

# Разработка проектно-ориентированной инфраструктуры пространственных данных с применением облачных технологий

С. А. Ямашкин<sup>1</sup>, А. А. Ямашкин<sup>2</sup>, С. А. Федосин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт электроники и светотехники, ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», Саранск, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», Саранск, Россия

В статье поднимается вопрос проектирования, разработки и внедрения проектно-ориентированных инфраструктур пространственных данных (ИПД), формирующих информационное пространство для решения актуальных задач в области экономики, экологии, социальной сферы, подготовки предынвестиционной, градостроительной, предпроектной, проектной документации, прогнозирования стихийных процессов. Приводится исследование истории становления инфраструктур пространственных данных в России и мире. На базе анализа исторического ландшафта проблемной области выделены системные компоненты ИПД: пользователи и специалисты, данные, технологии, стандарты, нормативные базы и институциональные механизмы. Предложена архитектура платформенного решения для построения ИПД, сведенная в структурно-компонентную схему и основанная на гипотезе о том, что для оптимизации процессов хранения и практического использования пространственных данных проектно-ориентированная ИПД должна содержать слабозацепленные и высокосвязанные подсистемы хранения пространственных данных (облачные или локальные хранилища), модули анализа и синтеза, а также визуализации и распространения пространственных данных (в виде геопортальных систем).

**Ключевые слова:** инфраструктура пространственных данных, геопорталы, облачные технологии

*Для цитирования:*

Ямашкин С. А., Ямашкин А. А., Федосин С. А. Разработка проектно-ориентированной инфраструктуры пространственных данных с применением облачных технологий // Радиопромышленность. 2019. Т. 29, № 3. С. 79–90. DOI: 10.21778/2413-9599-2019-29-3-79-90

© Ямашкин С. А., Ямашкин А. А., Федосин С. А., 2019



# Development of project-oriented spatial data infrastructure using cloud technologies

S. A. Yamashkin<sup>1</sup>, A. A. Yamashkin<sup>2</sup>, S. A. Fedosin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Electronics and Lighting, Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia

<sup>2</sup>Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia

The article includes the issues of design, development and introduction of project-oriented spatial data infrastructures (SDIs) that build the information space to solve pressing challenges in economy, ecology, social services, in the field of preparation of pre-investment, urban planning, pre-project, project documentation, and natural disaster forecasting.

It also provides an overview of a historical development of spatial data infrastructures in Russia and in the world. Based on an analysis of a historical landscape within the challenging area, authors have identified the following system components of SDIs: users and professionals, data, technologies, standards, regulatory frameworks, and institutional procedures. There is a proposed platform solution architecture to build SDI, summarized in a form of a structure-component scheme. It rests upon the hypothesis that in order to optimize spatial data storage and application-related processes, the project-oriented SDI needs to include loosely bound and closely bound subsystems for spatial data storage (cloud or local storages), analysis and synthesis modules, as well as modules for visualization and distribution of spatial data (as geoportal systems).

**Keywords:** spatial data infrastructure, geoportals, cloud solutions

*For citation:*

Yamashkin S. A., Yamashkin A. A., Fedosin S. A. Development of project-oriented spatial data infrastructure using cloud technologies. Radio industry (Russia), 2019, vol. 29, no. 3, pp. 79–90. (In Russian). DOI: 10.21778/2413-9599-2019-29-3-79-90

## Введение

Процесс формирования условий для устойчивого развития и эффективного решения глобальных и региональных эколого-социально-экономических проблем сопряжен с необходимостью анализа больших информационных массивов, содержащих данные о пространственно-временной структуре природного потенциала, населения и экономики [1]. Создаваемое информационное пространство оптимизирует разработку проектных решений в области экономики, экологии, социальной сфере, при подготовке предынвестиционной, градостроительной, предпроектной, проектной документации; организации экологического мониторинга состояния геотехнических систем [2]. Инфраструктура пространственных данных (ИПД) – комплексная система, объединяющая в себе распределенное хранилище пространственных данных и метаданных, программно-аппаратные информационные узлы и геосервисы, обеспечивающие возможность получения, хранения, визуализации и распространения геопро пространственной информации [3] для реализации внутренних и внешних информационных потребностей в научных и прикладных проблемных областях. Геопорталы являются частью ИПД, которая обеспечивает доступ к геопро пространственным данным в Интернете для пользователей из разных областей.

Задача повышения эффективности процессов распространения, визуализации и поиска простран-

ственно-временных данных в рамках ИПД с использованием геопортальных систем может быть решена при помощи проектно-обоснованного подхода к получению пространственно-временных данных на основе данных о решаемой задаче, времени и местоположении. Проектный подход применяется в проблемных областях, где накопленные знания сложны для моделирования, но хорошо изучены опытным путем. При проектной ориентации поставленные задачи решаются на основе результатов и опыта, полученных при решении предыдущих проблем и адаптированных в свете проблематики текущего проекта. В свою очередь, каждое новое работающее решение обогащает накапливаемый опыт.

## Исторический ландшафт вопроса создания проблемно-ориентированных ИПД

Начиная с 1995 г. государственные и коммерческие организации во всем мире инвестировали сотни миллионов долларов в реализацию инфраструктур пространственных данных [4]. При разной степени зрелости проработки вопроса создания эффективных ИПД в разных странах сегодня сохраняется значительный уровень усилий, направленных на разработку программно-аппаратных каркасов ИПД и расширение сферы их приложения. Большое внимание уделяется повышению качества услуг ИПД путем улучшения технических аспектов функционирования процессов управления и анализа про-

странственно-временных данных. В ранних определениях [5] выражено мнение, что ИПД должны были обеспечивать среду, в которой частные и правительственные организации, в том числе на уровне государств, взаимодействуют посредством технологических платформ для стимулирования деятельности по направлениям использования, управления и производства геопространственных данных. В первоисточниках описаны и структурные компоненты национальных ИПД: источники пространственных данных, базы данных, сети, технологии связанные со сбором, управлением и представлением данных, институциональные механизмы, нормативные базы и стандарты, а также конечные пользователи.

В обзоре инициатив ИПД первого поколения в 1990-х гг. [6] выделены две доминирующие причины ранних усилий, прилагаемых к созданию ИПД в развитых странах: растущая важность геопространственной информации в грядущий век цифровых технологий и необходимость эффективной формы государственного вмешательства для координации сбора и доступности данных. В обосновании этих программ упомянуты три цели: содействие экономическому развитию, стимулирование эффективного управления и организация экологической устойчивости.

