

# СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

А. И. Алчинов\*, И. Н. Гороховский\*\*, Е. В. Акифьева\*\*\*

\*\*\*Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, г. Москва,

\*\*НИЦ ТГНО 27 ЦНИИ, г. Москва

\*✉ [alchinov46@mail.ru](mailto:alchinov46@mail.ru), \*\*✉ [ginbox@mail.ru](mailto:ginbox@mail.ru), \*\*\*✉ [lenatalka1@mail.ru](mailto:lenatalka1@mail.ru)

**Аннотация.** Поддержка принятия решений при управлении сложными организационными и техническими системами сохраняет свою актуальность в связи с растущей ролью и возможностями географических информационных систем, которые и являются объектом настоящего исследования. Анализируется уровень их представления в мировой и российской среде, особенности их развития, а также основные научные результаты, полученные в Институте проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН. Выделены самые востребованные в сфере хозяйствования технологии и функциональные возможности геоинформационных систем. Геоинформационная система рассмотрена как инструмент обработки и поддержки принятия управленческих решений. Исследованы основные зарубежные и российские геоинформационные системы, основные их характеристики, области применения, тенденции и перспективы развития. Приведены описания геоинформационных технологий и алгоритмов, реализованных в полнофункциональных геоинформационных системах и рассматриваемых как платформы для создания геоинформационных систем различного назначения.

**Ключевые слова:** геоинформационная система, дистанционное зондирование Земли, хранилище данных, облачный сервис, база знаний, моделирование, визуализация, аэрокосмический снимок, интернет вещей, картографический метод исследования, искусственный интеллект, машинное обучение.

## ВВЕДЕНИЕ

Современные географические информационные системы (ГИС) содержат информацию об объектах управления в виде пространственных данных, при обработке которых средствами ГИС можно получить необходимые данные для принятия эффективных управленческих решений. Первые научно-исследовательские и экспериментальные работы по преобразованию традиционных бумажных карт в цифровую форму были начаты в Канаде и далее в США, СССР и в других странах. Одновременно получили развитие методы обработки цифровой информации для картографоматематического моделирования процессов и явлений, а также их отображения на тематических картах.

Геоинформационные системы предоставляют знания о природных явлениях и социально-экономических процессах на основе баз данных и географических знаний в виде компьютерных моделей. При этом ГИС осуществляют сбор, хранение, преобразование, отображение информации, обеспечивают выполнение анализа географической информации и принятие решений для управления исследуемыми объектами и процессами.

В настоящей работе выполнен обзор состояния и тенденций мирового развития ГИС и особенностей проводимых исследований в России с указанием наиболее важных результатов, полученных в Институте проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН (ИПУ РАН) в период возникновения и развития геоинформационных технологий. ГИС-технологии обусловили появление нового направ-

ления в цифровой картографии, связанного с оперативным созданием карт в реальном масштабе времени и их использованием для принятия управленческих решений в разных сферах человеческой деятельности.

В современных условиях ГИС-технологии ускоренно развиваются. Возможности ГИС связаны с использованием разнообразных анимационных модулей, позволяющих получить неожиданные эффекты при отображении. Перемещение картографического изображения по экрану, смена карт в виде кадров, управление отдельными элементами карты сейчас являются новыми формами работы с картографической информацией, включая визуальные эффекты абстрактного представления содержания ГИС в 3D-сценах.

Целью исследования является раскрытие тенденций развития ГИС и перспективных направлений их совершенствования. Для достижения этой цели проведён анализ зарубежных ГИС, указаны особенности российских ГИС и определены тенденции их дальнейшего развития.

Раскрыты существующие технологические схемы построения ГИС с учётом их практической реализации. В рамках данного аналитического обзора рассмотрены только полнофункциональные ГИС, используемые в России.

Исходная гипотеза исследований состоит в том, что развитие параллельных вычислений, облачных технологий и методов обработки больших данных тесно связаны с разработками ГИС нового поколения, поэтому указанные направления исследований и разработок необходимо рассматривать совместно.

Научная новизна проведённых исследований заключается в определении тенденций развития ГИС общего назначения, расширении круга задач путём использования новых возможностей с опорой на результаты развития информационных технологий.

## 1. ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ: ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ, ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ФУНКЦИИ

К настоящему моменту можно выделить несколько периодов развития геоинформационных технологий.

В начальном периоде были выполнены работы по исследованию новых возможностей картографии с использованием электронных вычислительных средств. Важное значение имели научные работы в области картографии по установлению пространственных связей между объектами с пред-

ставлением их количественных характеристик и атрибутивных данных. Основные результаты работ по ГИС были опубликованы в источниках [1–3]. Чарльз Дана Томлин, автор публикации [1] – создатель алгебры карт, словаря и концепции комбинирования картографических данных для формирования новых карт при их геопространственном анализе.

Первой разработанной ГИС является Canada Geographic Information System (CGIS). Это было началом развития геоинформатики. В этой ГИС были успешно реализованы концептуальные и технологические разработки англо-канадского учёного Роджера Ф. Томлинсона, известного своими работами в области применения электронных вычислительных методов и методов хранения, компиляции и оценки картографируемых данных.

Основной функционал одной из первых ГИС предназначался для земельного учёта, проводимого Канадской службой (*Canada Land Inventory*), и получения статистических данных о землях с последующим применением этих данных при разработке планов землеустройства.

Принципиально новыми в этой ГИС были следующие операции:

- Ввод геоданных сканированием.
- Послойное представление картографической информации; это решение о разделении картографической информации на слои заложило основы разделения геопространственной информации о местоположении объектов и описательной информации об этих объектах [2, 3].
- С использованием алгоритмов (Сазерленда – Ходжмана, Вейлера – Азертонна, Холверда, триангуляционных, линейно-узловых и некоторых других алгоритмов пересечения, объединения и разности многоугольников) впервые были разработаны программы построения оверлеев с последующей возможностью выполнения картометрических операций – расчёта площадей и других характеристик полигонов [1]; все эти программы в той или иной мере реализованы примитивами в ГИС, позволяющими по двум или более растрам равных размеров создавать новый слой карты [2, 3].

В зависимости от пространственной окрестности анализа информации в ГИС различают четыре класса операций: локальные, фокусные, глобальные и зональные. Локальные операции работают с отдельными пикселями растровой карты. Фокусные операции работают с пикселями и примыкающими к ним пикселями. Глобальные операции обрабатывают весь слой. Зональные операции связаны с обработкой областей ячеек, имеющих оди-



наковые значения. Операторы, работающие с элементами карты, могут быть объединены для выполнения отдельной определённой процедуры. Возможно их объединение в сценарий при выполнении более сложных задач. Перечисленные выше операторы, а также модуль GRID (ГИС ArcInfo) составили важные компоненты пространственного анализа ГИС.

Алгебра карт позволяет реализовать инструменты Spatial Analyst, операторы и функции для географического анализа растровых данных при реализации простых и сложных выражений алгебры карт. Она в настоящее время интегрирована в Python с возможностью использования всего функционала Python (в том числе модуля ArcPy), а также расширений (модули, классы, функции и их свойства). Например, объект с именем outRas создаётся с помощью инструмента или оператора, указанного справа от знака равенства [4, 5]:

```
from arcpy.sa import *  
outRas = Slope(«indem»).
```

Данное выражение вычисляет уклон для каждой ячейки в наборе данных indem и создаёт объект Raster для сохранения результатов.

В этом же периоде появляются новые более производительные электронные вычислительные машины, цифровые плоттеры, графические дисплеи и другие периферийные устройства. Одновременно создаются формальные методы пространственного анализа и программные средства для управления базами данных. Ввиду использования ГИС в различных отраслях были исследованы принципиальные возможности в пограничных областях знаний и технологий, что обусловило появление автоматизированных систем навигации, управления движением транспортных средств и т. д.

Образовался большой набор разнообразных программных средств, реализованных в виде настольных ГИС. Области применения ГИС благодаря интеграции с различными базами данных, в том числе и непространственными, расширились. Появились сетевые приложения, поддерживающие индивидуальные наборы данных на отдельных компьютерах. Всё это послужило основой для создания распределённых географических данных [6, 7].

Следующий период характеризуется созданием и развитием крупных геоинформационных проектов для решения государственных задач. Например, в США была создана ГИС для переписи населения в виде карты со специальным форматом картографических данных DIME (Dual Independent

Map Encoding). Этот формат включал прямоугольные координаты перекрёстков с разбивкой улиц на отдельные области картографических полей. Адреса граждан были конвертированы в координаты, представленные графическим сегментом улицы (программа POLYVRT). Государственная поддержка разработки и использования DIME-файлов позволила увеличить число исследовательских работ в области использования ГИС. Были исследованы вопросы навигации с картографической поддержкой при управлении городским транспортом. Использование ГИС при переписи населения в США позволило создать атласы нескольких крупных городов США и упрощённых электронных карт для торговых и транспортных компаний.

Третий этап развития ГИС отсчитывается с начала 1980-х гг. и характеризуется активным применением ГИС и их приложений. В условиях развития средств вычислительной техники разработанные программные продукты и их приложения стали доступными для многих пользователей [6].

В этот период были созданы разнообразные программные средства, настольные ГИС получили дальнейшее развитие. Область применения ГИС расширилась благодаря интеграции с базами непространственных данных и появлению сетевых приложений с поддержкой индивидуальных наборов данных на отдельных компьютерах. Появляется понятие о распределённых базах геопространственных, графических и атрибутивных данных.

Доступность и открытость программных средств позволили использовать и модифицировать существующие ГИС. Значительно возросла потребность в различных географических данных. Начинает формироваться мировая геоинформационная инфраструктура, которая продолжает развиваться, особенно сейчас в Китае.

В настоящее время геоинформационная индустрия реализует ГИС-технологии, которые обеспечивают анализ географической информации для поддержки принятия управленческих решений. Множество существующих зарубежных и российских ГИС различаются по некоторым признакам, например по территориальному охвату, уровню управления, предметной области, функциональности.

Последний признак – функциональность – является основным. Так, полнофункциональные ГИС обеспечивают выполнение операций, связанных с визуализацией выбранных объектов, вводом и редактированием растровых данных. Одновременно они поддерживают топологические отношения

между объектами и построение буферных зон, а также работу с различными видами объектов местности, обеспечивая двухстороннюю связь с базой данных и объектами, нанесёнными на карту. Полнофункциональные ГИС обеспечивают также решение различных задач с использованием различных картографических проекций, включая создание новых условных обозначений с выводом на печать полученных результатов.

