

Введение

Геоинформатика — это научная дисциплина, изучающая принципы, технику и технологию получения, накопления, передачи, обработки и представления данных о пространственно-временных явлениях.

Дмитрий Марков

Принятый Правительством Российской Федерации курс по реализации программы цифровой экономики (ЦЭ) находится, с одной стороны, в полном соответствии с тенденциями развития экономических процессов в мире, с другой — требует развития в России основных инфраструктурных элементов ЦЭ, для реализации которых определены семнадцать федеральных проектов. С точки зрения информатики и управления особый интерес представляют: «Информационная инфраструктура» (Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, ПАО «Ростелеком», АНО «Цифровая экономика»), «Информационная безопасность» (Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, ФСТЭК России, ПАО «Сбербанк», АНО «ЦКИКТ», АНО «Цифровая экономика»), «Цифровые технологии» (Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, Министерство высшего образования и науки Российской Федерации, ГК «Росатом», ГК «Ростех», АНО «Цифровая экономика»).

Для успешной реализации проектов требуется системный подход к формированию базовых направлений и последующих положений, суть которых заключается в определении основных организационных, методологических и системотехнических решений, а именно: системы целевых показателей по этапам развития, состава функциональных задач, организации по уровням и иерархии структурного построения, принципов информационного взаимодействия, совместного функционирования, мониторинга и обеспечения информационной безопасности. Решения в рамках этого системного направления являются задающими для всех остальных направлений и проектов ЦЭ.

Развитие же инфокоммуникационного мира требует активного использования вычислительных средств, а также систем управления и принятия решений. Данные системы, являясь составной

частью информационной среды, обрабатывают большие объемы разнородных данных, формируя массивы знаний для принятия решений в различных отраслях деятельности. Такие системы со средствами визуализации и учетом географического местоположения разнородных данных образуют геоинформационные системы (ГИС).

Стоит только упомянуть термины GPS, ГЛОНАСС, Яндекс-карты, и сразу возникают образы геориентированных объектов, данные о которых используются:

- в сельском хозяйстве;
- строительстве;
- транспорте;
- недвижимости;
- экологической безопасности.

В целом в современном мире около восьмидесяти процентов всех данных содержат географическую привязку. Примерами таких данных в перечисленных сферах человеческой деятельности являются: урожайность культур в зависимости от региона или места расположения посевных площадей, элементы инфраструктуры населенных пунктов, объемы грузоперевозок по местным, региональным и трансконтинентальным маршрутам, расположение телекоммуникационных объектов для обеспечения надежной и доступной связью и информацией населения Земли.

Целью монографии является рассмотрение формирования методов, способов, алгоритмов обработки и визуализации гео- и тематических данных в дополненной реальности геоинформационных систем при решении широкого круга задач различной направленности и обеспечении повышения эффективности использования ГИС при принятии решений в условиях неполноты и качественного характера представления исходных данных.

Возникновение научной проблематики обусловлено необходимостью повышения эффективности использования геоинформационных систем в современных условиях массовой востребованности ГИС за счет разработки эффективных методов анализа, трансформации, визуализации гео- и тематических данных на основе применения компьютерных информационных технологий при неполноте и качественном характере представления исходных данных.

Объектом исследования выступают информационные системы, предметом — методы и алгоритмы анализа, трансформации, визуализации гео- и тематических данных, принятия решения.

Одной из основных задач является обеспечение целостного охвата и представления всего цикла работы с гео- и тематическими дан-

ными: от получения до принятия решения на основе их представления в ГИС и анализа. Структурно монография состоит из введения, шести глав и заключения.

В первой главе «Перспективы развития геоинформационных систем» рассматриваются ретроспектива развития ГИС, анализ методов и способов анализа, трансформации и визуализации данных, применяемых в геоинформационных системах.

Во второй главе «Определение исходных гео- и тематических данных» представлены модель данных с учетом системных связей композиции плоскостей управления и трафика, метод «относительных разниц» для определения гео- и тематических данных, его реализация при решении задачи местоположения пространственных объектов.

В третьей главе «Метод трансформации структур гео- и тематических данных для визуализации информации в ГИС» рассматриваются синтез метода трансформации структур гео- и тематических данных, алгоритм трансформации структур данных для дополненной реальности в системах хранения и визуализации информации, особенности визуализации информации с использованием трансформации структур данных.