В распоряжении Белого дома США [7] относительно координации процессов сбора и доступа к географическим данным определены следующие ключевые элементы ИПД: технологии, политики, стандарты и человеческие ресурсы, необходимые для приобретения, обработки, хранения, распространения и улучшения использования геопространственных данных. В Европейском Союзе [8] приняты близкие принципы, причем особый акцент сделан на проектировании и стандартизации восходящих и нисходящих связей между ИПД государств и союза в целом. Этот принцип позже был развит в [9]. В рамках конференции Global Spatial Data Infrastructure [10] провозглашено, что глобальная инфраструктура пространственных данных (GSDI) должна охватывать нормативные базы, организационные аспекты, данные, технологии, стандарты, механизмы предоставления пространственных данных, а также финансовые и человеческие ресурсы, необходимые для обеспечения достижения целей.

В начале 2000-х гг. с развитием web 2.0 стали оформляться первые примеры комплексных руководств, включающих теоретические и практические рекомендации по разработке и внедрению ИПД [11]. В течение первого десятилетия XXI в. концептуализация ИПД начала смещаться в сторону проектно-ориентированного подхода, где акцент сделан на целевом управлении данными [12].

Сегодня крупномасштабные наборы пространственных данных играют особую роль в формирова-

нии новых общественных и экономических связей, реализации концепции «умных городов», национальных проектов, таких как цифровая экономика, минимизации последствий стихийных бедствий. Внедряемые ИПД характеризуются свойством проектной ориентации. Так, например, основной движущей силой для развития ИПД в Японии (<http://www.gsi.go.jp>) была потребность в информации для поддержки инфраструктуры реагирования на чрезвычайные ситуации; в Малайзии (<http://www.mygeoportal.gov.my>) – для поддержки эффективного планирования и разработки ресурсов; в Швейцарии (<https://www.geo.admin.ch>), Германии (<http://www.geoportal.de>), Франции (<https://www.geoportail.gouv.fr>) – для повышения эффективности работы региональных и местных органов власти [6]. За прошедшие годы программы и приоритеты ИПД были уточнены с ориентацией на различные правительства и организации.

Процессы внедрения ИПД, национальных и ведомственных геопорталов в России находятся на стадии становления [13]. В распоряжении Правительства РФ от 21 августа 2006 г. № 1157-р «О Концепции создания и развития инфраструктуры пространственных данных РФ» были предложены меры по созданию и развитию инфраструктуры пространственных данных Российской Федерации. Свои геопорталы имеет ряд регионов России (<https://atlas.mos.ru>, <http://karta.tatar.ru>, <https://tourismportal.net>): с помощью них координируются поиск и рациональное использование природных ресурсов, территориальное и отраслевое планирование и управление хозяйством, мониторинг социального и экологического состояния региона, комплексные научные исследования.

### Ключевые компоненты ИПД

Анализ истории и современного состояния вопроса построения эффективных ИПД позволяет выделить следующие системные компоненты ИПД:

- пользователи и специалисты. Компонент отражает потенциал и возможности содействия разработке, реализации и устойчивости ИПД в рамках государства, организации или рынка. В [14] отмечено, что «взаимодействие людей и данных в управлении для поддержки принятия решений и достижения целей устойчивого развития является центральным в концепции ИПД». В современной облачной вычислительной среде эффективные и простые в использовании онлайн-сервисы функционируют на базе сложных систем и процессов. В результате организации и общества, которые разрабатывают, поддерживают ИПД и управляют ими, разделяют общее требование к высококвалифицированному персоналу, работающему в области информацион-

ных технологий, способному проектировать и поддерживать функционирование графических и программных интерфейсов, пространственных баз данных, программных каркасов. Неотъемлемая часть компонента – конечные пользователи, заинтересованные в эффективном взаимодействии с ИПД, в том числе посредством геопорталов;

- данные. Ключевые наборы пространственных данных в ИПД представляют собой «базовые непосредственно наблюдаемые или записываемые данные, к которым другие данные пространственно привязаны и из которых другие цифровые пространственные данные могут быть получены» [15]. Наборы базовых данных могут включать в себя системы пространственной привязки, данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), графовые сети дорог, гидрологические сети, цифровые модели рельефа, кадастровую и адресную информацию, а также соответствующие метаданные, описывающие наборы данных [11]. Геопропространственные данные представляют собой актив и тактический ресурс для принятия решений во многих областях, таких как управление социальными процессами, повышение эффективности сельского хозяйства, борьба со стихийными бедствиями, общественная безопасность, координация поиска полезных ископаемых, охрана окружающей среды. Количество геопропространственных данных существенно возрастает с момента появления технологий наблюдения Земли [16], поэтому массивы геопропространственных данных часто являются большими (big data);
- технологии. Ранние описания данного компонента ИПД касаются главным образом обеспечения возможности получения пространственных данных посредством программно-аппаратных систем, стандартов и протоколов, необходимых для обеспечения эффективного доступа к большим объемам пространственных данных. Эти технологии вместе обеспечивают «идеальную среду для подключения приложений к данным, влияя как на сбор данных, так и на создание приложений с помощью минимально соответствующих стандартов и политик» [10]. Расширение возможностей веб-технологий в 1990-х гг. сформировало тенденцию к созданию ведомственных и государственных геопорталов [17]. В настоящее время в рамках ИПД применяются гибридные технологии работы с пространственными данными, которые объединяют возможности обработки, хранения, поиска и визуализации данных с использованием облачных технологий для повышения масштабируемости инфраструктуры и услуг, предоставляемых конечным пользовате-

лям. В контексте решения проектных задач в области землепользования, изучения и прогнозирования развития стихийных природных и техногенных процессов особую актуальность приобрело направление создания и повышения эффективности методов и алгоритмов анализа данных ДЗЗ и других пространственных наборов данных средствами машинного, в том числе глубокого, обучения;

- стандарты, нормативные базы и институциональные механизмы. Государственная и частная поддержка международных геопропространственных стандартов является важным компонентом национальных инициатив в области ИПД [18]. К авторитетным организациям, формирующим стандарты в обозначенной проблемной области, следует отнести Открытый геопропространственный консорциум (Open Geospatial Consortium, [18]), Международную организацию по стандартизации (International Standards Organization, [19]), а также структуры, которые вырабатывают стандарты, имеющие значение в рамках конкретных стран и организаций. Стандарты задают язык и правила скоординированного взаимодействия пользователей с программно-аппаратными системами и содержат в себе многолетний экспертный опыт, который можно эффективно использовать при решении проектных задач. Нормативная база и институциональные механизмы формируют среду, стимулирующую спрос на доступ, обмен и использование пространственных данных для повышения эффективности ИПД и ограничивающую доступ к ним для соблюдения нужной конфиденциальности [20]. Они определяют нетехнические аспекты обеспечения права пользователей на доступ к пространственной информации.