События, процессы и явления, исследуемые ГИС, могут быть масштабно-независимыми, пространственно-временными и интегрированными.

Рассмотрим полнофункциональные ГИС, в которых наиболее полно реализованы геоинформационные технологии [8–10].

В настоящее время в России используются более двадцати зарубежных и отечественных полнофункциональных ГИС, наиболее общими характеристиками свойствами которых являются следующие:

- реализация на платформе с единой операционной системой;
- поддержка обменных форматов для взаимодействия с другими информационными системами;
- обеспечение работы с растровыми изображениями большинства известных форматов: TIFF, JPEG, GIF, BMP, WMF и PCX;
- обработка атрибутивной информации всех основных баз данных с использованием драйверов ODBC, VDE.

Для сопоставления и сравнения ГИС необходимо выполнить анализ технологий хранения и работы с данными, которые реализуются различными технологическими схемами построения. Особенности реализации зарубежных и российских ГИС-платформ рассмотрены в работах [11–13].

Первая схема представляется одной или несколькими программами, объединёнными в программную систему. Для хранения полученных результатов используется внутренний формат данных. На начальном этапе каждый разработчик ГИС реализовывал собственные форматы хранения данных; они, как правило, были закрытыми.

Вторая основана на технологии клиент – сервер. Имеет программу для конечного пользователя и программу-сервер, которая ведёт базу пространственных данных. В этих технологиях уже начали применять программы для конвертации данных. Например, конверторы из ГИС «Панорама» в ГИС «НЕВА», из ГИС Mapinfo в ГИС «Панорама» и т. д.

Третья – система, построенная по схеме клиент – сервер, которая для хранения пространственных

данных использует системы управления базами данных на базе SQL-серверов (Microsoft SQL Server, Oracle, MySQL, PostgreSQL и т. п.). Этот этап характеризуется наиболее полными и хорошими связями с западными разработчиками программных средств.

Четвёртая базируется на использовании в качестве хранилища пространственных данных расширений для SQL-серверов или Oracle Locator.

Пятая – облачные ГИС, в которых реализованы возможности доступа к данным любого компьютера, имеющего выход в интернет, с организацией совместной работы с пространственными данными. Используется программное обеспечение, работающее как сервис (SaaS), поэтому его можно использовать на любом устройстве, подключённом к интернету. Инфраструктура позволяет расширять круг пользователей, одновременно работающих с созданной картой. При необходимости данные из различных форматов конвертируются в поддерживаемый формат [14, 15]. Пятый, современный этап технологий построения ГИС, характеризуется недостаточными связями с зарубежными разработчиками программного обеспечения.

Вместе с тем, появление новых технологических схем работы с пространственными данными не означает, что их использование будет целесообразным для решения любых задач. Имеется множество прикладных задач с использованием ГИС, эффективное решение которых может быть реализовано по любой технологической схеме. Выбор той или иной схемы определяется решаемой задачей. При работе с разнородными и распределёнными пространственными данными четвёртая и пятая технологические схемы построения ГИС будут наиболее предпочтительными.

Сейчас ГИС обеспечивают работу с базами данных, которые постоянно пополняются и обновляются. Любая карта может быть представлена в трёхмерном виде с возможностью её обзора. Имеющиеся базы данных позволяют определять местоположение объектов, прокладывать маршруты движения транспортных средств, анализировать земельные участки, получать их количественные и пространственные характеристики. Все данные постоянно актуализируются с использованием растровых и векторных источников. Информация формируется послойно с географической привязкой каждого объекта [2]. Все указанные возможности стали реальностью благодаря совместному использованию средств картографии и информационных технологий, которые были развиты за последние годы. На разных технологических схемах построения ГИС используются базовые программ-



ные средства для связи между данными, редактирования и отображения пространственной и атрибутивной информации. Для решения специализированных задач технологии ГИС применяют приложения картографирования, анализа линейных, площадных и высотных объектов местности, текстовой информации, статистической информации, конвертации данных, включая переход от растрового формата к векторному, а также некоторые вспомогательные программы для предварительной обработки данных.

---

## 2. СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЗАРУБЕЖНЫХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, СТАНДАРТЫ ОБМЕНА ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ ДАННЫМИ

---

Наибольшее распространение в России имеют ГИС на платформе ArcGIS компании ESRI, семейство продуктов на платформе GeoMedia корпорации Intergraph и платформе MapInfo Professional компании Pitney Bowes MapInfo [15]. Используются также другие программные продукты на разных платформах отечественной и зарубежной разработки.

Рассматривая программные продукты, создаваемые на разных платформах, будем исходить из следующих положений, которые достаточно точно описывают возможности ГИС.

- Составление карт – основная функция ГИС.
- ГИС-технологии используют методы картографо-математического моделирования для анализа и отображения полученных результатов в динамическом режиме.
- Картографические проекции и системы координат, используемые в картографии, являются основой для локализации координат и атрибутивной информации объектов в базах данных.
- Тематические карты являются основным источником геопро пространственной информации для работы ГИС.
- Стандарты обмена пространственными данными, реализованные в ГИС, обуславливают возможности работы различных географических систем.

После ввода информации она записывается в базы данных с указанием атрибутов – семантики, отображение полученных данных осуществляется на экране дисплея или выводится на печать, например, на плоттер. Устройства ввода, логико-математической обработки и вывода картографической информации образуют систему автоматизи-

зированной картографической системы (АКС), которая является основой любой ГИС для создания тематических карт и их последующего анализа с целью получения данных для поддержки принятия управленческих решений.

Полной автоматизации всех процессов создания карт с соблюдением необходимых требований на сегодняшний день не достигнуто в связи со сложностью математической формализации творческого процесса дешифрирования объектов и явлений для их отображения на картах [16].

Дальнейшее развитие АКС и ГИС связано с использованием трёхмерного моделирования местности и мультимедийных технологий, которые обеспечивают совместную обработку карт и снимков. Следующий шаг развития этих систем был обусловлен использованием новых клиент-серверных и облачных технологий.

Среди множества форматов, применявшихся в разные периоды разработки ГИС, в современных условиях целесообразно использовать стандарты международной организации Open Geospatial Consortium (OGC). Все OGC-стандарты (в настоящее время их насчитывается около 30-ти) открыты для свободного использования. Дизайн стандартов был построен на парадигме веб-сервисов HTTP для взаимодействия на основе сообщений. Затем эти парадигмы были расширены с помощью общего подхода к протоколу SOAP и привязкам к WSDL (язык описания веб-сервисов, основанный на XML). Значительный прогресс был достигнут в определении веб-служб репрезентативной передачи состояний (REST API), который предусматривает предоставление доступа серверного программного обеспечения к данным клиентским приложениям по определённым URL-адресам, например OGC SensorThings API [13].

Здесь необходимо пояснить: веб-сервис – это способ связи между двумя электронными устройствами по сети, а HTTP-сервис позволяет использовать технологии HTML, PHP, JavaScript для предоставления интерфейса пользователю. При этом веб-сервис с возможностью доступа к геоданным в полном объёме реализован во многих ГИС общего назначения.

В настоящее время большинство зарубежных и основных российских разработчиков поддерживают основные стандарты OGC для обмена геопро пространственными данными: OpenGIS Web Map Service (WMS) Implementation Specification – стандарт обмена геопривязанными растровыми изображениями, построенными на основе данных из одной или нескольких баз пространственных данных по протоколу HTTP [7]. Данные стандарты сейчас являются базовыми для создания единой

среды обмена геопространственной информацией не только в странах Европы, но и в общемировом масштабе. Полноценная поддержка стандартов OGC являлась одним из ключевых требований (до введения санкционных ограничений) при выборе программного обеспечения для создания ГИС.

В табл. 1 приведены основные платформы, на которых реализованы полнофункциональные ГИС. Указанные платформы (п. 1–5), определили развитие геоинформационных технологий. Платформа, указанная в п. 6 – это кроссплатформенное ГИС-решение, поддерживающее различные операционные системы, такие как Linux, Mac OSX, Windows и Android. QGIS позволяет создавать многослойные карты, используя различные проекции, а также просматривать, редактировать и анализировать растровые или векторные данные.

Одной из самых развитых ГИС является SuperMap GIS (Китай) (п. 7), которая, кроме возможностей полнофункциональной ГИС, интегрирует технологию искусственного интеллекта (ИИ). Китайская фирма Huawei стандартизировала приложения и оптимизировала технические решения с

целью достижения значительного прогресса в развитии интернета вещей для реализации в ГИС технологии искусственного интеллекта [12].

Множество различных ГИС, уровень сложности решаемых ими задач, используемые программно-аппаратные средства и их телекоммуникационные возможности определяют типы ГИС:

- Сетевые ГИС – функционируют в масштабе предприятия, обеспечивают совместный доступ к данным ГИС. В качестве сервера базы данных используются реляционные СУБД Oracle, IBM DB/2/Informix, MS SQL Server. Для размещения геопространственных данных в реляционной базе данных используется сервер пространственных данных, например ESRI ArcSDE (SDE – Spatial Database Engine) и ArcGIS 9.2, который интегрирован в ArcSDE [15].

- Персональные ГИС – функционируют на одном компьютере без привлечения сетевых технологий и представлены ГИС массового обслуживания и настольными ГИС.

- Настольные ГИС – элемент корпоративной ГИС для решения отдельных прикладных задач.