В четвертой главе «Визуализация данных в геоинформационной системе» изложены анализ особенностей зрительного восприятия данных и свойств «золотого» сечения при визуализации информации, критерий наглядности визуализации данных с использованием свойств «золотого» сечения, алгоритмы визуализации данных по критерию наглядности, исследование условий обеспечения наглядности визуализации данных.

В пятой главе «Принятие решения с использованием геоинформационной системы» рассматриваются анализ методов принятия решения, модификация метода разложения на части подготовки принятия решения с использованием классификации пространственных объектов, способ классификации пространственных объектов.

В шестой главе «Оценка эффективности геоинформационной системы» изложены показатель эффективности использования геоинформационной системы и результаты его исследования.

В результате рассмотрены как теоретические, так и практические аспекты работы с данными. Теория охватывает методы получения, трансформации и визуализации гео- и тематических данных, а также принятия решений на основе их анализа.

Практическая направленность заключается в возможности, используя результаты теоретических исследований, разработки собст-

венных карт с помощью технологий Open Source и Open Code, новых языков программирования. Прикладной навык полезен для любого современного разработчика программного обеспечения ввиду чрезвычайного роста популярности приложений и услуг, которые используют данные с географической привязкой.

Теоретические и практические результаты, исследовательский и справочный материалы предназначены для студентов, аспирантов, а также разработчиков, специализирующихся в областях информационных систем, системного программирования, передачи и обработки информации, специалистов, которые интересуются этими проблемами, а также для широкого круга читателей, которым интересны перспективные технологии геоинформатики. Мнения, вопросы, предложения отправляйте на адрес gis.ht@yandex.ru. Автор с благодарностью обсудит с Вами проблематику и учтет ее при написании следующего издания.

1 Перспективы развития геоинформационных систем

Анализировать прошлое имеет смысл только в том случае, когда на основании этого анализа можно исправить настоящее или подготовить будущее.

Виктор Некрасов

Качественное решение задач практически всех направлений жизнедеятельности Человека на современном этапе осуществляется посредством использования центров управления (принятия решений — ситуационных центров), одним из центральных элементов которых является геоинформационная система.

Применение ГИС обусловлено возможностью наглядного восприятия геообъектов по их управлению и контролю. Анализ системных связей, закономерностей функционирования и развития геоинформационных систем дает возможность определения функционала ГИС по анализу, трансформации и визуализации данных.

Анализ перспектив развития геоинформационных систем позволит определить теоретические основы, методы, способы и алгоритмическое обеспечение анализа, трансформации и визуализации информации на основе компьютерных технологий в ретроспективе развития ГИС, соответствия динамике развития современного инфокоммуникационного мира.

1.1. Ретроспектива развития геоинформационных систем

В документах OGC и OSGeo [1, 2] геоинформационная система определяется как компьютерная система для сбора, хранения, проверки, интеграции, управления, анализа и отображения данных применительно к их расположению на поверхности Земли.

В работах С.П. Присяжнюка, В.Н. Филатова, С.П. Федоненкова [3, 6, 7] под геоинформационной системой понимают автоматизированную систему, предназначенную для обработки пространственно-временных данных, которые позволяют расширить знания о каком-либо явлении или предмете (объекте) реального мира, при этом основой их интеграции служит географическая информация.

Автоматизированная система [3] — система, состоящая из персонала и комплекса средств автоматизации деятельности, реализующая информационную технологию выполнения установленных функций ГИС.

С точки зрения выполнения основных функций в [3] дается определение ГИС как автоматизированной системы, предназначенной для сбора, обработки, анализа, моделирования и отображения данных, а также решения информационных и расчетных задач с использованием цифровой картографической, аналоговой и текстовой информации. Данное определение созвучно с определением OGC и OSGeo.

В работах Р. М. Юсупова, В. В. Поповича, Л. С. Бернштейна, И. Н. Розенберга, С. Л. Белякова [4, 5] определение ГИС рассматривается в широком и узком смыслах: в широком — система сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных данных и связанной с ними информации; в узком — инструмент (программный продукт), позволяющий пользователям анализировать и редактировать цифровые карты, а также дополнительную информацию об объектах.