### **Формирование архитектуры проектно-ориентированных ИПД**

Анализ истории развития и современного состояния вопроса проектирования платформенных решений в обозначенной области позволил определить базовые архитектурные компоненты ИПД, обозначенные на структурно-компонентной схеме (см. рисунок). Проектирование, разработка, внедрение и использование проектно-ориентированной ИПД должны основываться на конкретных целях и задачах, и предлагаемое архитектурное решение представляет собой базовую систему, которая может быть декомпозирована и расширена для конкретной проблемной области.

Структура платформенного решения определена гипотезой о том, что для оптимизации процессов хранения и практического использования пространственных данных проектно-ориентированная ИПД

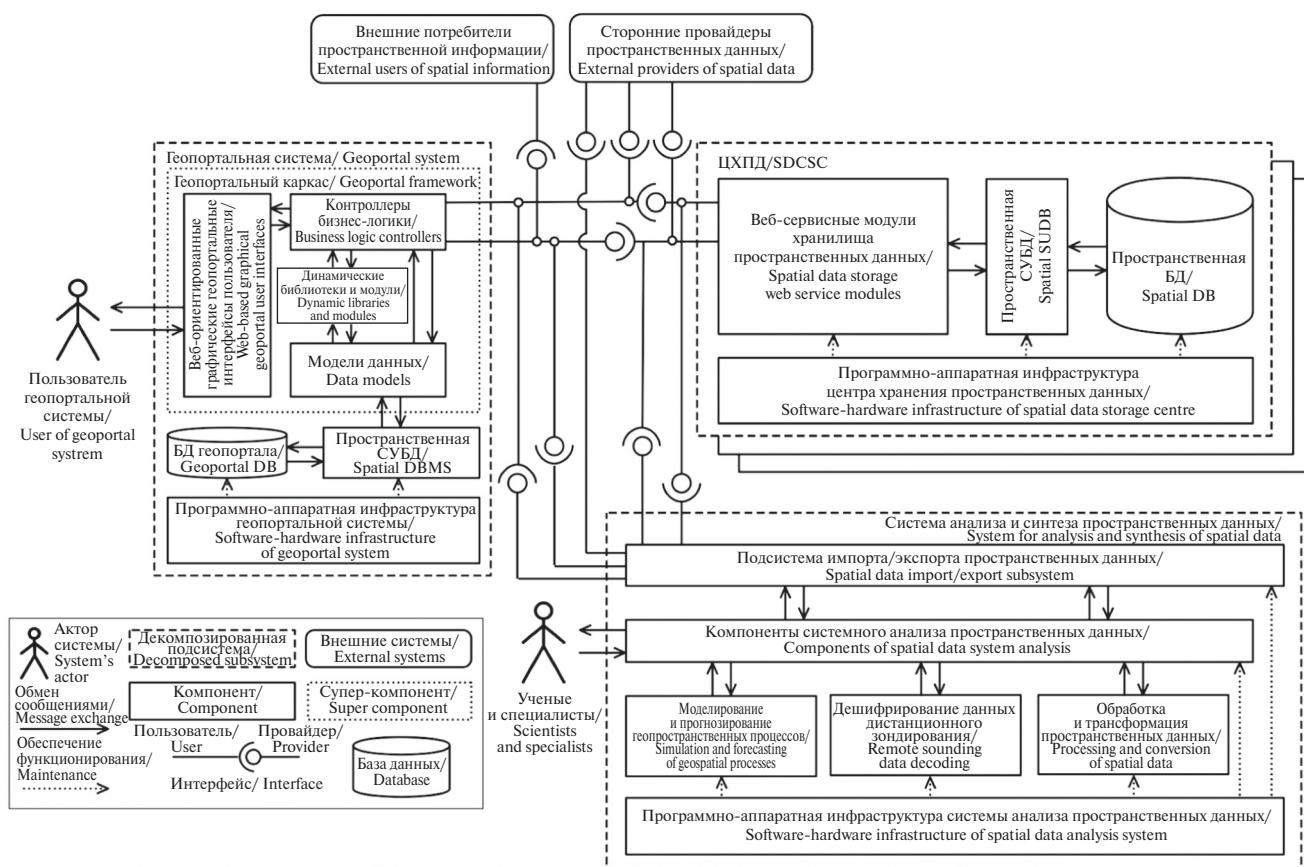


Рисунок. Структурно-компонентная схема инфраструктуры пространственных данных: БД – база данных; СУБД – система управления базами данных; ЦХПД – центр хранения пространственных данных

Figure. Spatial data infrastructure structure-component scheme: DB – database, DBMS – database management system, SDSC – spatial data storage centre

должна содержать связанные за счет интерфейсов системные компоненты: подсистемы хранения пространственных данных (облачные или локальные хранилища), модули анализа и синтеза, а также визуализации и распространения пространственных данных (в виде геопортальных систем). Внешними объектами по отношению к ИПД должны быть ключевые акторы (пользователи геопортальных систем, ученые и специалисты), а также внешние потребители и сторонние провайдеры пространственных данных и информации.

Облачные центры хранения пространственных данных (ЦХПД) должны играть роль системного компонента ИПД, используемого для обеспечения доступа к актуальным пространственно-временным данным при решении проектных задач. Целесообразно выделить следующие компоненты ЦХПД:

- программно-аппаратная инфраструктура центра хранения пространственных данных – платформа, состоящая из физических и виртуальных ресурсов, которая поддерживает функционирование систем передачи, хранения, обработки и анализа простран-

ственных данных. Инфраструктура может быть централизована в пределах центра хранения и обработки данных (ЦХОД) или децентрализована в масштабах частного, публичного или гибридного облака. Роль облачных вычислений меняет способ проектирования и реализации инфраструктуры [21] и позволяет получить доступ к платформенным услугам по модели «Инфраструктура как услуга» (IaaS) без необходимости локализованного развертывания и настройки программно-аппаратных ресурсов. Для создания программно-аппаратной инфраструктуры ЦХПД необходимо следовать формализованному процессу [22], который начинается с анализа и доступа к бизнес-целям, принятия архитектурных и проектных решений, построения и реализации проекта, оптимизации процессов обслуживания инфраструктуры на различных логических уровнях: оборудования, систем хранения данных с вариантами организации доступа SAS (Server Attached Storage), NAS (Network Attached Storage) и SAN (Storage Area Network), физических и виртуальных серверов, а также системного и прикладного программного обеспечения;