Таблица 1

#### Наиболее развитые платформы, на которых реализованы полнофункциональные ГИС

№	Наименование	Разработчик	Дата первого выпуска	URL
1	ArcGIS	ESRI, Inc. (Исследовательский институт экологических систем, США. Основан в 1969 г.)	27 декабря 1999 г.	<a href="https://www.esri.com">https://www.esri.com</a>
2	GeoMedia	Шведская транснациональная компания Hexagon Geospatial (подразделение корпорации Intergraph, США)	1996 г.	<a href="https://hexagon.com/products/geome dia">https://hexagon.com/products/geome dia</a>
3	MapINFO	Exactly (ранее – Pitney Bowes Software и MapInfo Corporation, США)	1986 г.	<a href="http://www.pbinsight.com/welcome/mapinfo/">http://www.pbinsight.com/welcome/mapinfo/</a>
4	AutoCAD	Autodesk, США	Декабрь 1982 г.	<a href="https://www.autodesk.com">https://www.autodesk.com</a>
5	WinGIS	Progis, Австрия	1993 г.	<a href="https://testprogis.jimdo.com">https://testprogis.jimdo.com</a>
6	PostGIS + QGIS + MapServer + OpenLayers	PostGIS (Канада) QGIS (США) MapServer (США) OpenLayers (США)	2001 г. 2002 г. 1994 г. 26 июня 2006 г.	<a href="https://postgis.net/">https://postgis.net/</a> <a href="https://www.qgis.org/">https://www.qgis.org/</a> <a href="https://www.mapserver.org/">https://www.mapserver.org/</a> <a href="https://openlayers.org/">https://openlayers.org/</a>
7	SuperMap GIS	SuperMap Software (Китай)	1994–1996 гг.	URL: <a href="https://www.supermap.com">https://www.supermap.com</a>



### 3. ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В РОССИИ

В настоящее время наблюдается возрастание спроса на услуги по работе с пространственными данными. США, некоторые страны Европы и в последние годы Китай занимают лидерские позиции по разработке геоинформационных технологий.

Здесь необходимо отметить следующие обстоятельства. Российским специалистам в области ГИС-технологий было понятно, что для эффективной работы нужны данные с привязкой объектов и событий к картам исследуемых территорий. Для обработки данных необходимы были и методы для их пространственного анализа. В начальном периоде развития ГИС не было достаточной информации, поскольку проводившихся работ с геопространственной информацией было недостаточно.

Зарубежный опыт использования ГИС в области информационных технологий стал доступен российским специалистам с начала 2000-х гг. Инструменты ГИС начали применяться в таких отраслях народного хозяйства, как геологическая разведка, энергетика, нефтегазовое и промышленное производство, а также землеустройство, как правило с привлечением зарубежных поставщиков ГИС. Это было обусловлено недостаточной информированностью о возможностях ГИС, качеством существующих картографических материалов, их доступностью и отсутствием единой базы данных по сферам деятельности народного хозяйства [17].

С течением времени произошёл постепенный переход к использованию открытых данных. Объём доступной информации вырос, начали разрабатываться новые методы сбора, анализа и визуализации этих данных.

Особенности развития ГИС в России были обусловлены следующими проблемами:

- отсутствовали современные требования к информации, необходимой для решения задач с использованием этой информации;
- средства сбора, обработки, обновления, хранения и передачи информации не в полной мере удовлетворяли решаемым задачам;
- не было реальных технологий обновления данных;
- отсутствовали российские стандарты картографической информации и семантические данные об объектах местности и других объектах, не было единых форматов обмена цифровыми картографическими данными.

В этих условиях зарубежные платформы для создания ГИС-технологий, различающиеся функциональными возможностями, появились на некоторых предприятиях и в организациях России. С появлением рабочих станций популярность ГИС возросла, это относится к началу 2000-х гг. Но тогда ГИС как технологию для разработки геоинформационных проектов ещё не использовали. В течение некоторого времени с использованием ГИС выполнялись различные картометрические и картографические операции с небольшими объёмами данных. Только в крупных компаниях технологии ГИС стали применять в составе комплексных IT-проектов. Преимущества работы с ГИС-технологиями первыми оценили специалисты картографического профиля. Отметим, что важную роль в популяризации ГИС в России сыграли западные компании, которые уже активно использовали ГИС-технологии [17, 18].

Большой вклад в развитие ГИС-технологий внесла ГИС-Ассоциация, образованная в 1995 г. Специалисты высших учебных заведений, научно-исследовательских, производственных, проектно-конструкторских и других организаций, занятых в области разработки и применения информационных технологий на территории бывшего СССР, на конференциях, семинарах и других мероприятиях приняли идею создания российской инфраструктуры пространственных данных, которая была поддержана в 2004 г. Правительством РФ. Проект включили в Федеральную целевую программу «Электронная Россия (2002–2010 гг.)». Была разработана Концепция создания и развития инфраструктуры пространственных данных как элемента общегосударственного информационного ресурса, которая предусматривала переход к полностью цифровым технологиям получения и использования пространственных данных. В России была создана иерархическая территориально распределённая система сбора, обработки, хранения и предоставления базовых пространственных данных и метаданных, включающая в свой состав подсистемы уровней государственной власти и местного самоуправления [19]. Кроме того, эта система предоставляла пользователям удалённый доступ к цифровым базам пространственных данных и метаданным [20].

В России начали создаваться и развиваться крупные региональные ГИС. Одновременно создаются инструментальные и информационные ГИС.

Использование ГИС становится неотъемлемой частью профессиональной деятельности многих организаций в России. Возможность формирова-

ния многогранных запросов, доступ к внешним базам данных и ведение внутренних баз данных, интеграция с другими информационными системами обусловили развитие геоинформационных технологий во многих отраслях народного хозяйства.

Одновременно ГИС-технологии породили оперативное картографирование – создание и использование карт в реальном или близком к реальному масштабу времени. В качестве исходных данных для оперативного картографирования использовали материалы аэрокосмических съёмок, непосредственных наблюдений и геодезических измерений, включая спутниковые системы, статистические данные, результаты переписей, референдумов, а также кадастровую информацию.

Расширенные возможности и неожиданные эффекты картографических анимаций обусловили быструю их реализацию во многих ГИС. Эффекты панорамирования, изменения перспективы, масштабирование частей изображения, а также облёт территорий над картой с разными скоростями стали обычными процедурами в ГИС [12–14].

Этому способствовали результаты научных работ в области картографии, которые выполнялись параллельно с развитием ГИС-технологий. Разработка ГИС в России начала осуществляться с использованием процедурного программирования, объектно-ориентированного подхода с ориентацией на данные и объекты, с использованием мировых тенденций автоматизации процессов анализа и проектирования программного обеспечения на разных языках программирования. Одновременно создавались дополнительные версии ГИС на иностранных языках, например ГИС «НЕВА» на испанском языке, ГИС «Панорама» на английском языке, ГИС ГеоГраф на нескольких языках.

При этом основными видами геоинформационного анализа остаются:

- работы с базами пространственных и атрибутивных данных, создание моделей поверхностей, построение буферных зон, оверлейные операции, сетевой анализ, агрегирование данных, зонирование и специализированный анализ;
- редактирование структуры базы данных, ввод данных, обновление, редактирование, генерация производной информации на основе выполненного пространственного анализа, моделирование, пространственные и атрибутивные запросы, поиск объектов по определённому условию, формирование и редактирование данных, анализ и автоматическая корректура топологии пространственных данных, позиционирование пространственных

объектов относительно заданной системы координат.

Укажем отрасли народного хозяйства, использующие российские ГИС в качестве инструмента для управления и принятия решений: административно-территориальное управление, телекоммуникационная и нефтегазовая, транспортное и дорожное хозяйство, инженерные коммуникации, сельское и лесное хозяйство, архитектура и строительство, горнодобывающая отрасль, силовые ведомства, государственный сектор, здравоохранение, банковская сфера, градостроительный и земельный кадастр. Организации различных отраслей промышленности становятся все более зависимыми от географической информации для принятия обоснованных решений. В России используются специализированные ГИС. Обычно они формируются из отдельных модулей. Базовый модуль реализует основные функции ГИС: программную поддержку устройств ввода-вывода, экспорт и импорт данных и т. д.

Практически во всех полнофункциональных ГИС возможности по работе с атрибутивной информацией являются однородными. Большинство систем обеспечивает работу со всеми основными СУБД через драйверы ODBC, BDE (ОС Windows) [21].

В преобладающем большинстве случаев возможности современных полнофункциональных ГИС могут быть расширены. Основным способом расширения возможностей является программирование на языках высокого уровня (MS Visual Basic, MS Visual C++, Borland Delphi, Borland C++ Builder) с подключением DLL и OCX-библиотек (ActiveX) [13].

Основные российские ГИС, в которых реализованы современные достижения в области геоинформационных технологий, приведены в табл. 2.

Кроме перечисленных ГИС, в России разработано достаточно много специализированных ГИС, направленных на решение различных более узких отраслевых задач [16].

Из анализа функциональных возможностей ГИС необходимо отметить их обособленность и отраслевую направленность, практическое отсутствие единых обменных форматов. Некоторые ГИС имеют инструментальные средства разработки ГИС-приложений для решения частных задач. Многие государственные ГИС в настоящее время подвержены критическим рискам отказа в обслуживании ИТ-инфраструктуры. В России около 4000 ГИС федерального и регионального значения, в которых использованы иностранные компоненты



### Основные современные российские ГИС

Наименование ГИС	Разработчик	URL
ГИС ГеоГраф	ЦГИ ИГ РАН, г. Москва	–
ГИС Карта – 2011	КБ «Панорама», г. Москва	<a href="https://gisinfo.ru/item/79.htm">https://gisinfo.ru/item/79.htm</a>
ГИС ИнГео	Центр системных исследований «Интегро», г. Уфа	<a href="http://www.geoinfograd.ru/ingeo.htm">http://www.geoinfograd.ru/ingeo.htm</a>
ГИС РЕКОД	ОАО «РЕКОД», г. Москва	–
ГИС «Zulu»	ООО «Политерм», г. Санкт-Петербург	<a href="https://www.politerm.com/products/geo/zulugis">https://www.politerm.com/products/geo/zulugis</a>
ГИС ГЕОКАД	ООО «ГЕОКАД плюс», г. Новосибирск	<a href="https://geocad.ru">https://geocad.ru</a>
Инструментальная ГИС IndorGIS	ООО «ИндорСОФТ», г. Томск	<a href="https://www.sigirgroup.ru/sapr/indorgis.html">https://www.sigirgroup.ru/sapr/indorgis.html</a>
Информационная ГИС GeoMixer	SCANEX (ООО Инженерно-технологический центр «СКАНЭКС»), г. Москва	<a href="https://www.scanex.ru/software/web/geomixer">https://www.scanex.ru/software/web/geomixer</a>
Инструментальная ГИС Credo – Кредо-Диалог	СП «Кредо-Диалог», Республика Беларусь, г. Минск	<a href="https://credo-dialogue.ru">https://credo-dialogue.ru</a>
Специализированные ГИС «ЦентрПрограммСистем»	ООО «ЦентрПрограммСистем», г. Белгород	URL: <a href="https://1cps.ru">https://1cps.ru</a>
Универсальная ГИС Аксиома (для ОС Windows, Linux, macOS)	ООО «ЭСТИ», г. Москва	URL: <a href="https://axioma-gis.ru">https://axioma-gis.ru</a>
CSI-MAP	ООО «КСИ-технология», г. Санкт-Петербург	–
Sinteks ABRIS	ООО НТФ «Трисофт», г. Троицк	–
ObjectLand	АО «Радом-Т», г. Таганрог	<a href="https://objectland.ru/">https://objectland.ru/</a>

ПО или оборудования. Большинство из них не соответствуют современным требованиям цифрового технологического суверенитета. Более 60 % российских ГИС используют средства виртуализации иностранного происхождения VMware и Microsoft Hyper-V [22]. Виртуализация сейчас стала главным трендом российских информационных технологий и в ближайшее время указанная проблема будет решена.

