail.ru; Saransk, Russia; phone: +79271821716; cand. of eng. sc.; associate professor; head of Artificial Intelligence Laboratory.