
**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

Т.А. Ципилева

Геоинформационные системы

**Учебное пособие
для студентов специальности
«Государственное и муниципальное управление»**

ВВЕДЕНИЕ

Сбор, обобщение, систематизация и обработка данных об окружающем мире - основные задачи современной науки. Но результаты обработки имеют ценность только в том случае, если они должным образом представлены. Представление обеспечивает эффективное восприятие информации человеком или передачу ее на исполнительные органы в автоматизированных системах управления.

С ростом объемов информации получает самостоятельность задача эффективного хранения и поиска информации, а с растущей интеграцией компьютеров и расширением спектра их применения - задача эффективной передачи информации между компьютерами. Данные, накапливаемые человечеством о реальных объектах, как правило, содержат "пространственную" составляющую. Даже о жителе любого государства Планеты можно говорить как о пространственно-привязанном объекте, так как он имеет прописку, которая и осуществляет его "привязку" к определённому адресу, который, в свою очередь, связан с жилым домом, имеющим точное положение на территории города¹. «Пространственный адрес» имеют здания и сооружения, земельные участки, водные, лесные и другие природные ресурсы, транспортные магистрали и инженерные коммуникации. Аварии на коммуникациях связаны с определённой точкой в пространстве. Движущийся или покоящийся на дороге автомобиль, движущийся поезд, летящий самолёт и плывущий пароход, перемещаемая деталь на территории заводского цеха имеют координаты на земной поверхности.

Значительную помощь в решении задач хранения, обработки и представления информации с географической привязкой могут сыграть компьютерные технологии и, в первую очередь, геоинформационные системы. Поэтому подготовка специалиста XXI века немыслима без овладения навыками создания и использования ГИС и ГИС-технологий, которые со временем должны проникнуть во все сферы нашей жизни.

ТЕМА 1

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

1.1. Понятие информационной системы

Первым вопросом человека, не знакомого с географическими информационными системами (ГИС), будет, конечно, вопрос "А зачем мне все это

¹ Власов Ю.М., Горбачев В.Г. Геоинформационные системы ЦСО «Интегро», Уфа

нужно?". ГИС, как правило, ассоциируется у всех с картой. Однако мы не пользуемся атласами и картами каждую минуту нашей жизни! К тому же информации, причем не всегда понятной и нужной, из разных источников мы и так получаем больше, чем иногда хотелось бы. И нужно ли ее еще и систематизировать?

Найдем ответы на вопросы: что такое ГИС, для чего она нужна и как ее использовать?

Любая информационная система создается для управления конкретным объектом (предприятием, станком, человеком и др.). В соответствии с общей теорией управления, процесс управления можно представить как взаимодействие двух систем: ***объекта управления*** и ***системы управления***. Система управления функционирует на базе информации о состоянии объекта, его входов (например, материальные, трудовые, людские ресурсы) и выходов (например, выпускаемая продукция, финансовые результаты) в соответствии с поставленной целью (например, максимум продукции при минимуме затрат). Управление заключается в выявлении расхождения желаемых характеристик функционирования объекта от реальных показателей и через органы управления формирование такого воздействия на объект, которое это расхождение устремит к минимуму. Управляющее воздействие осуществляется с учетом обратной связи, т.е. текущей информации об объекте и характеристик внешней среды (рынка и вышестоящих организаций). Внедрение информационной системы производится с целью повышения эффективности деятельности объекта за счет принципиально новых методов управления.

Информационная система представляет собой коммуникационную систему по сбору, передаче, переработке информации об объекте, снаб-

жающую операторов необходимыми знаниями для реализации функций управления объектом.

Все методы, техники, приемы, средства, системы, теории, направления и т.д. и т.п., которые нацелены на сбор, переработку и использование информации, называются информационными технологиями.

Описание любой системы (включая информационную систему) должно включать следующие компоненты:

1. описание структуры: множества элементов системы и взаимосвязей между ними;
2. описание функций, реализуемых каждым элементом системы;
3. описание входов и выходов каждого элемента системы и системы в целом;
4. перечень целей и ограничений системы и ее отдельных элементов.

Структура и состав информационной системы (ИС) для управления объектом управления может выглядеть, например, как на рисунке 1.2.

Рассмотрим отдельные элементы этой информационной системы и определим их функции.

Функциональные компоненты ИС. Функциональные компоненты ИС включают в себя набор функций управления объектом, т.е. полный комплекс взаимоувязанных во времени и пространстве работ по управлению, необходимых для достижения поставленных перед оператором целей.