Ввиду использования в России различных зарубежных ГИС при разработке российских ГИС необходимо было обеспечить возможности использования уже созданных пространственных данных существующими ГИС в их обменных форматах. При необходимости разрабатывали и различные конвертеры.

Полный список форматов растровых изображений, поддерживаемых ГеоГраф ГИС: растровый файл ГеоГраф (.seg); Windows Bitmap (.bmp); Aldus Tiff (.tif); Cals (xal); Macintosh Pict (.pet); Zsoft PCX

(.pcx); Truevision TARGA (.tga); WordPerfect (.wpg); Windows Metafile (.wmf); Multi-page PCX (.dcx); PostScript (.eps); Jpeg.

Кроме форматов, перечисленных выше, в ГИС ГеоГраф поддерживается большой спектр форматов растровых изображений: BMP, TIFF, PCX, TARGA, DCX, EPS, WPG, JPEG, PICT и др. Эти форматы могут использоваться и масштабироваться одновременно с векторными картами.

Реализована независимость работы ГИС от формата источника данных, основанная на использовании IDAPI (Borland Database Engine). Для каждого источника данных используется драйвер доступа (ODBC). Атрибутивные данные в других форматах (MS Access, MS Excel, FoxPro, Oracle, InterBase, MS SQL Server) могут быть подключены в ГеоГраф ГИС через драйверы BDE с её предварительной настройкой. Благодаря многоформатному ядру и широким возможностям импорта ГеоГраф ГИС имеет возможность интегрировать дан-

ные практически из любых форматов и разных ГИС. В систему заложена возможность подключения к локальным атрибутивным данным (Paradox, dBASE) и ко всем современным СУБД (Oracle, MSSQL и др.).

Другие российские ГИС обладают другими возможностями по используемым форматам и общему функционалу, однако не менее эффективными для решения узких отраслевых задач. Здесь необходимо отметить ещё одно важное обстоятельство, связанное с базами пространственных данных. Некоторые российские ГИС, например ГИС ИнГео (Центр системных исследований «Интегро»), разрабатывались с ориентацией на протокол TCP/IP. В общем случае протоколы TCP могут производить блокировку и передачу данных. На сегодняшний день вся система передачи данных в интернете работает на американском стеке сетевых протоколов TCP/IP. Интернет невозможно «слопать» для отдельно взятой страны, поэтому данные пользователей необходимо защищать шифрованием. И этот процесс должен быть постоянным. Вместе с тем, в России ведутся работы по созданию суверенного интернета для применения БПЛА на основе аналогов сетевых протоколов TCP/IP. Заметим, что китайская корпорация Huawei по решению правительства уже разрабатывает новый интернет-протокол New IP, который должен заменить существующий американский базовый протокол TCP/IP [20].

При решении сложного вопроса о технологической независимости от иностранных компаний необходимо учесть следующие обстоятельства. Для космических каналов связи технология TCP/IP непроизводительна, поэтому нужны другие технические решения. Например, доступные только одной и нескольким организациям телекоммуникационные протоколы можно использовать в корпоративных локальных, внутренних сетях, изолированных от интернета.

Перевод этих протоколов из сети интранет в интернет возможен только в условиях кросс-совместимости оборудования и ПО с поддержкой работы технологий TCP/IP. Поэтому замена TCP/IP на новый протокол в сети интернет сейчас нецелесообразна, поскольку пользователи всех стран используют TCP/IP (сетевое оборудование, каналы связи, сетевой стек операционной системы, библиотеки и программное обеспечение). Если ограничиться только заменой оборудования, то с операционными системами и ПО все сложнее, поскольку необходимо создать промежуточный слой с эмуляцией TCP/IP или переписать ПО на новый сетевой стек. Поэтому зависимость от иностран-

ных технологий в ближайшее время, возможно, будет сохраняться. Здесь необходимы дополнительные исследования.

В настоящее время ГИС «ИнГео» является набором программ. Основным сервером данных является разработанный сервер, взаимодействующий через локальную сеть или сеть интернет.

Геодезические системы координат и картографические проекции не поддерживаются. Информацию об используемой системе координат из системы получить невозможно. Пересчёт данных между системами координат внутри системы невозможен, также как и совмещение пространственных данных в разных системах координат и/или проекциях в одном проекте.

В силу отсутствия механизма работы с системами координат для каждой территории приходится создавать отдельный банк пространственных данных. При этом система позволяет в один момент времени работать только с одним банком пространственных данных.

ГИС «ИнГео» хорошо приспособлена для использования в качестве ГИС в органах муниципального управления, когда все пространственные данные создаются и обрабатываются в одной системе координат. В качестве универсальной ГИС использовать данную систему сложно, а для многих задач невозможно.

При работе с растровыми изображениями не поддерживается построение пирамиды растров разного масштаба для ускорения вывода общих планов территорий. Имеется только механизм разбиения на фрагменты (тайлы), что позволяет ускорить просмотр изображения в крупных масштабах. Сами растровые фрагменты хранятся в виде стандартных растровых файлов формата BMP или PCX, но информация о координатной привязке хранится отдельно внутри СУБД.

Инструментария для экспорта растровых изображений в другие форматы с координатной привязкой в системе нет.

Из-за отсутствия средств работы с различными системами координат отсутствует возможность нормальной интеграции с другими ГИС. Отсутствует полноценная поддержка основных стандартов OGC, таких как WMS, WFS и GML. Имеющиеся модули для разработки веб-приложений реализуют собственный протокол работы, отличающийся от стандартов OGC.

При хранении данных в файловой СУБД Borland Paradox имеются проблемы, связанные с максимальным размером базы данных. При достижении общего количества пространственных объектов порядка 1,5 млн (цифровой топографиче-



ский план масштаба 1:2000 для города с населением порядка 100 тыс. чел.) система становится неработоспособной. Все задачи пространственного анализа не решаются из-за невозможности построения правильной топологической модели данных.

Функционал практически всех ГИС во многом идентичен: это либо управление базами данных, реестрами, либо интерфейсами, либо вывод информации. Критическим рискам подвержены оборудование и программы, которые используются для обслуживания ГИС в реальном времени, это прежде всего касается программно-аппаратных решений Oracle, IBM и Microsoft, которые сейчас отсутствуют в России. Указанные решения тесно интегрированы в инфраструктуру информационных технологий, их замена потребует значительных временных и финансовых затрат.

В этих условиях требуется разработка новых организационно-технических и аппаратно-программных решений в рамках работ по импортозамещению. К настоящему времени уже разработаны некоторые российские продукты, реализующие основной функционал ГИС. В дальнейшем необходимо быстро реагировать на возможные сбои, дорабатывать функционал ГИС, расширить компонентную базу для возможной оперативной замены, для этого требуется расширение производственных мощностей.

#### 4. ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ИПУ РАН: ОПИСАНИЕ, АЛГОРИТМЫ

Разработка в ИПУ РАН геоинформационных систем для решения специальных задач с использованием информационных технологий начинается с середины 1990-х гг. Были реализованы методы создания трёхмерных моделей местности с последующим оперативным отображением созданной модели в реальном масштабе времени. Впервые в России была разработана программа «Полёты», которая позволяла строить маршруты движения летательных аппаратов (ЛА) на заданных высотах с учётом рельефа местности и высотных объектов с использованием реальных космических снимков большого объёма. При этом была выполнена оптимизация времени полёта ЛА по кратчайшему пути. В результате проведённых исследований по автоматизации создания оригиналов рельефа местности, основанных на применении вычислительной геометрии, в ИПУ РАН были получены важные научные результаты [23].

1. Доказана возможность распознавания форм рельефа местности по картине горизонталей без использования модели рельефа в виде матрицы высот, опровергающая сложившееся положение о

том, что для машинной обработки информации о рельефе местности недостаточно картины горизонталей, нужна матрица высот. При этом обоснована возможность задания необходимой плотности точек на изолиниях, обеспечивающей заданную точность представления рельефа местности в виде горизонталей.

2. Получено решение классической задачи маркировки протяжённых объектов с обеспечением равномерности плотности маркировочных знаков.

3. Доказана возможность полной автоматизации оформления оригинала рельефа (нанесение подписей горизонталей и бергштрихов) с использованием только информации о горизонталях без использования модели рельефа в виде матрицы высот.

4. Разработан алгоритм распознавания локальных форм рельефа по совокупности горизонталей, заданных в виде ломаных линий, обеспечивающий локализацию мест расположения заданных форм рельефа за время  $O(n \log n)$ , где  $n$  – общее число отрезков на всех ломаных, изображающих горизонталей. Тем самым доказано, что задачи распознавания форм рельефа по картине горизонталей, а также оформления оригинала рельефа (нанесения бергштрихов и надписей горизонталей) с использованием картины горизонталей в виде ломаных линий в качестве исходных данных имеют квазилинейную сложность. Критическим этапом, определяющим нижнюю границу сложности, является построение триангуляции Делоне.

5. Применительно к конкретным формам рельефа в качестве адаптации общего алгоритма, указанного в п. 4, к конкретным формам рельефа, доказана квазилинейная сложность  $O(n \log n)$  задач распознавания практически всех форм рельефа местности, влияющих на конечный вид их представления.

6. Разработан алгоритм распознавания форм рельефа местности, использующий только горизонталей и не использующий точечные объекты уровня земли, имеющий квазилинейную сложность по числу вершин, для автоматизации редактирования и проверки информации о рельефе местности. Распознаются, например, вершины и впадины, седловины, орографические линии, несоответствия в системе горизонталей и отметок высот.