- пространственная система управления базами данных (СУБД) и базы пространственных данных. Базы пространственных данных должны обеспечивать хранение данных с пространственно-временной привязкой. Среди пространственных СУБД следует выделить Oracle Spatial, PostgreSQL (PostGIS), Microsoft SQL Server, MySQL, MongoDB. Наличие пространственной СУБД с собственными типами геометрии и встроенными пространственными операторами дает огромные преимущества ЦХПД, который может хорошо интегрироваться с этой пространственной СУБД. Задачи выборки пространственно-временных данных, их системного анализа и визуализации в рамках ИПД взаимосвязаны [23], что накладывает требования и ограничения на структуру хранилища данных. Архитектура пространственной базы данных должна выстраиваться исходя из поставленных проектных задач, решаемых посредством ИПД [24]. В данном контексте важную роль играют такие вызовы, как обеспечение целостного и избыточного хранения необходимой информации, возможности выборки данных по необходимым запросам, документирование структуры данных с использованием концептуальных и логических схем;
- веб-ориентированные модули хранилища пространственных данных, необходимые для обеспечения связи облачных ЦХПД, геопортальной системы и системы анализа и синтеза пространственных данных. В данном контексте актуально использование сервисно-ориентированной стратегии инкапсуляции моделей для совместного использования и интеграции гетерогенных геопро пространственных моделей в открытой интернет-среде [25]. Организация взаимодействия хранилища данных с другими системными модулями в интернет-среде целесообразна с использованием архитектурного паттерна REST, определяющего набор правил и ограничений, которые будут использоваться для создания веб-служб ЦХПД. Архитектура веб-ориентированных модулей должна проектироваться в соответствии с проектными задачами, решаемыми в рамках ИПД и международными геопро пространственными стандартами.
- программно-аппаратная инфраструктура системы анализа пространственных данных должна обеспечивать функционирование систем моделирования, машинного обучения и численных алгоритмов. На практике для эффективной работы инструментов анализа больших объемов данных необходимы высокопроизводительное оборудование и соответствующее методическое, алгоритмическое и программное обеспечение. Важную роль в оптимизации вычислений играют достижения в области программной инфраструктуры [26]. Программный каркас для выполнения алгоритмов анализа пространственных данных формируют языки программирования (Python, MATLAB, C++, Java и др.), а также фреймворки и библиотеки (Deeplearning4j, Theano, TensorFlow, Keras и др.), используемые как платформа для реализации прикладных программных комплексов;
- компоненты системного анализа пространственных данных призваны обеспечить возможность эффективного анализа накопленных пространственных данных и синтеза новых информационных массивов. В области дешифрирования данных ДЗЗ в настоящее время стремительно развивается глубокое обучение (deep learning), которое находит применение в решении проектных задач, требующих обработки и трансформации больших многомерных массивов пространственных данных [27]. Исследование природных и техногенных объектов на базе космической съемки имеет целью решение обратной задачи ДЗЗ, заключающейся в определении свойств исследуемой территории на базе анализа многозональных и гиперспектральных снимков и априорной информации с тестовых участков Земли [28]. Интерпретация данных ДЗЗ позволяет подойти к решению проектных задач в области землепользования, стратегического планирования, моделирования, прогнозирования и анализа последствий природных и техногенных стихийных процессов;
- подсистема импорта/экспорта пространственных данных необходима для решения двух задач: передачи полученных в ходе исследования массивов информации в ЦХПД и базы данных геопортальных систем, а также получения исходных для анализа материалов. Важный момент в эксплуатации данного компонента – следование стандартам представления геопро пространственных данных, описанным ранее.

Система анализа и синтеза пространственных данных вводится для выполнения функции исследования и актуализации накопленной информации с целью принятия обоснованных управленческих решений в рамках проектных задач. Данный компонент ИПД функционирует на базе программно-аппаратной инфраструктуры, позволяющей выполнять программные комплексы системного анализа пространственных данных и обмениваться информацией с другими подсистемами ИПД:

Геопортальные системы (геопорталы) представляют собой внешнюю часть ИПД, выполняющую роль точки доступа к актуальным пространственным данным, и реализуются как веб-порталы, ядром которых выступают инструменты поиска и визуализа-

ции геопространственной информации и предоставления связанных услуг через Интернет [29]. Поставщики геопространственных данных используют геопорталы для публикации и распространения геопространственного контента, потребители – для получения доступа к информации, востребованной в хозяйстве и социальной сфере:

- программно-аппаратная инфраструктура геопортальной системы представляет собой основу, включающую физические и виртуальные ресурсы и поддерживающую функционирование геопортальной системы как веб-приложения, доступного через Интернет (или сеть другого масштаба) [30]. Вследствии того, что геопортал доступен через сеть слабо ограниченному множеству клиентов, необходимо сделать упор на безопасность и устойчивость инфраструктуры к высоким нагрузкам, а также корректность параллельного использования системы;
- пространственная СУБД и база данных геопортала должны обеспечивать хранение данных, определяющих состояние системы и пользовательские настройки. Как и при организации хранилища ЦХПД, база пространственных данных геопортала обеспечивает реляционное и NoSQL хранение данных с пространственно-временной привязкой. Архитектура пространственной базы данных геопортала должна проектироваться исходя из задач, на решение которых ориентирована система, при этом, в отличие от базы данных ЦХПД, акцент должен быть сделан не на хранении больших объемов пространственных данных, а на записи информационных структур, описывающих взаимодействия пользователей с веб-системой и обеспечение конфиденциальности данных;
- геопортальный каркас как шаблон проектирования и реализации системы, определяющий ее архитектуру и структуру, целесообразно разбить на слабозацепленные модули для управления данными, логикой работы и внешним видом: веб-ориентированные графические геопортальные интерфейсы пользователя, контроллеры бизнес-логики, модели данных и сторонние библиотеки.

Анализ существующих геопортальных решений и опыт в проектировании и разработке веб-ориентированных геоинформационных систем [31] позволяет сформировать перечень опорных пунктов, осмысленное следование которым позволяет подойти к созданию эффективного геопортального каркаса: ориентация на гибкий процесс разработки, решение проблем и достижение целей; необходимость в кроссплатформенных адаптивных веб-интерфейсах; ориентация на будущее в технологиче-

ском и прикладном аспектах; мотивированный отказ от систем управления пространственными данными; использование сторонних компонентов там, где это необходимо. Приведенный перечень опорных пунктов создания эффективных геопортальных систем не является исчерпывающим, однако он включает базовый набор обоснованных правил, без которых разработка эффективных геопортальных решений оказывается под угрозой. В [31] также приведен список функциональных и качественных требований, выполнение которых целесообразно при проектировании подавляющего числа геопортальных решений. Этот перечень может быть дополнен или декомпозирован при решении конкретных задач.