Любая сложная управленческая функция может быть расчленена на ряд более мелких задач, которые уже доводятся до органов управления. От того, как будут выполнены отдельные задачи, зависит результат работы объекта управления в целом.

Выбор необходимых для достижения цели работ осуществляется в каждом конкретном случае с учетом четырех основных фаз управления:

- планирования;
- учета;
- контроля и анализа;
- регулирования (исполнения).

1. Планирование работ – это первая управленческая функция, обеспечивающая формирование планов, в соответствии с которыми затем будет организовано функционирование объекта управления. Выделяют перспективное (10 лет), годовое и оперативное (сутки, месяцы) виды планирования.

2 и 3. Учет, контроль и анализ – это функции, обеспечивающие получение данных о состоянии системы за определенный промежуток времени, определение факта и причины отклонения фактического состояния объекта управления от его планируемого состояния, нахождение величины этого отклонения.

4. Регулирование – функция, обеспечивающая сравнение планируемых и фактических показателей функционирования объекта управления и формирование и *реализация* необходимых управляющих воздействий через органы управления на систему. Т. е. в этом блоке проводится выбор и обоснование перечня функциональных задач, решение которых необходимо для достижения цели. Реализация процесса достижения цели может быть многовариантной, т.е. один и тот же результат можно достигнуть с применением различных методов, моделей и алгоритмов. Как правило, среди множества вариантов имеется один, являющийся более предпочтительным и его нужно найти.

Системы обработки данных. Компоненты системы обработки данных (СОД) используются для информационного обслуживания операторов, принимающих управленческие решения.

Основные функции СОД:

- сбор, регистрация и перенос на машинные носители информации;
- передача информации в места ее хранения и обработки;
- ввод информации в ЭВМ, контроль ввода;
- создание и ведение внутримашинной базы данных;
- обработка информации на ЭВМ (накопление, сортировка, корректировка, выборка, арифметическая и логическая обработка);
- вывод информации пользователю (таблицы, тексты, графики и др.);
- организация и управление вычислительным процессом в локальных и глобальных сетях.

СОД могут работать в трех режимах: в пакетном, интерактивном и в режиме реального времени.

В *пакетном режиме* результаты работы выдаются после выполнения всего пакета заданий. Недостатком такого режима является «отрыв» пользо-

вателя информационной системы от процесса обработки информации, что снижает оперативность при формировании управляющего воздействия.

При *интерактивном* режиме происходит постоянный обмен сообщениями между пользователем и системой, управляющее воздействие формируется в полуавтоматическом или ручном режиме.

Режим реального времени используется, как правило, при управлении быстропротекающими процессами и управляющее воздействие в автоматическом режиме действует на объект в процессе его функционирования.

Практически все системы обработки данных ИС включают один и тот же набор составных частей (блоков). Основные блоки СОД: информационное, программное, техническое, правовое, лингвистическое обеспечение.

Информационное обеспечение – это совокупность методов и средств по размещению информации, оно включает в себя системы кодирования, классификации, рационализации форм документов, методы создания и ведения внутримашинных баз данных.

Программное обеспечение – это совокупность программных средств создания и эксплуатации СОД. Оно включают в свой состав базовые (общесистемные) и прикладные программы.

Техническое обеспечение – комплекс технических средств, применяемых для функционирования системы как вне ЭВМ (периферийные устройства, средства сбора информации, оргтехника и др.), так и в ЭВМ.

Правовое обеспечение – совокупность правовых норм, регламентирующих создание и эксплуатацию системы. Сюда входят любые правовые акты между заказчиком и исполнителем работы, условия придания юридической силы документам, обязанности и ответственность персонала, правила пользования информацией, порядок разрешения споров и др.

Лингвистическое обеспечение – совокупность языковых средств, используемых на всех стадиях развития системы. Например, язык общения ЭВМ и человека.

Организационные компоненты ИС. Организационные компоненты ИС – это совокупность методов и средств, позволяющих усовершенствовать структуру и функции системы, определить рациональное штатное расписание, численный состав подразделений, разработать должностные инструкции для каждого работника.

Главная задача этой компоненты – выявление соответствия организационной структуры и функций управления объектом для достижения запланированной цели. В этот блок включаются следующие функции:

- установление четких служебных обязанностей каждого работника;
- определение нормальной загрузки работников;
- разработка должностных инструкций на случай аварийных ситуаций и природных бедствий и др.

1.2. Классификация информационных систем

Имеется несколько классификаций информационных систем, зависящих от основания классификации.