7. Созданы алгоритмы автоматического построения рельефа по взаимно ориентированным изображениям. Создан алгоритм повышенной надёжности, позволяющий распознавать и не использовать для отображения рельефа малоинформативные участки рельефа местности.

Вычислительные операции, связанные с оперативной обработкой информации большого объёма в виде аэрокосмических снимков, требовали значительного времени, что не позволяло достичь заданной точности создаваемых трёхмерных моделей местности. Для оперативной обработки материалов аэрокосмической съёмки была создана цифровая фотограмметрическая станция (ЦФС) «Талка», позволяющая выполнять все необходимые математические расчёты и построения с последующей визуализацией полученной модели [23].

Принципиально новыми разработанными решениями в области геоинформационных технологий в ИПУ РАН являются:

- алгоритмы интерполирования двумерной функции по набору значений в известных точках на основе двумерного варианта фильтрации Калмана;
- алгоритмы аппроксимации последовательности точек ломаной типа Имаи и Ири для триангулированной линии и линиями из дуг окружностей методом наименьших квадратов;
- алгоритмы решения систем нелинейных уравнений блочной фототриангуляции с минимизацией четвёртых и шестых степеней невязок;
- алгоритмы построения триангуляции Делоне и диаграммы Вороного для набора точек и отрезков за квазилинейное по числу вершин время;
- алгоритмы автоматического построения рельефа по взаимно ориентированным изображениям;
- метод идентификации соответствующих точек двух изображений, использующий оконтуривание по Марру и преобразования типа «растяжения резины»;
- способы автоматического нанесения надписей горизонталей на оригинале рельефа и назначения положений маркировочных знаков протяжённых линейных объектов.

Создание оригиналов рельефа местности, включающее в себя сглаживание горизонталей, расстановку бергштрихов и надписей горизонталей, было полностью автоматизировано в разработанных программных продуктах. Характерной особенностью алгоритмов и программ решения этой задачи является то, что они могут использоваться для автоматического получения карт для систем навигации и управления движущимися объектами [23].

Программа обеспечивает значительную степень автоматизации технологических процессов

фотограмметрической обработки и составления карт. Разработан также специальный формат хранения регулярной структуры пространственных данных с поддержкой возможности хранения неограниченного объёма данных при уровне хранения данных. При этом поддерживается быстрый доступ к данным каждого уровня и возможность хранения данных, характеризующих заданную область территории произвольной формы.

Разработаны способы формирования изображения частей ломаной линии, лежащих внутри или вне многоугольной области, и границ областей, полученных в результате применения логических операций к двум многоугольным областям на основе отыскания отрезков ломаной линии, лежащих в окрестности границы области. Эти способы обеспечивают надёжное формирование изображений.

Уникальной является технология создания многооконного стереоинтерфейса, не требующая специализированных видеоконтроллеров, с применением режима клонирования видеоконтроллера и программного интерфейса, использующего первичную и оверлейную поверхности, куда подаются изображения. Оверлейная поверхность накрывает только стереоскопическую часть экрана, что позволяет не тратить ресурсы на обработку окон других приложений.

Технические решения запатентованы и реализованы в разработанной ГИС «Талка» (ИПУ РАН), в полном объёме и ни в каком из известных программных продуктов не встречаются. Разработаны технологии работы со спутниковыми устройствами, позволяющие управлять измерениями приёмника и создавать в карте соответствующие объекты. При работе в режимах Real Time Kinematic и постобработке достигается высокая точность результатов, позволяющая улучшить управление движущимися объектами.

Разработанная в ИПУ РАН ГИС «Талка-КПК» работает на наладонных компьютерах и используется для создания и обновления карт и планов. Она может работать с растрами, изображениями и векторными картами, производить съёмку местности с использованием геодезической аппаратуры: GPS- и ГЛОНАСС-приёмниками, а также тахеометрами. Фактически это «ГИС на ладони», обладающая не только всеми возможностями навигации и просмотра материалов, но и развитыми средствами редактирования и сбора данных на местности и передачи информации на сервер сбора данных. Широко развитые средства редактора привязки



растров в ГИС «Талка-КПК» позволяют редактировать координаты точек привязки как визуальным образом, так и через их численные значения.

Система «Талка-ГИС», предназначенная для работы с растрами, векторными картами, спутниковой аппаратурой, имеет функции просмотра, создания, редактирования геоинформационных материалов, GPS-навигации, ведения геодезических измерений и контроллера устройств. Программа поддерживает профессиональное геодезическое оборудование и навигационные приёмники. Она позволяет управлять спутниковыми измерениями приёмника, создавая в карте объекты, соответствующие измерениям, или привязывая измерения к уже существующим объектам. Результаты обработки принимаются средствами «Талка-ГИС», и измеренные участки объектов карты обретают точные координаты.

Все разработанные программные продукты «Талка-КПК», «Талка-ГИС» и ЦФС «Талка» обладают схожим интерфейсом и обеспечивают оперативный обмен информацией для решения различных задач управления соответствующими программными средствами.

В ИПУ РАН разработан аппаратно-программный комплекс ГИС SUEK3D для обработки и отображения трёхмерной информации с целью технологической поддержки процессов управления угольной компанией. В рамках этой работы в последние годы выполнены научные исследования по совершенствованию методов и технологий получения геопространственных данных с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [24].

Разработанная ГИС SUEK3D, имеет клиент-серверную архитектуру и предназначена для построения цифровой трёхмерной модели местности в режиме реального времени. Она позволяет строить модели рельефа и пластов с использованием аэрофотоснимков, данных геологических скважин, стандартных геодезических построений, наземных фотографий объектов местности. По построенным моделям программное обеспечение позволяет производить расчёты длин, объёмов выемок и остатков породы в режиме реального времени. Кроме того, в программной среде предусмотрена возможность работы с другими программными средствами через API с помощью функций, классов, методов, структур, иногда и констант. Была обеспечена возможность создания интерактивных моделей рельефа с перемещением моделей техники по охватываемой территории по заданным заранее

траекториям и расписаниям. В рамках работы над программным средством собрана большая база трёхмерных моделей основных видов техники, применяемой на открытых карьерных работах.

В ИПУ РАН разработана ГИС «НЕВА», которая позволяет создавать различные трёхмерные модели местности: рельефа, рельефа с объектами местности, полутоновые по аэрокосмическим снимкам. Она используется при издании карт, являясь главным инструментом редакционной подготовки различных атласов и карт к изданию.

В последние годы в рамках работ по цифровизации сельского хозяйства в ИПУ РАН были исследованы информационные и коммуникационные технологии, методы анализа данных, технологии интернета вещей, на основе которых с использованием платформы ГИС «НЕВА» разработаны [25–29]:

- новые подходы к экологическому мониторингу водной поверхности;
- методы мониторинга состояния сельскохозяйственных культур, выявления вредителей, болезней и состояния орошения;
- методы применения виртуальных полигонов для отработки сценариев группового управления БПЛА мультикоптерного типа.

Исследована возможность геопространственной привязки действия существующего законодательства в области геодезии и картографии, землеустройства и лесного хозяйства России при использовании ГИС «Талка» и ГИС Карта 2011 («Панорама») [30]. Подобных результатов в открытой печати не выявлено, включая результаты исследований системы «КонсультантПлюс».

Решение проблемы управления движущимися объектами на разных этапах развития было связано с исследованием общих принципов автоматического синтеза параметров управления. Для этого был произведён анализ методов управления ЛА, используемыми при движении корреляционно-экстремальные навигационные системы (КЭНС) для уточнения местоположения и коррекции траектории полёта. Проанализированы новые принципы построения бортовых алгоритмов, возможная их интеллектуализация и самоорганизация, современные типы съёмочных систем и варианты их комплексирования, а также уровни развития параллельных вычислений и специальных процессоров для реализации алгоритмов с единой параллельной структурой. Установлено, что дальнейшее развитие и массовое внедрение систем автономной навигации указанного выше типа как единствен-

ной альтернативы спутниковым навигационным системам для управления ЛА, в частности БПЛА, в настоящее время может базироваться на предметно-ориентированных информационных технологиях [16].

Другим направлением развития ГИС в современных условиях является их использование для моделирования КЭНС. ИПУ РАН предложена концепция построения геоинформационной системы для моделирования поисковых КЭНС, которая позволит собирать модели большого спектра КЭНС и макеты технологий их настройки на работу с проведением необходимых вычислительных экспериментов. При этом для определения состава требуемых программных средств, структуры хранилищ и особенностей интерфейса построена общая математическая модель. Эта модель при сохранении всей специфики алгоритмов КЭНС охватывает не только известные алгоритмы совмещения изображений, но и включает схему синтеза алгоритмов КЭНС нового типа с реализацией методов распознавания образов и анализа сцен, кластеризации, обучения нейросетей и облачных вычислений при обработке больших данных.

Разработаны математические модели стрессовых воздействий на съёмочные системы навигационной системы, обеспечивающие различные условия функционирования КЭНС: срыв определения местоположения ЛА, определение местоположения ЛА по ложным опорным ориентирам и т. д. Полученную при этом информацию предлагается использовать для совершенствования системы управления ЛА, использующих изображения местности в различных диапазонах длин волн электромагнитного излучения. Стрессовое тестирование при этом обеспечивает проверку выполнения повышенных требований к надёжности КЭНС и является важнейшим видом вычислительного эксперимента с моделями КЭНС [31, 32].

Поисковые КЭНС решают свою задачу посредством проверки гипотез о значениях параметров движения методами совмещения текущего изображения участка местности, полученного бортовой съёмочной системой, с фрагментами эталонного изображения, заложенного в КЭНС. Проверяются гипотезы о равенстве значений искомым параметров и принимается гипотеза, для которой функция их близости максимальна. Применяются глобальные схемы поиска, градиентные, из арсенала методов поиска экстремума числовой функции и их сочетания. В первых системах этого типа в качестве функции близости применялся коэффи-

циент корреляции текущего и эталонного изображений, чем и обусловлено название корреляционно-экстремальных навигационных систем. В более общем смысле соответствующая предметная область охватывает любые обзорно-сравнительные методы автономной навигации, не обязательно использующие методы совмещения изображений. Их специфика состоит в решении задачи навигации путём сравнения реальных результатов обзора пространства, в котором находится движущийся объект, с априорными сведениями о возможных результатах обзора. Для краткости в статье сохраним обозначение «КЭНС» для любых подобных систем.