Внешние компоненты ИПД формируются из сторонних потребителей пространственной информации, провайдеров пространственных данных, а также акторов, непосредственно взаимодействующих с инфраструктурой при выполнении логически связанных ролей (пользователей, ученых и специалистов) с прецедентами системы.

С позиции теоретико-множественного представления дадим формализованное описание платформенной архитектуры проектно-ориентированных ИПД.

$$S = \langle C, R, Q, X \rangle,$$

где  $S$  – проектно-ориентированная ИПД как система;  $C$  – набор ключевых компонентов, на которые декомпозируется проектно-ориентированная ИПД. Исходя из сформулированной гипотезы он может быть представлен как  $\langle C_{\text{geoportal}}, C_{\text{storage}}, C_{\text{analysis}} \rangle$ , где  $C_{\text{geoportal}}$  – геопортальная система,  $C_{\text{storage}}$  – облачные центры хранения пространственных данных,  $C_{\text{analysis}}$  – система анализа и синтеза пространственных данных;  $R$  – набор отношений между компонентами ИПД, определяемый особенностями технического и нормативного взаимодействия (данный системный элемент может быть развернуто представлен в виде множества  $\{R(A, B) : A, B \in C, A \uparrow B\}$ ; с целью оптимизации компоненты ИПД должны быть слабо зацеплены и сильно связаны посредством интерфейсов;  $Q$  – набор свойств ключевых компонентов ИПД и отношений  $\langle Q_C, Q_R \rangle = \langle Q_{\text{geoportal}}, Q_{\text{storage}}, Q_{\text{analysis}}, \{R(A, B) : A, B \in C, A \uparrow B\} \rangle$ , определяющих критерии оптимизации процессов хранения и практического использования пространственных данных;  $X$  – набор воздействий с акторами системы  $\langle X_{\text{scientist}}, X_{\text{user}}, X_{\text{provider}}, X_{\text{consumer}} \rangle$ , где  $X_{\text{scientist}}$  – взаимодействие с учеными и специалистами;  $X_{\text{user}}$  – взаимодействие с пользователями геопортальной системы;  $X_{\text{provider}}$  – взаимодействие со сторонними провайдерами пространственных данных;  $X_{\text{consumer}}$  – взаимодействие с внешними потребителями про-

странственных данных. В этой группе системных элементов актуальны качественные и функциональные требования к графическим, консольным и программным интерфейсам взаимодействия систем.

По мере развития проектно-ориентированной ИПД теоретико-множественная формула может трансформироваться, уточняться и детализироваться, отражая взаимодействия между множествами и подмножествами многоуровневых компонентов системы. Для оптимизации процессов хранения и практического использования пространственных данных необходимо выработать критерии эффективности проектируемой ИПД, определяемые следующим образом:

$$P = \langle E, \mathfrak{R}, T \rangle,$$

где  $P$  – показатели эффективности проектно-ориентированной ИПД;  $E$  – набор целевых эффектов системы, определяемый конкретными аспектами применения ИПД;  $\mathfrak{R}$  – ресурсоемкость ИПД при выполнении операций хранения, анализа, распространения и визуализации пространственных данных;  $T$  – временная сложность процессов построения системы, ее модификации, реорганизации и практического использования.

Теоретико-множественный подход к анализу системных свойств, элементов и их связей проектно-ориентированных ИПД позволил выделить опорные моменты, которые являются критическими в вопросе оптимизации процессов хранения и практического использования пространственных данных:

- повышение точности и быстродействия методического, алгоритмического и программного обеспечения процесса анализа пространственных данных и прогнозирования пространственно-временных процессов. Решение этой проблемы возможно посредством разработки и использования новых алгоритмов глубокого машинного анализа;
- внедрение эффективных геопортальных технологий и разработка новых архитектурных паттернов визуализации и распространения пространственно-временных данных на основе современных веб-технологий и поведенческой оптимизации;
- совершенствование систем хранения больших пространственно-временных данных путем разработки новых физических и логических моделей хранилищ, синтеза реляционного и NoSQL подходов, внедрения новых алгоритмов кэширования и индексирования больших информационных массивов;
- разработка систем рекомендаций по созданию и эффективному использованию проектно-ориентированных цифровых ИПД для принятия

управленческих решений в области оптимизации использования природно-техногенных систем.

Комплексная проработка представленных проблемных положений позволит оптимизировать процессы проектирования, разработки, внедрения и эффективного использования проектно-ориентированных ИПД.

### Выводы

Проведен анализ опыта построения проектно-ориентированных инфраструктур пространственных данных и предложена архитектура платформенного решения для построения ИПД, сведенная в структурно-компонентную схему на основе гипотезы о том, что для оптимизации процессов хранения и практического использования пространственных данных проектно-ориентированная ИПД должна содержать слабозацепленные и высокосвязанные за счет интерфейсов системные компоненты: подсистемы хранения, анализа и синтеза, визуализации и распространения пространственных данных. Внешними объектами по отношению к ИПД должны быть ключевые акторы: пользователи геопортальных систем, ученые и специалисты, а также внешние потребители и сторонние провайдеры пространственных данных и информации.

Повышение эффективности системного анализа закономерностей пространственно-временной организации природно-социально-производственных систем посредством внедрения проектно-ориентированных ИПД требует комплексного решения взаимосвязанных задач, направленных на оптимизацию подсистем анализа, хранения и распространения пространственно-временных данных:

- создания и экспериментального обоснования новых методов и алгоритмов комплексной интерпретации данных ДЗЗ, цифровых ландшафтных карт и вспомогательной пространственно-временной информации с использованием глубокого машинного обучения, позволяющих проводить высокоточный автоматизированный мониторинг систем землепользования, природных ресурсов и последствий стихийных бедствий в рамках цифровой ИПД;
- экспериментального исследования системных связей и закономерностей функционирования и развития природно-социально-производственных систем с последующей разработкой новых высокоточных алгоритмов прогнозирования развития пространственно-временных процессов на основе анализа больших массивов ретроспективных, текущих и экспертных данных цифровой ИПД с комплексным применением сверточных и рекуррентных нейронных сетей;



- разработки системы методов хранения и обработки больших массивов пространственно-временных данных в цифровой ИПД с использованием облачных технологий, раскрывающей аспекты эффективной интеграции, оперативной обработки и синтеза актуальных данных с целью их дальнейшего использования при принятии управленческих решений;
- создания новой эффективной архитектуры геопортальной системы визуализации и распространения пространственно-временных данных цифровой ИПД с целью организации фундаментальной основы для получения и системного анализа экспертной информации при принятии управленческих решений в области землепользования, прогнозирования развития природных и техногенных процессов, в том числе стихийных явлений;
- создания системы рекомендаций по проектированию, разработке, внедрению и эффективному использованию проектно-ориентированных цифровых ИПД для принятия управленческих решений в области оптимизации использования природно-техногенных систем и формирования устойчивого развития хозяйства регионов России.