Как видно из данных определений, геоинформационная система — это система, реализующая информационную технологию по выполнению установленных функций ГИС: ввода, контроля целостности и хранения данных, преобразования форматов, разграничение прав доступа, выполнения геоинформационных задач, отображения геоданных и результатов анализа данных.

Ретроспектива развития ГИС неразрывно связана с развитием информационной технологии. Рассмотрим геоинформационные системы иностранного и отечественного производства, динамично развивающиеся и представленные на рынке геослуг.

В [6, 7] предложена классификация ГИС по пространственной характеристике, региональной принадлежности, форме представления геоданных, используемым аппаратным средствам и области применения. Однако центральный элемент — реализуемый функционал (основные функции) — не рассматривался. Проанализируем технологии хранения данных и организации их взаимодействия, позволяющие не только предложить следующую классификацию ГИС, но и выявить достоинства и недостатки геоинформационных систем в ретроспективе их развития.

1. Геоинформационные системы, состоящие из одной или нескольких программ. Данные системы просты в реализации и эксплуатации, имеются ограничения при совместном использовании

Таблица 1.1

Достоинства и недостатки ГИС, состоящих из одной или нескольких программ

	Достоинства	Недостатки
Анализ данных	Реализация уникальных алгоритмов обработки геоданных	Отсутствие возможности самостоятельной разработки уникальных алгоритмов обработки геоданных
Трансформация данных	Простая трансформация в виду использования собственных форматов данных	Несовместимость с форматами данных других ГИС
Визуализация данных	Высокое быстродействие	—

геоданных в компьютерной сети (поддерживаются, как правило, функции сетевой операционной системы). Достоинства и недостатки используемых средств анализа данных, их трансформации и визуализации представлены в табл. 1.1.

2. Геоинформационные системы, функционирующие с использованием технологии клиент-сервер. Системы предполагают наличие выделенного в сети сервера геоданных, однако его функциональность, как правило, ограничена. Сложность в эксплуатации систем требует наличие квалифицированного персонала. Достоинства и недостатки используемых средств анализа данных, их трансформации и визуализации представлены в табл. 1.2.

3. Геоинформационные системы, функционирующие с использованием технологии клиент-сервер и хранящие данные с использованием одной из распространённых систем управления базами данных — СУБД (Microsoft SQL Server, Oracle, My SQL, Postgre SQL). Системы ориентированы на использование внешней СУБД и современных средств работы с ней. Следовательно, сложность в эксплуатации систем (необходимы настройки ГИС, СУБД) требует наличие квалифицированного персонала. Достоинства и недостатки используемых средств анализа данных, их трансформации и визуализации представлены в табл. 1.3.

4. Геоинформационные системы, функционирующие с использованием технологии клиент-сервер и использующие в качестве хранилища геоданных специализированные расширения SQL-сервера (Oracle Locator/Spatial для Oracle SQL Server, Microsoft Spatial для Microsoft SQL Server, Post GIS для Postgre SQL). В рамках технологии предложены решения, реализующие распределенные геоинформационные системы (одно хранилище — несколько ГИС) и использующие WEB-браузер в качестве рабочего места пользователя. Системы предполагают использование программного обеспечения

Таблица 1.2

Достоинства и недостатки ГИС, функционирующих с использованием технологии клиент-сервер

	Достоинства	Недостатки
Анализ данных	Реализация уникальных алгоритмов обработки геоданных	Отсутствие возможности самостоятельной разработки уникальных алгоритмов обработки геоданных
Трансформация данных	Простая трансформация в виду использования собственных форматов данных	Не совместимость с форматами данных других ГИС
Визуализация данных	Высокое быстродействие	—

Таблица 1.3

Достоинства и недостатки ГИС, функционирующих с использованием технологии клиент-сервер и хранящих данные с использованием одной из СУБД

	Достоинства	Недостатки
Анализ данных	—	Наличие ограничений на знание внутренней структуры СУБД
Трансформация данных	Простая трансформация в виду использования собственных форматов данных	Наличие ограничений с форматами данных других ГИС, знание внутренней структуры СУБД
Визуализация данных	—	Снижение быстродействия в виду необходимости передачи больших объемов данных по сети

сторонних разработчиков (включая свободно распространяемого и распространяемого с открытым исходным кодом). Сложность в эксплуатации систем (необходимы настройки ГИС, СУБД) требует наличие квалифицированного персонала. Достоинства и недостатки используемых средств анализа данных, их трансформации и визуализации представлены в табл. 1.4.