В зависимости от уровня автоматизации ИС делятся на три типа:

- 1) ручные ИС (все операции по переработке информации в них производятся человеком, например, библиотека старого типа.);
- 2) автоматизированные ИС (часть функций по управлению и обработке информации поручена ЭВМ);
- 3) автоматические (все функции выполняют технические средства, например, автоматическое управление технологическим процессом, например, управление ядерным реактором).

По объему выполняемых функций ИС подразделяются на два типа: полные ИС и неполные.

1) Система называется полной, если в процессе работы такой системы осуществляется полный технологический цикл обработки информации, включающий следующие процессы:

- ввод всех видов информации данной предметной области для решения задач, поставленных перед системой;
- обработка информации с привлечением набора существующих средств;
- вывод или представление информации в заданных формах без привлечения других технических и программных средств.

2) Система называется неполной, если она осуществляет частичную обработку информации или привлекает для решения поставленных задач другие системы.

По сфере применения ИС делятся на следующие типы:

1) ИС в научных исследованиях (АСНИ): такие ИС используются для анализа деятельности научных работников, для анализа статистической информации, для управления экспериментом;

2) ИС в автоматизированном проектировании (САПР): их применяют для автоматизации труда работников-проектировщиков и разработчиков новой техники. Такие ИС помогают разрабатывать новые изделия; создавать графическую документацию; моделировать проектируемые объекты; создавать управляющие программы для станков с ЧПУ;

3) ИС организационного управления применяются для автоматизации функций административного персонала: например, ИС банков, гостиниц, страховых компаний, офисные информационные системы;

4) ИС управления технологическими процессами: такие ИС применяют для автоматизации процессов управления, особенно в опасных и вредных производствах (управление работой ядерного реактора, ускорителя частиц и др.);

5) В конце XX века появился новый тип информационных систем – **геоинформационные системы** (ГИС), а с середины 90-х годов ГИС приобрели уже статус серьезного стратегического резерва в экономике тех стран, которые вступили в период становления информационного общества.

«... именно географическая информация становится критичным компонентом в задачах содействия экономическому развитию, умелому природопользованию и защите среды обитания. Современные технологии позволяют эффективно решать задачи сбора, распространения, анализа и визуализации данных с пространственной привязкой, создания картографических материалов...» из указа США (Клинтон Б.) «О создании национальной инфраструктуры данных с пространственной привязкой», апрель 1994 г. В декабре 1996 года было принято Постановление Правительства России «ГИС как органы государственной власти (ОГУ)».

Национальное географическое общество США, Ассоциация Американских географов и Институт исследования окружающей среды (ESRI) инициировали проведение ежегодного Всемирного Дня ГИС: *19 ноября*. Основная идея Дня ГИС, по замыслу основателей, заключается в широкой просветительской деятельности каждого, кто имеет опыт и знания в этой области, во внедрении географического подхода в сознание людей по всему миру.

1.3. История ГИС

В истории развития геоинформационных систем выделяются четыре периода².

1. Пионерный период (конец 1950-х – начало 1970-х).

Это время исследования принципиальных возможностей создания ГИС, накопление знаний, наработка эмпирического опыта, создание первых крупных проектов.

2. Период государственных инициатив (начало 1970 – начало 1980 г.г.).

Развитие крупных ГИС-проектов, поддерживаемых государствами, формирование государственных программ по развитию и использованию ГИС.

3. Период коммерческого развития ГИС (начало 1980 – конец 1990 г.г.).

Создание широкого рынка программных средств ГИС, создание настольных ГИС, расширение области их применения за счет интеграции их с базами непространственных данных, появление непрофессиональных пользователей ГИС, появление распределенных баз геоданных.

4. Пользовательский период (1990 – настоящее время).

Повышение конкуренции среди коммерческих производителей ГИС-оболочек, «открытие» программных систем, позволившее пользователям

² Основы геоинформатики и ГИС-технологий. Краткий лекционный курс. Пулицинский специализированный центр новых информационных технологий

адаптировать и модернизировать оболочку к своим задачам, начало формирования мировой геоинформационной инфраструктуры.

Следы самой первой ГИС, созданной в середине 60-х, теряются в недрах Министерства обороны США, о ее мирных применениях ничего не известно. Цель этой разработки: попытка решить военную задачу точного наведения ракет на цель.

Первая ГИС, о которой появилось сообщение в печати, была ГИС, созданная в бюро переписи США.