Комплексное решение всех поставленных задач позволит получить систему эффективных методов, алгоритмов и архитектурных паттернов хранения, оперативного анализа и распространения пространственно-временных данных для построения проектно-ориентированных ИПД.

## БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации проекта «Разработка программно-технологической платформы на основе автоматизированных алгоритмов машинного обучения онтологической классификации нормативно-справочной информации (в том числе градиентного бустинга, нейронных сетей) с применением облачных технологий» (Соглашение № 074-11-2018-027 от 11 июля 2018 г.) в рамках Постановления Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 года № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства».

## ACKNOWLEDGMENT

The Russian Ministry of Education and Science financially supported the research under the project “Development of Software Tech Solution on Automated Algorithms for Machine-aided Learning of Ontological Classification of Normative and Reference Information (including Gradient Boosting and Neural Networks) Using Cloud Solutions” (Agreement No. 074-11-2018-027 of July 11, 2018) in compliance with Decree of the Russian Government No. 218 of April 9, 2010 «On Measures of State Support to Development of Cooperation between Russian Higher Educational Institutions and Organizations that Implement Integrated Projects Aimed at Manufacturing of High-tech Products».

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Федосин С. А., Ямашкин С. А. Технологический процесс решения задачи моделирования структуры землепользования на базе данных ДЗЗ // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 6. С. 356–358.
2. Занозин В. В. Картография и геоинформатика как основа геоэкологических исследований // Экология России: на пути к инновациям. 2014. № 9. С. 108–110.
3. Li M., Guo W., Duan L., Zhu X. A case-based reasoning approach for task-driven spatial-temporally aware geospatial data discovery through geoportals. *International Journal of Digital Earth*, 2017, vol. 10, iss. 11, pp. 1146–1165, DOI: 10.1080/17538947.2017.1285968.
4. Trapp N., Schneider U. A., McCallum I., Fritz S., Schill C., Borzacchiello M. T., Heumesser C., Craglia M. A Meta-analysis on the Return on Investment of Geospatial Data and Systems: A Multi-country Perspective. *Transactions in GIS*, 2014, vol. 19, iss. 2, pp. 169–187.
5. McLaughlin J. D. Towards National Spatial Data Infrastructure. In: *Proceedings of the 1991 Canadian Conference on GIS*, 1991, pp. 1–5.
6. Masser I. Changing Notions of a Spatial Data Infrastructure. In: *SDI Convergence: Research, Emerging Trends, and Critical Assessment*. Netherlands Geodetic Commission, 2009, pp. 219–228.
7. Executive Order of the White House. Coordinating Geographic Data Acquisition and Access: The National Spatial Data Infrastructure. Washington, DC: Office of the Press Secretary, The White House, 1994 [Электронный ресурс]. URL: <https://fas.org/irp/offdocs/eo12906.htm> (дата обращения: 16.07.2019).
8. European Commission GI2000-Towards a European Geographic Information Infrastructure (EGII)-A discussion document for consultation with the European GI community, European Commission, 2000 [Электронный ресурс]. URL: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/f4eb6936-b597-4b04-952c-10227be114c2> (дата обращения: 16.07.2019).
9. Directive INSPIRE. Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE). *Official Journal of the European Union*, published on the 25<sup>th</sup> April, 2007, L 108. [Электронный ресурс]. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32007L0002> (дата обращения: 16.07.2019).