Недостаточность развития отечественных геоинформационных систем в вопросах анализа, трансформации и визуализации данных, а также санкционная политика стран Запада против Российской Федерации формируют особенность современной ситуации развития инфокоммуникационной отрасли в стране. Как следствие этого требуется разработка методов и способов функционирования ГИС по анализу, трансформации и визуализации данных в отрасли. Проведем анализ методов и способов анализа, трансформации и визуализации данных, применяемых в ГИС.

Таблица 1.4

Достоинства и недостатки ГИС, функционирующих с использованием технологии клиент-сервер и использующих в качестве хранилища геоданных специализированные расширения SQL-сервера

	Достоинства	Недостатки
Анализ данных	Независимость структуры хранения геоданных от разработчика ГИС	–
Трансформация данных	Интеграция форматов геоданных различных ГИС	–
Визуализация данных	Возможность использования произвольного браузера при решении на базе WEB-технологии	Снижение быстродействия при решении на базе WEB-технологии

1.2. Анализ методов и способов анализа, трансформации и визуализации данных, применяемых в ГИС

Под *методом* понимают единое решение задач определённого класса или способ теоретического исследования. *Способ* — действия или система действий, применяемых при исполнении работы (решении задачи).

Сводные данные по применяемым в ГИС методам и способам по анализу, трансформации, визуализации данных представлены в табл. 1.5–1.7.

При анализе данных в геоинформационных системах рассматриваются рассчитываемые параметры статистических характеристик выборных объектов. При этом рассчитываются: минимум, максимум, сумма, среднее значение характеристик рассматриваемых объектов. В ГИС применяются следующие основные методы анализа геоданных (табл. 1.5):

- регрессионный;
- оверлейный;
- сетевой;
- нейросетевой.

Сущность регрессионного метода заключается в представлении результатов анализа показателей в виде графика (диаграммы) распределения, таблицы статистических характеристик регрессии, коэффициентов корреляции. Также генерируются случайные гипотетические показатели на основе статистических моделей распределения с заданным параметром. По результатам анализа возможны: построение модели поверхности тренда на растровом изображении, расчет среднего центра для множества точек изображения, генери-

Таблица 1.5

Методы и способы анализа данных

Методы	Способы
1. Регрессионный. 2. Оверлейный. 3. Элементы теории графов (сетевой). 4. С помощью искусственных нейронных сетей	1. С учетом отображения на карте: <ul style="list-style-type: none"> • с учетом пространственного расположения объекта; • без учета пространственного расположения объекта; • с расчетом плотности отображаемых геоданных на картографическом сегменте. 2. Без учета отображения на карте. 3. «Из-в», «из-через»

рование векторного файла в соответствии с выбранной схемой пространственного отбора.

Оверлейный метод основан на наложении разноименных картографических слоев и создании объектов, возникающих при их геометрическом наложении. Атрибутивная информация исходных объектов наследуется производными объектами. Используются полигональные, точечные и линейные объекты.

Цифровая обработка оверлейных операций обеспечивает нахождение ошибок геоизображения для заданной точности. Операция осуществляется, как правило, двумя слоями, реже — несколькими.

Метод теории графов (сетевой метод) реализует обработку данных природного и антропогенного происхождения (реки, дороги, коммуникационные сооружения). Метод применяется при изучении топологических свойств объектов и территорий.

Метод с помощью искусственных нейронных сетей заключается в построении эмпирической зависимости без привлечения дополнительной информации для заполнения пропусков в табл. данных.

В ГИС применяются следующие основные способы анализа геоданных (табл. 1.5):

- с учетом отображения на карте:
 - с учетом пространственного расположения объекта;
 - без учета пространственного расположения объекта;
 - с расчетом плотности отображаемых геоданных на картографическом сегменте;
- без учета отображения на карте;
- «из-в», «из-через».

Способы реализации методов анализа геоданных относятся к решению специализированных задач анализа. Перечисленные способы (с учетом (без) отображения на карте — например, районирование, типология) формализуются в задаче построения отношений