Актуальность ускоренного развития КЭНС значительно возросла в связи с интенсивным развитием беспилотных аппаратов различного назначения. Это обусловило более полное, чем в существующих решениях, раскрытие потенциала развития КЭНС. Если геодезические спутники (ГЛОНАСС, GPS) будут выведены из строя, это приведёт к бесполезности спутниковых навигационных систем управления. Здесь же нужно учитывать, что в России есть территории, на которых спутниковые сигналы недостаточно устойчивы. Такая проблема присутствует и в условиях городской застройки, более того, из-за плоских высотных объектов возможен приём искажённых сигналов [24, 33, 34].

В этих условиях развитие данной предметной области может быть обеспечено расширением исследований и разработок с использованием предметно-ориентированного вычислительного комплекса. Такой комплекс может предоставить специалисту все необходимые средства для сборки моделей КЭНС и макетов технологий их настройки на работу из готовых программных модулей посредством специального интерфейса для хранилищ программных модулей и возможность проводить с ними вычислительные эксперименты [34].

Математические модели КЭНС и макеты технологий их настройки позволят создать облик бортовых систем управления ЛА, оснащённых средствами корреляционно-экстремальной обработки данных на борту, способных в условиях возможных помех выполнять свою задачу [16, 31, 35].

Предложенный предметно-ориентированный комплекс обеспечит пользователю доступ ко всем универсальным средствам работы с геопространственной информацией, т. е. к функционалу общего назначения на базе средств расширения функционала системы «Талка-ГИС». Проверка указан-



ного доступа была проведена и с использованием ГИС ArcInfo, Mapinfo, ГИС «Панорама», а также ГИС «НЕВА» [31, 35]. На основе анализа математических моделей, упомянутых выше, обоснована структура предметно-ориентированного комплекса моделирования поисковых КЭНС в форме прикладной ГИС, которая позволит улучшить динамику систем автономного управления путём применения принципов перенастраиваемых структур, а также нейронных сетей и ИИ для работы с большими данными на основе организованных сетей доступа.

## 5. ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГИС: ТЕХНОЛОГИИ, АЛГОРИТМЫ

Одной из главных тенденций развития ГИС является использование веб-сервисов и облачных технологий с распределёнными вычислительными ресурсами для реализации нейросетевых технологий обработки больших данных. Веб-ГИС расширили возможности по обмену методами, передаче результатов исследований, визуализации, доступу к данным и их обработке, что обусловило их развитие в систему взаимодействия в режиме реального времени.

Имитация выполнения определённых задач на основе постепенного обучения с использованием полученной от человека информации создаёт условия для реализации ИИ в рамках концепции интернета вещей (IoT), что позволит связать объекты друг с другом. Технология IoT представляется множеством устройств с различными пространственно координированными датчиками, соединёнными между собой. Они становятся интеллектуальными и определёнными в пространстве [22, 36]. Это обстоятельство позволяет дополнительно организовать геодезические сети, которые могут быть использованы при съёмке объектов местности без привлечения геодезических инструментов, а лишь с помощью аппаратуры для приёма сигналов от датчиков.

На основе концепции IoT могут быть созданы нейронные сети, позволяющие осуществлять взаимодействие между датчиками и приёмниками информации БПЛА [22]. Так, различные датчики позволяют получать данные об объектах и процессах в реальном масштабе времени с возможностью предвидения их поведения и организации реагирования на них. Поскольку полученная информация в ГИС ещё имеет и координатную привязку и хранится в базе данных, возможен последующий её

быстрый анализ. Поэтому необходимо использовать облачные вычисления и технологии больших данных [37]. Классические серверы, а также центры обработки данных до сих пор решали стоявшие задачи известными способами. Интернет вещей способствует появлению новых задач, решения которых сейчас разрабатываются [38]. При этом объём информации существенно увеличивается. Датчики могут измерять температуру, вес, скорость, давление, влажность, освещённость и другие параметры. Они устанавливаются на транспорте для измерения скорости и определения траектории движения в реальном масштабе времени, при этом их настройка может производиться как удалённо, так и на устройстве [39, 40].

Данные, полученные с устройств интернета вещей, могут быть использованы для составления:

- тепловых карт с отображением неисправностей и сбоев в обслуживании;
- карты загруженности Wi-Fi-сетей в определённых местах населённого пункта;
- карты загруженности дорожной сети, парковочных мест;
- карты освещённости населённого пункта и т. д.

На основе этих карт могут быть приняты решения для предоставления дифференцированных услуг. Интернет вещей в ГИС позволяет оценивать использование многих ресурсов для достижения баланса между спросом и предложением. Так как IoT включает большой объём информации, представляющей идеальные наборы пространственно определённых обучающих данных, масштабируемость ГИС усиливается возможностями использования технологий искусственного интеллекта. Таким образом, развитие технологий интернета вещей является важной тенденцией появления новых приложений в современных ГИС.

Искусственный интеллект позволяет находить новые закономерности в использовании данных. Они используются для классификации больших объёмов данных дистанционного зондирования и объединения данных из разных источников. Некоторые типы алгоритмов машинного обучения уже сейчас применяются при анализе геопропорциональной информации в целях:

- классификации объектов местности;
- прогнозирования численных характеристик явлений и процессов;
- группировки объектов на основе их сходства по описаниям;
- нахождения связей и зависимостей между различными объектами местности.

Указанные алгоритмы развиваются и реализуются в программных решениях в целях:

- совместного использования ГИС, средств дистанционного зондирования Земли и ГЛОНАСС [33, 34, 41];

- использования информационных ресурсов дружественных стран [42];

- создания единой телекоммуникационной ГИС и расширения её возможностей [38];

- использования ИИ для анализа геопространственной информации и подготовки управленческих решений [43, 44].

Наиболее важной проблемой, пока не реализованной тенденцией развития картографии в части создания тематических карт для ГИС является полная автоматизация процесса создания карт с использованием ИИ. Как было отмечено, алгоритмы машинного обучения могут использоваться для автоматического распознавания и классификации объектов местности. Процесс нанесения этих объектов на карту должен осуществляться также на основе машинного обучения с применением множества подходов, реализуемых творчески, отдельными исполнителями. Решения принимаются с учётом существующих нормативно-технических правил, установленных требований в заданных вариациях характеристик отображаемых объектов на картах. Вместе с сокращением времени и затрат на создание карт необходимо добиться заданной точности и надёжности выполняемых процессов составления или обновления карт.

Машинное обучение при автоматической обработке и анализе геопространственной информации в реальном времени, а также создание интеллектуальных систем поддержки принятия решений в ГИС является перспективным направлением развития ГИС.

Качество геопространственных данных, их большие объёмы, существующая пока разнородность представления данных обуславливают сложности интерпретации информации [18, 45]. Это сдерживает в настоящее время применение ИИ. Анализ данных дистанционного зондирования в последнее время показал, что существуют проблемы и трудности в связи с большими объёмами данных. Одним из наиболее популярных и известных неуправляемых методов уменьшения количества признаков является анализ главных компонент (АГК). Применением метода АГК подавляющее большинство информации в изображении можно сохранить, существенно уменьшив размерность через кумулятивные собственные значения [46].

Дальнейшее развитие технологий, методов и алгоритмов машинного обучения при работе с ба-

зами данных позволит синтезировать интеллектуальные управленческие решения.

Одним из важных направлений развития ГИС является также создание мобильных геоинформационных систем с использованием мобильных устройств [47]. В последние несколько лет как зарубежными, так и отечественными специалистами получены важные результаты, представленные в виде отдельных программных модулей. Их функционал и нормативный статус геоинформационного обеспечения в настоящее время ещё не сформированы. Созданные программные продукты не являются предметом исследования по теме статьи, однако они реализованы на известных полнофункциональных платформах.

---

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

На основе выполненного обзора географических информационных систем, разработанных за рубежом и в России, в частности в ИПУ РАН, могут быть сделаны следующие основные выводы.

Создание алгебры карт, определяющей математические и алгоритмические операции над растровыми данными при их пространственном анализе для получения новых наборов растровых данных с результатами анализа, явилось основой нового научного направления в информатике – геоинформационных технологий. Это стало возможным благодаря научным работам канадских, шведских и американских учёных в области картографии. Первым программным продуктом, реализующим геоинформационные технологии, считается канадская ГИС.

В США, Канаде, Швеции и некоторых других странах были разработаны ГИС на разных платформах, различающиеся функциональными возможностями, на основе которых появились российские ГИС для решения различных задач с использованием типовых решений, как правило более высокого качества. При этом быстро пришло понимание необходимости о независимости используемых технологических решений в разрабатываемых российских ГИС. Появляются новые, уникальные по техническим решениям ГИС, однако завязанные на импортные аппаратные средства. Формируются новые задачи, обусловленные технологическими схемами построения российских ГИС, решение которых обеспечивало бы независимость от западных программных продуктов в области ГИС-технологий. В настоящее время некоторая зависимость от западных технологий сохраняется, при этом отметим, что российские ГИС сейчас разрабатываются на отечественных платформах, что обеспечит в ближайшее время техно-



логическую независимость российских разработчиков.

Необходимо упомянуть важные подходы при разработке ГИС в ИПУ РАН, связанные с применением новых математических, технических и алгоритмических решений, реализованных в ГИС для синтеза управленческих решений и подтверждённых многими патентами на изобретения.

Современные ГИС обеспечивают работу с геопространственными данными, использование которых позволяет получить необходимую информацию для поддержки принятия управленческих решений. Пространственные базы данных позволяют определять местоположение объектов, прокладывать маршруты движения транспортных средств, анализировать земельные участки, получать их качественные характеристики, решать множество различных отраслевых задач. Любая карта, используемая в ГИС, может быть представлена в трёхмерном виде, что позволяет более наглядно представлять местность для последующего и более качественного анализа событий и природных явлений для поддержки принятия решений. Возможность постоянной актуализации данных с использованием растровых и векторных источников, атрибутивных данных повышает достоверность и практическое соответствие полученных результатов реальным условиям. Все указанные функции стали возможными благодаря совместному использованию средств картографии и информатики, которые были развиты за последние годы.

Определены современные тенденции развития ГИС.

- Разработка методов коммуникации и использования данных в ГИС, полученных средствами дистанционного зондирования Земли и глобальной навигационной спутниковой системой.

- Совершенствование телекоммуникационных и информационных ресурсов дружественных, а также других стран.

- Создание единой телекоммуникационной географической информационной системы на территории России и её субъектов федерации.