10. GSDI. The Global Spatial Data Infrastructure Association Spatial Data Infrastructure Cookbook, 2012 [Электронный ресурс]. URL: [http://www.gsdiassociation.org/images/publications/cookbooks/SDI\\_Cookbook\\_from\\_Wiki\\_2012\\_update.pdf](http://www.gsdiassociation.org/images/publications/cookbooks/SDI_Cookbook_from_Wiki_2012_update.pdf) (дата обращения: 16.07.2019).
11. *Infrastructures*, D. S. D. The SDI cookbook. GSDI/Nebert, 2004 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gsdi.org/docs2004/Cookbook/cookbookV2.0.pdf> (дата обращения: 16.07.2019).
12. *Rajabifard A., Coleman D. J.* Towards Spatial Enablement and Beyond. In *Spatially Enabling Government, Industry and Citizens: Research and Development Perspectives*, Needham, MA: GSDI Press, 2012, pp. 9–22.
13. *Кошкарев А. В., Ротанова И. Н.* Российские научно-образовательные и отраслевые геопорталы как элементы инфраструктуры пространственных данных // *Вестник Новосибирского государственного университета, Серия: Информационные технологии*. 2014. Т. 12, № 4. С. 38–52.
14. *Rajabifard A., Feeney M.-E., Williamson I. P.* Future Directions for SDI Development. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2002, vol. 4, iss. 1, pp. 11–22.
15. *National Research Council.* *Toward a Coordinated Spatial Data Infrastructure for the Nation*. Washington, DC: National Academies Press, 1993, 192 p.
16. *Lee J., Kang M.* Geospatial Big Data: Challenges and Opportunities. *Big Data Research*, 2017, vol. 2, iss. 2, pp. 74–81.
17. *Candela L., Castelli D., Pagan P.* Managing Big Data through Hybrid Data Infrastructures. *ERCIM News*, 2012, iss. 89, pp. 37–38.
18. The OGC's Role in Government & Spatial Data Infrastructure. Open Geospatial Consortium, 2015 [Электронный ресурс]. URL: [https://www.opengeospatial.org/domain/gov\\_and\\_sdi](https://www.opengeospatial.org/domain/gov_and_sdi) (дата обращения: 16.07.2019).
19. *Future Trends in Geospatial Information Management: The Five to Ten Year Vision*. Discussion document published by Ordnance Survey of the United Kingdom at the request of the Secretariat for the United Nations Committee of Experts on Global Geospatial Information Management. Lead Authors: John Carpenter and Jevon Snell, Ordnance Survey, United Nations, New York [Электронный ресурс]. URL: [ggim.un.org/knowledgebase/Attachment1759.aspx?AttachmentType=1](http://ggim.un.org/knowledgebase/Attachment1759.aspx?AttachmentType=1) (дата обращения: 16.07.2019).
20. *Saunders A., Scassa T., Lauriault T. P.* Legal Issues in Maps Built on Third Party Base Layers. *Geomatica*, 2012, vol. 66, iss. 4, pp. 279–290.
21. *Dai W., Qiu L., Wu A. Qiu, M.* Cloud Infrastructure Resource Allocation for Big Data Applications. *IEEE Transactions on Big Data*, 2018, vol. 4, pp. 313–324.
22. *Dahiya D., Mathew S. K.* IT assets, IT infrastructure performance and IT capability: a framework for e-government. *Transforming Government: People, Process and Policy*, 2016, vol. 10, no. 3, pp. 411–433. DOI: 10.1108/TG-07-2015-0031.
23. *Eldawy A., Mokbel M. F., Alharthi S., Alzaidy A., Tarek K., Ghani S.* A mapreduce-based system for querying and visualizing spatio-temporal satellite data. In *2015 IEEE 31st International Conference on Data Engineering (ICDE)*, 2015, pp. 1585–1596. DOI: 10.1109/ICDE.2015.7113427.
24. *Zhao J., Ishikawa Y., Xiao C., Sugiura K.* Histogram Construction for Difference Analysis of Spatio-Temporal Data on Array DBMS. *Lecture Notes in Computer Science on pages*, 2018, pp. 41–52. DOI: 10.1007/978-3-319-92013-9\_4.
25. *Yue S., Chen M., Wen Y., Lu G.* Service-oriented model-encapsulation strategy for sharing and integrating heterogeneous geo-analysis models in an open web environment. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2016, vol. 114, pp. 258–273.
26. *Bengio Y., Courville A., Vincent P.* Representation learning: A review and new perspectives. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI)*, 2013, vol. 35, iss. 8, pp. 1798–1828. DOI: 10.1109/TPAMI.2013.50.
27. *Ямашкин С. А.* Гибридная система анализа данных дистанционного зондирования Земли // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2015. № 4. С. 173–175.
28. *Yamashkin S., Radovanović M., Yamashkin A., Vuković D.* Improving the Efficiency of the ERS Data Analysis Techniques by Taking into Account the Neighborhood Descriptors. *MDPI AG*, 2018, vol. 3, iss. 2, p. 18. DOI: 10.3390/data3020018.
29. *Кошкарев А. В., Тикуннов В. С., Тимонин С. А.* Картографические Web-сервисы геопорталов: технологические решения и опыт реализации // *Пространственные данные*. 2009. № 3. С. 6–12.
30. *Вдовин С. М., Ямашкин С. А., Ямашкин А. А., Зарубин О. А.* Географический портал как модель национального ландшафта // *Вестн. Рязан. гос. ун-та им. С.А. Есенина*. 2016. № 3 (52). С. 146–154.
31. *Yamashkin S. A., Radovanović M. M., Yamashkin A. A., Barmin N. N., Zanozin V. V., Petrović M. D.* Problems of Designing Geoportals Interfaces. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 2019, vol. 24, iss. 1, pp. 88–101. DOI: 10.30892/gtg.24108-345.

## REFERENCES

1. Fedosin S. A., Yamashkin S. A. Technological process of solving the problem of modeling the structure of land use based on remote sensing data. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Povolzhya*, 2014, no. 6. pp. 356–358. (In Russian).
2. Zanozin V. V. Cartography and geoinformatics as the basis for geoeological research. *Ekhnologiya Rossii: na puti k innovaciyam*, 2014, no. 9. pp. 108–110. (In Russian).
3. Li M., Guo W., Duan L. Zhu X. A case-based reasoning approach for task-driven spatial – temporally aware geospatial data discovery through geoportals. *International Journal of Digital Earth*, 2017, vol. 10, iss. 11, pp. 1146–1165, DOI: 10.1080/17538947.2017.1285968.
4. Trapp N., Schneider U. A., McCallum I., Fritz S., Schill C., Borzacchiello M. T., Heumesser C., Craglia M. A Meta-analysis on the Return on Investment of Geospatial Data and Systems: A Multi-country Perspective. *Transactions in GIS*, 2014, vol. 19, iss. 2, pp. 169–187.
5. McLaughlin J. D. Towards National Spatial Data Infrastructure. In *Proceedings of the 1991 Canadian Conference on GIS*, 1991, pp. 1–5.

6. Masser I. Changing Notions of a Spatial Data Infrastructure. In *SDI Convergence: Research, Emerging Trends, and Critical Assessment*. Netherlands Geodetic Commission, 2009, pp. 219–228.
7. Executive Order of the White House. Coordinating Geographic Data Acquisition and Access: The National Spatial Data Infrastructure. Washington, DC: Office of the Press Secretary, The White House, 1994. Available at: <https://fas.org/irp/offdocs/eo12906.htm> (accessed 16.07.2019).
8. European Commission GI2000-Towards a European Geographic Information Infrastructure (EGII)-A discussion document for consultation with the European GI community, European Commission, 2000. Available at: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/f4eb6936-b597-4b04-952c-10227be114c2> (accessed 16.07.2019).
9. Directive INSPIRE. Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE). *Official Journal of the European Union*, published on the 25<sup>th</sup> April, 2007, L 108. Available at <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32007L0002> (accessed 16.07.2019).
10. GSDI. The Global Spatial Data Infrastructure Association Spatial Data Infrastructure Cookbook, 2012. Available at: [http://www.gsdiassociation.org/images/publications/cookbooks/SDI\\_Cookbook\\_from\\_Wiki\\_2012\\_update.pdf](http://www.gsdiassociation.org/images/publications/cookbooks/SDI_Cookbook_from_Wiki_2012_update.pdf) (accessed 16.07.2019).
11. Infrastructures, D. S. D. *The SDI cookbook*. GSDI/Nebert, 2004. Available at: <http://www.gsdi.org/docs2004/Cookbook/cookbookV2.0.pdf> (accessed 16.07.2019).
12. Rajabifard A., Coleman D. J. Towards Spatial Enablement and Beyond. In *Spatially Enabling Government, Industry and Citizens: Research and Development Perspectives*, Needham, MA: GSDI Press, 2012, pp. 9–22.
13. Koshkarev A. V., Rotanova I. N. Russian scientific, educational and sectoral geoportals as elements of spatial data infrastructure. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Informacionnye tekhnologii*, 2014, vol. 12. no 4. pp. 38–52. (In Russian).
14. Rajabifard A., Feeney M.-E., Williamson I. P. Future Directions for SDI Development. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2002, vol. 4, iss. 1, pp. 11–22.
15. National Research Council. *Toward a Coordinated Spatial Data Infrastructure for the Nation*. Washington, DC: National Academies Press, 1993, 192 p.
16. Lee J., Kang M. Geospatial Big Data: Challenges and Opportunities. *Big Data Research*, 2017, vol. 2, iss. 2, pp. 74–81.
17. Candela L., Castelli D., Pagan P. Managing Big Data through Hybrid Data Infrastructures. *ERCIM News*, 2012, iss. 89, pp. 37–38.
18. The OGC's Role in Government & Spatial Data Infrastructure. *Open Geospatial Consortium*, 2015. Available at: [https://www.opengeospatial.org/domain/gov\\_and\\_sdi](https://www.opengeospatial.org/domain/gov_and_sdi) (accessed 16.07.2019).
19. Future Trends in Geospatial Information Management: The Five to Ten Year Vision. Discussion document published by Ordnance Survey of the United Kingdom at the request of the Secretariat for the United Nations Committee of Experts on Global Geospatial Information Management. Lead Authors: John Carpenter and Jevon Snell, Ordnance Survey, United Nations, New York. Accessed March 15, 2013. Available at: [ggim.un.org/knowledgebase/Attachment1759.aspx?AttachmentType=1](http://ggim.un.org/knowledgebase/Attachment1759.aspx?AttachmentType=1) (accessed 16.07.2019).
20. Saunders A., Scassa T., Lauriault T. P. Legal Issues in Maps Built on Third Party Base Layers. *Geomatica*, 2012, vol. 66, iss. 4, pp. 279–290.
21. Dai W., Qiu L., Wu A., Qiu M. Cloud Infrastructure Resource Allocation for Big Data Applications. *IEEE Transactions on Big Data*, 2018, vol. 4, pp. 313–324.
22. Dahiya D., Mathew S. K. IT assets, IT infrastructure performance and IT capability: a framework for e-government. *Transforming Government: People, Process and Policy*, 2016, vol. 10, no. 3, pp. 411–433. DOI: 10.1108/TG-07-2015-0031.
23. Eldawy A., Mokbel M. F., Alharthi S., Alzaidy A., Tarek K., Ghani S. A mapreduce-based system for querying and visualizing spatio-temporal satellite data. In *2015 IEEE 31<sup>st</sup> International Conference on Data Engineering (ICDE)*, 2015, pp. 1585–1596. DOI: 10.1109/ICDE.2015.7113427.
24. Zhao J., Ishikawa Y., Xiao C., Sugiura K. Histogram Construction for Difference Analysis of Spatio-Temporal Data on Array DBMS. *Lecture Notes in Computer Science on pages*, 2018, pp. 41–52. DOI: 10.1007/978-3-319-92013-9\_4.
25. Yue S., Chen M., Wen Y., Lu G. Service-oriented model-encapsulation strategy for sharing and integrating heterogeneous geo-analysis models in an open web environment. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2016, vol. 114, pp. 258–273.
26. Bengio Y., Courville A., Vincent P. Representation learning: A review and new perspectives. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI)*, 2013, vol. 35, iss. 8, pp. 1798–1828. DOI: 10.1109/TPAMI.2013.50.
27. Yamashkin S. A. Hybrid Earth Remote Sensing Data Analysis System. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Povolzh'ya*, 2015, no. 4, pp. 173–175. (In Russian).
28. Yamashkin S., Radovanović M., Yamashkin A., Vuković D. Improving the Efficiency of the ERS Data Analysis Techniques by Taking into Account the Neighborhood Descriptors. *MDPI AG*, 2018, vol. 3, iss. 2, p. 18. DOI: 10.3390/data3020018.
29. Koshkarev A. V., Tikunov A. V., Timonin S. A. Geo-portal cartographic Web services: technological solutions and implementation experience. *Prostranstvennyye dannye*, 2009, no. 3, pp. 6–12. (In Russian).
30. Vdovin S. M., Yamashkin S. A., Yamashkin A. A., Zarubin O. A. Geographical portal as a model of the national landscape. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo universiteta im. S.A. Esenina*, 2016, no. 3 (52), pp. 146–154. (In Russian).
31. Yamashkin S. A., Radovanović M. M., Yamashkin A. A., Barmin N. N., Zanozin V. V., Petrović M. D. Problems of Designing Geoportal Interfaces. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 2019, vol. 24, iss. 1, pp. 88–101. DOI: 10.30892/gtg.24108-345.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Ямашкин Станислав Анатольевич**, к.т.н., доцент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления, Институт электроники и светотехники, ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», 430005, Республика Мордовия, Саранск, ул. Большевистская, д. 68, тел.: +7 (927) 182-17-16, e-mail: yamashkinsa@mail.ru.

**Ямашкин Анатолий Александрович**, д.г.н., профессор, декан географического факультета, ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», 430005, Республика Мордовия, Саранск, ул. Большевистская, д. 68, тел.: +7 (834) 247-48-27, e-mail: yamashkin56@mail.ru.

**Федосин Сергей Алексеевич**, к.т.н., профессор, заведующий кафедрой автоматизированных систем обработки информации и управления, Институт электроники и светотехники, ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», 430005, Республика Мордовия, Саранск, ул. Большевистская, д. 68, тел.: +7 (834) 229-06-03, e-mail: fedosinsa@mrsu.ru.

## AUTHORS

**Stanislav A. Yamashkin**, Ph.D. (Engineering), Associate Professor of the Department of Automated Systems of Information Processing and Control, Institute of Electronics and Lighting, Ogarev Mordovia State University, 68, ulitsa Bolshevistskaya, Saransk, Republic of Mordovia, 430005, Russia, tel.: +7 (927) 182-17-16, e-mail: yamashkinsa@mail.ru.

**Anatoliy A. Yamashkin**, Dr.Sci. (Geography), Professor, Dean of the Geography Faculty, Ogarev Mordovia State University, 68, ulitsa Bolshevistskaya, Saransk, Republic of Mordovia, 430005, Russia, tel.: +7 (834) 247-48-27, e-mail: yamashkin56@mail.ru.

**Sergey A. Fedosin**, Ph.D. (Engineering), Professor, Head of the Department of Automated Systems of Information Processing and Control, Institute of Electronics and Lighting, Ogarev Mordovia State University, 68, ulitsa Bolshevistskaya, Saransk, Republic of Mordovia, 430005, Russia, tel.: +7 (834) 229-06-03, e-mail: fedosinsa@mrsu.ru.

Поступила 10.02.2019; принята к публикации 01.06.2019; опубликована онлайн 21.08.2019.

Submitted 10.02.2019; revised 01.06.2019; published online 21.08.2019.