- Развитие ГИС с использованием концепции интернета вещей для интеллектуализации управления различными системами, территориями и видами деятельности в народном хозяйстве, чрезвычайных ситуациях и обороне страны.

Геоинформационные системы расширили возможности по обмену методами, передаче результатов обработки, визуализации, доступу к данным, что обусловило их развитие в систему взаимодействия в режиме реального времени. Имитация вы-

полнения определённых задач на основе постепенного обучения с использованием полученной от человека информации создаёт условия для реализации ИИ в интернете вещей.

Пространственные базы данных позволяют определять местоположение объектов, прокладывать маршруты движения транспортных средств, анализировать земельные участки, получать их качественные характеристики, решать множество различных отраслевых задач. Результаты анализа научно-технических материалов по геоинформационным технологиям позволяют сделать вывод о том, что для повышения информационной безопасности в современных условиях необходимо развитие методов коммуникационных связей при приёме, обработке и передаче пространственных данных с использованием интернета, связанных с разработкой российского аналога протокола TCP/IP. Реальным видится использование локальных внутренних сетей, изолированных от интернета.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Tomlin, C.D., Berry, J.K. Mathematical structure for cartographic modeling in environmental analysis // Bound Papers of the American Congress on Surveying and Mapping 39th Annual Meeting. – 1979. – Vol. 39. – P. 269–283.
2. Dennis, J., Vigier, R., and Tomlin, C.D. Cubic mapping algebra functions for space-time analysis, in Cartography and Geographic Informatics. – 2005. – Vol. 32, no. 1. – P. 17–32.
3. Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J., Rind, D.W. Geographic Information Systems and Science (3rd ed.). – New York: John Wiley & Sons, 2011. – 414 p.
4. Nupponen, D., Taibi, D. Serverless: What it is, what to do and what not to do // Proc. Int. Conf. Softw. Archit. (ICSA 2020). – Salvador, 2020. – P. 49–50.
5. Huang, Q., Li, J., Zhang, T. Domain Application of High Performance Computing in Earth Science: An Example of Dust Storm Modeling and Visualization // In: High Performance Computing for Geospatial Applications. Ed. by W. Wu and D. Wang. – 2020. – P. 249–268.
6. Li, Z., Tang, W., Huang, Q., et al. Introduction to Big Data Computing for Geospatial Applications // International Journal of Geo-Information. – 2020. – Vol. 9, no. 8. – Art. no. 487.
7. Iosifescu-Enescu, I., Matthys, Cl., Gkonos, Ch., et al. Cloud-Based Architectures for Auto-Scalable Web Geoportals towards the Cloudification of the GeoVITE Swiss Academic Geoportal // ISPRS International Journ. Of Geo-Information. – 2017. – Vol. 6, no. 7. – Art. no. 192.
8. Yu, M., Bambacus, M., Cervone G., et al. Spatiotemporal event detection: a review // International Journal of Digital Earth. – 2020. – P. 1186–1211.
9. Umale, P., Patil, A., Sahani, C., et al. Planer Object Detection Using SURF and SIFT Method // International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology. – 2022. – Vol. 6, iss. 11. – P. 36–39.
10. Karras, T., Laine, S., Aittala, M., et al. Analyzing and improving the image quality of StyleGAN // IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – Seattle, 2020. – P. 8107–8116.

11. Frank J., Eisenhofer T., Schonherr L., et al. Leveraging frequency analysis for deep fake image recognition // 37th Conference (International) on Machine Learning Proceedings. – Vienna, 2020. – Vol. 119. – P. 3247–3258.
12. Жебровский С.И., Кузин Д.А., Стрельцова М.М. Обзор проблем и перспектив развития геоинформационных систем в эпоху всеобъемлющего интернета // Современные наукоемкие технологии. – 2018. – № 12-1. – С. 237–241. [Zhebrovskij, S.I., Kuzin, D.A., Strel'cova, M.M. Obzor problem i perspektiv razvitiya geoinformacionnyh sistem v epohu vseob'emlyushchego interneta // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. – 2018. – No. 12-1. – P. 237–241. (In Russian)].
13. Мьельников Д.Ю. Геоинформационные платформы. ПК «ГПИ Челябинскгражданпроект». – URL: <https://textarchive.ru/c-1255531-pall.html> (дата обращения 29.11.2023). [Myl'nikov, D.Yu. Geoinformacionnyye platformy. PK «GPI Chelyabinskgrazhdanproekt». – URL: <https://textarchive.ru/c-1255531-pall.html> (accessed November 29, 2023). (In Russian)]
14. Фомичев А., Бондарь О. Бессерверная альтернатива традиционным базам данных. Открытые системы. СУБД. – 2021. – № 1. – С. 20–23. [Fomichev, A., Bondar', O. Besservernaya alternativa tradicionnym bazam dannyh. Otkrytye sistemy. SUBD. – 2021. – No. 1. – P. 20–23. (In Russian)].
15. Marinescu, D.C. Cloud Computing. Theory and Practice. Second Edition. – Burlington: Morgan Kaufman, 2018. – 566 p.
16. Алчинов А.И., Гороховский И.Н. Направления расширения функционала прикладной геоинформационной системы моделирования поисковых корреляционно-экстремальных навигационных систем // Проблемы управления. – 2023. – № 5. – С. 78–90. [Alchinov, A.I., Gorokhovskiy, I.N. Expanding the Functionality of an Applied Geographic Information System for Modeling Search Correlation-Extreme Navigation Systems // Control Sciences. – 2023. – No. 5. – P. 65–74.]
17. Журкин И.Г., Шайтура С.В. Геоинформационные системы. – М.: Кудлиц-пресс, 2009. – 272 с. [Zhurkin, I.G., Shajtura, S.V. Geoinformacionnyye sistemy. – Moskva: Kudic-press, 2009. – 272 s. (In Russian)].
18. Васильев, В.Н. Обзор существующих ГИС / Молодой учёный. – 2016. – № 14 (118). – С. 62–66. [Vasil'ev, V.N. Obzor sushchestvuyushchih GIS / Molodoj uchyonyj. – 2016. – No. 14 (118). – P. 62–66. (In Russian)]
19. ФКУ «Государственные технологии». – URL: <https://digital.gov.ru/ru/ministry/departments/48/> (дата обращения 19.11.2023 г.) [FKU «Gosudarstvennyye tekhnologii». – URL: <https://digital.gov.ru/ru/ministry/departments/48/> (accessed November 19, 2023). (In Russian)]
20. Нестеренко В.Р., Маслова М.А. Современные вызовы и угрозы информационной безопасности публичных облачных решений и способы работы с ними // Научный результат. Информационные технологии. – 2021. – Т. 6, № 1. – С. 48–54. [Nesterenko, V.R., Maslova, M.A. Sovremennyye vyzovy i ugrozy informacionnoj bezopasnosti publichnyh oblachnyh reshenij i sposoby raboty s nimi // Nauchnyj rezul'tat. Informacionnyye tekhnologii. – 2021. – Vol. 6, no. 1. – P. 48–54. (In Russian)]
21. Лубнин Д.С. Модернизация инфраструктуры пространственных данных с использованием облачных технологий // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2018. – Т. 62, № 5. – С. 590–598. [Lubnin, D.S. Modernizaciya infrastruktury prostranstvennyh dannyh s ispol'zovaniem oblachnyh tekhnologij // Izv. vuzov «Geodeziya i aerofotos'emka». – 2018. – Vol. 62, no. 5. – P. 590–598. (In Russian)].
22. Жукова Н.А., Тристанов А.Б., Тин Т., Аунг М. О проблеме сбора данных в сетях интернета вещей с динамической структурой (Обзор) // Известия КГТУ. – 2021. – № 61. – С. 105–118. [Zhukova, N.A., Tristanov, A.B., Tin, T., Aung, M. O probleme sbora dannyh v setyah interneta veshchey s dinamicheskoj strukturoj (Obzor) // Izvestiya KGTU. – 2021. – No. 61. – P. 105–118. (In Russian)].
23. Алчинов А.И., Беклемышев Н.Д., Кекелидзе В.Б. Методы цифровой фотограмметрии. – М.: Московский гос. ун-т печати, 2007. – 259 с. [Alchinov, A.I., Beklemishev, N.D., Kekelidze, V.B. Metody tsifrovoi fotogrammetrii. – M.: Moskovskij gos. un-t pečati, 2007. – 259 s. (In Russian)].
24. Волковицкий А.К., Гладышев А.И., Гольдин Д.А. и др. Применение средств компьютерного моделирования для анализа функционирования магнитоградиентных систем // Проблемы управления. – 2021. – № 3. – С. 65–74. [Volkovitskiy, A.K., Gladyshev, A.I., Goldin, D.A., et al. A Computer Simulation Complex for Analysis of Magnetic Gradiometry Systems // Control Sciences. – 2021. – No. 3. – P. 57–65.]
25. Барбанова Е.А., Вытовтов К.А., Гладких Т.Я., Мигачев А.Н. Экологический мониторинг загрязнений водной поверхности в видимом диапазоне с использованием БПЛА // Физические основы приборостроения. – 2022. – Т. 11, № 4(46). – С. 60–67. [Barabanova, E.A., Vyotovtov, K.A., Gladkih, T.Ya., Migachev, A.N. Ekologicheskij monitoring zagryaznenij vodnoj poveryhnosti v vidimom diapazone s ispol'zovaniem BPLA // Fizicheskie osnovy priborostroeniya. – 2022. – T. 11, no. 4 (46). – P. 60–67. (In Russian)]
26. Трефилов П.М., Кулагин К.А., Мигачев А.Н. Применение виртуальных полигонов для отработки сценариев группового управления БПЛА мультикоптерного типа / Тр. 16-й всероссийской школы-конференции молодых ученых «Управление большими системами» (УБС'2019). – Тамбов, 2019. – С. 156–159. [Trefilov, P.M., Kulagin, K.A., Migachev A.N. Primenenie virtual'nyh poligonov dlya otkrabortki scenarijev gruppovogo upravleniya bpla multikopternogo tipa / Trudy 16-j Vserossijskoj shkoly-konferenciya molodyh uchenyh «Upravlenie bol'shimi sistemami» (UBS'2019). – Tambov, 2019. – P. 156–159. (In Russian)].
27. Патент RU 2760832C1 РФ. Беспилотный летательный аппарат: № RU2021109626A: заявл. 07.04.2021: опубл. 30.11.2021 Бюл. № 34 / Графенков А.В., Кулагин К.А., Мигачев А.Н. [Patent RU 2760832C1 RF. Bepilotnyi letatel'nyi ar-parat: № RU2021109626A: zavavl. 07.04.2021: opubl. 30.11.2021 Byul. № 34 / Grafenkov A.V., Kulagin K.A., Migachev A.N. (In Russian)]
28. Мигачев А.Н., Кулагин К.А. Homo Digitalis: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020616163 РФ. Запер. 11.06.2020. [Migachev, A.N., Kulagin, K.A. Homo Digitalis: Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM no. 2020616163 RF. Reg. 11.06.2020. (In Russian)]
29. Галин П.Р., Кулагин К.А., Мигачев А.Н. и др. Тренажерный комплекс беспилотной авиационной системы (БАС) полевого назначения // Матер. 14-й всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления» и 10-й молодежной школы-семинара «Управление и обработка информации в технических системах». – Ростов-на Дону, 2019. – С. 46–55. [Galina, P.R., Kulagin, K.A., Migachev, A.N., et al. Trenazhernyj kompleks bepilotnoj aviacionnoj sistemy (BAS) polevogo naznacheniya / Materialy 14-j Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Perspektivnyye sistemy i zadachi upravleniya» i 10-j molodezhnoj shkoly-seminara «Upravlenie i obrabotka informacii v tekhnicheskikh sistemah». – Rostov-na-Donu, – 2019. – S. 46–55. (In Russian)].
30. Yang, X. Parameterizing support vector machines for land cover classification // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2011. – No. 1. – P. 27–37.



31. Алчинов А.И., Гороховский И.Н. Анализ стрессовых воздействий на условия автономной навигации поисковых корреляционно-экстремальных навигационных систем // Проблемы управления. – 2022. – № 6. – С. 42–58. [Alchinov, A.I., Gorokhovskiy, I.N. Analysis of Stress Exposures on Autonomous Navigation Conditions in Search Correlation-Extreme Navigation Systems // Control Sciences. – 2022. – No. 6. – P. 35–48.]
32. Кошкарёв А.В. Толковый мини-словарь основных терминов по геоинформатике (с английскими эквивалентами) // ГИС-обозрение. – 1994. – № 1. – С. 59–62. [Koshkarev, A.V. Tolkovyy mini-slovar' osnovnykh terminov po geoinformatike (s anglijskimi ekvivalentami) // GIS-obozrenie. – 1994. – No. 1. – P. 59–62. (In Russian)]
33. Гурвиц Дж., Ньюджент А., Халпер Ф., Кауфман М. Просто о больших данных. – М.: Эксмо, 2015. – 400 с. [Hurwitz, J.S., Nugent, A., Halper, F., Kaufman, M. Big Data for Dummies. – New York: John Wiley and Sons, 2013].
34. Майоров А.А., Матерухин А.В., Кондауров И.Н. Структура системы обработки потоковых данных в геосенсорных сетях // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2018. – Т. 62, № 6. – С. 712–719. [Maiorov, A.A., Materukhin A.V., Kondaurov I.N. Struktura sistemy obrabotki potokovykh dannykh v geosensornykh setyakh // Izv. vuzov «Geodeziya i aehrofotos"emka». – 2018. – Vol. 62, no. 6. – P. 712–719. (In Russian)].
35. Алчинов А.И., Гороховский И.Н. Концепция создания прикладной географической информационной системы моделирования поисковых корреляционно-экстремальных систем автономной навигации // Проблемы управления. – 2022. – № 1. – С. 54–66. [Alchinov, A.I., Gorokhovskiy, I.N. A Conceptual Applied Geographic Information System for Modeling Search Autonomous Correlation-Extreme Navigation Systems // Control Sciences. – 2022. – No. 1. – P. 43–54.]
36. Hassan, Q.F., Khan, A.R., Madani, S.A. Internet of things: challenges, advances, and applications. – New York: Chapman & Hall, 2017. – 436 p.
37. Созыкин А.В., Гольдштейн М.Л., Грибова В.В., Москаленко Ф.М. Облачный сервис «Параллельный Matlab» // Программные продукты и системы. – 2013. – № 4. – С. 130–134. [Sozykin, A.V., Gol'dshitejn, M.L., Gribova, V.V., Moskalenko, F.M. Oblachnyj servis «Parallel'nyj Matlab» // Programmnye produkty i sistemy. – 2013. – No. 4. – P. 130–134. (In Russian)].
38. Watts, S. The Internet of Things (IoT): Applications, Technology, and Privacy Issues. – New York: Nova Science Publishers, Inc., 2016. — 118 p.
39. Массеров Д.Д. Безопасность «умного города» в процессе цифровизации городской среды // Матер. XXIV Всеросс. студ. науч.-практ. конф. Нижневартковского гос. ун-та / Под общей ред. Д.А. Погоньшева. Ч. 3. Информационные технологии. – Нижневартовск: изд-во НВГУ, 2022. – С. 135–141. [Masserov, D.D. Bezopasnost' «umnogo goroda» v processe cifrovizacii gorodskoj sredy // Mater. XXIV Vseross. stud. nauch.-prakt. konf. Nizhnevartovskogo gos. un-ta / Pod obshej red. D.A. Pogonyшева. Ch. 3. Informacionnye tekhnologii. – Nizhnevartovsk: izd-vo NVGU, 2022. – P. 135–141. (In Russian)].
40. Плахотников Д.П., Котова Е.Е. Применение искусственно-го интеллекта в киберфизических системах // XXIII Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. – Санкт-Петербург, 2020. – С. 314–317. [Plakhotnikov D.P., Kotova E.E. Primenenie iskusstvenno-go intellekta v kiberfizicheskikh sistemakh // XXIII Mezhdunarodnaya konferentsiya po myagkim vychisleniyam i izmereniyam. – Sankt-Peterburg, 2020. – S. 314–317. (In Russian)]
41. Сечин А.Ю., Адров В.Н. Фотограмметрия и облачные технологии // Геопрофи. – 2017. – № 2. – С. 24–27. [Sechin, A.Yu., Adrov, V.N. Fotogrammetriya i oblachnye tekhnologii // Geoprofi. – 2017. – No. 2. – P. 24–27. (In Russian)].
42. Ларина Е.С., Овчинский В.С. «Интернет всего»: польза и риски для общества // ОБЖ: Основы безопасности жизни. – 2021. – № 3. – С. 38–42. [Larina, E.S., Ovchinskij, V.S. «Internet vsego»: pol'za i riski dlya obshchestva // OBZH: Osnovy bezopasnosti zhizni. – 2021. – No. 3. – S. 38–42. (In Russian)].
43. Соменков С.А. Искусственный интеллект: от объекта к субъекту? // Вестник университета имени О.Е. Кутафина. – 2019. – № 2. – С. 75–85. [Somenkov, S.A. Iskusstvennyj intellekt: ot ob"ekta k sub"ektu? // Vestnik universiteta imeni O.E. Kutafina. – 2019. – No. 2. – P. 75–85. (In Russian)].
44. Ватаманюк И.В., Яковлев Р.Н. Обобщенные теоретические модели киберфизических систем // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2019. – Т. 23, № 6. – С. 161–175. [Vatamanyuk, I.V., Yakovlev, R.N. Obobshchennye teoreticheskie modeli kiberfizicheskikh sistem // Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. – 2019. – Vol. 23, no. 6. – S. 161–175. (In Russian)].
45. Bilgin, G., Erturk, S., and Yildirim, T. Segmentation of Hyperspectral Images via Subtractive Clustering and Cluster Validation Using One-class Support Vector Machines // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2011. – Vol. 49, no. 8. – P. 2936–2944.
46. Laliberte, A.D., Browning, D.M., and Rango, A. A comparison of three feature selection methods for object-based classification of sub-decimeter resolution UltraCam-L imagery // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2011. – Vol. 15. – P. 70–78.
47. Катанцев Д. Современное состояние геоинформационных систем // Армейский сборник. – 2023. – № 9. – С. 102–112. [Katancev D. Sovremennoe sostoyanie geoinformacionnyh sistem. Armejskij sbornik. – 2023. – No. 9. – P. 102–112. (In Russian)]

Статья представлена к публикации членом редколлегии  
Б. В. Павловым.

Поступила в редакцию 06.12.2023,  
после доработки 24.01.2024.  
Принята к публикации 21.02.2024.

**Алчинов Александр Иванович** – д-р техн. наук, Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, г. Москва, ✉ alchinov46@mail.ru, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-6553-376X>

**Гороховский Игорь Николаевич** – канд. техн. наук, НИЦ ТГНО 27 ЦНИИ, г. Москва, ✉ ginbox@mail.ru,

**Акифьева Елена Викторовна** – Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, г. Москва, ✉ lenatalka1@mail.ru,

© 2024 г. Алчинов А. И., Гороховский И. Н., Акифьева Е. В.



Эта статья доступна по [лицензии Creative Commons «Attribution» \(«Атрибуция»\) 4.0 Всемирная.](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

# STATE-OF-THE-ART AND DEVELOPMENT TRENDS OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

A. I. Alchinov\*, I. N. Gorokhovskiy\*\*, and E. V. Akif'eva\*\*\*

\*\*\*\*Trapeznikov Institute of Control Sciences, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

\*\*Research Center of Topographic and Navigational Support, Central Research Institute No. 27, Moscow, Russia

\*✉ alchinov46@mail.ru, \*\*✉ gin\_box@mail.ru, \*\*\*✉ lenatalka1@mail.ru

**Abstract.** When managing complex organizational and technical systems, decision support remains relevant due to the growing role and capabilities of geographic information systems (GISs). This survey is devoted to GISs. We analyze the level of their representation in the world and Russian environment, the peculiarities of their development, and the main related results obtained at the Trapeznikov Institute of Control Sciences, the Russian Academy of Sciences. We highlight the technologies and functionality of GISs that are of high demand in the field of management. A GIS is interpreted as a mechanism to process and support managerial decisions. The main foreign and Russian GISs are overviewed, including their main characteristics, applications, and development trends. We describe geoinformation technologies and algorithms implemented in full-fledged GISs and also those providing platforms for creating various-purpose GISs.

**Keywords:** geographic information system, remote sensing of the Earth, data storage, cloud service, knowledge base, modeling, visualization, aerial photography, Internet of Things, cartographic research method, artificial intelligence, machine learning.