В 1968 г. в США в интересах военно-медицинской службы был разработан проект системы автоматизированного картографирования инфекционных болезней MOD (Mapping of disease project). Эта система была рассчитана на глобальный масштаб и учитывала кроме данных о заболеваемости разнообразные факторы окружающей среды (этнический состав и плотность населения, температуру и влажность воздуха, характер почв, резервуары и переносчики возбудителей болезней и т.д.). Функционирование системы обеспечивали 15 человек, основной объем работы которых (до 90%) занимал извлечение данных из источников информации.

Начало 70-х. В это время появилось такое явление, как растровое компьютерное картографирование. Точки, линии и площадные объекты на карте были представлены множеством символов (Рис.1.3). Эти данные можно было выводить на плоттер в различных шкалах и проекциях. Все внимание и усилия в то время были сосредоточены собственно на карте, тогда и были заложены основы современной ГИС-технологии.

Очевидным преимуществом компьютерной картографии была возможность выбирать участок на карте и быстро его перечерчивать. На внесение изменений в карту, которое до введения компьютерного картографирования занимало недели, теперь можно было затратить минуты.

Рисунок 1.3 – Одна из первых растровых карт, полученных ГИС SYMAP.



В это же время был разработан графический формат GBF-DIME (*Geographic Base File, Dual Independent Map Encoding*). В этом формате впервые была реализована схема определения пространственных отношений между объектами, называемая топологией, которая описывает, как линейные объекты на карте соединены между собой, какие площад-

ные объекты граничат друг с другом, а какие объекты состоят из смежных

элементов. Впервые были пронумерованы узловые точки, присвоены идентификаторы площадям по разные стороны линий. Это стало революционным нововведением. Формат GBF-DIME позже трансформировался в TIGER.

В течение 70-х годов карты в формате GBF-DIME были созданы для всех городов США. Эту технологию и по сей день использует множество современных геоинформационных систем.

В 80-е годы были заложены основы современной компьютерной картографии. В это время внимание и усилия исследователей в основном были сосредоточены на создании качественной цифровой карты с использованием графических объектов (точек, линий и полигонов), представленных множеством координат. Очевидным преимуществом электронной картографии стала возможность выбирать участок на карте изменять масштаб, выводить ее на плоттер в различных шкалах и проекциях. Однако стоимость техники и программного обеспечения были доступными не для всех специалистов. В связи с этим, высказывались мнения даже о неперспективности и нецелесообразности развития ГИС-технологии из-за очень высокой цены конечной продукции.

Наибольший вклад в развитие ГИС и ГИС-технологий внесла компания ESRI, основанная в 1969 г. Джеком и Лаурой Данжермонд. Их бизнес начался с \$1100 личных сбережений. Позже ESRI сфокусировалась на развитии фундаментальных идей ГИС и на их применении в реальных проектах, таких, например, как разработка плана перестройки Балтимора или помощь компании Mobil Oil в выборе участка в городе Рестоне.

Во второе десятилетие своего существования *ESRI* решила начать выпуск собственных продуктов и инструментов. Данжермонд понял, что появился спрос на коммерческие ГИС, которые могут использовать многие фирмы для реализации своих проектов. Компания наняла нескольких программистов, и они засели за работу.

Первый коммерческий продукт ESRI – *ArcInfo* – появился в 1981 г. В том же году была проведена первая пользовательская конференция ESRI, на которую собралось 18 человек. По мере появления новых операционных систем и нового аппаратного обеспечения *ArcInfo* оперативно переходила на новые платформы.

Вопросы создания ГИС рассматривались и в нашей стране (правда, гораздо позже и практически без реализации). Например, на 5-м научном совещании по медицинской географии в 1981 году обсуждался доклад "Эпидемиологический атлас. Проект автоматизированного картографирования". Ряд работ белорусских авторов был связан с управлением инфекционной заболеваемостью на территории республики на основе использования ЕС ЭВМ 1022, которая оперативно выдавала информацию об инфекционной заболеваемости, прогнозе и рекомендациях в виде карт и таблиц. Это направление картографирования инфекционных болезней является наиболее проработанным и со временем привело к созданию "абсолютных" эпидемиологи-

ческих карт, синхронно отражающих обстановку на дисплеях (или воспроизводя ее ретроспективно), оставив обращение к печатанию карт лишь на случай необходимости.

По мере совершенствования технических средств увеличивалось количество картографических произведений. В разных странах мира появились компьютерные карты распределения болезней, местонахождения лечебных объектов и многих факторов, характеризующих население, природу и хозяйство. Был опубликован атлас смертности от рака в США, содержащий более 65 цветных слоев.

В 80-е годы появились и системы управления пространственными данными. Их суть заключалась в объединении картографической информации и традиционных баз данных. Это был значительный шаг вперед, так как с этого момента пользователи получили возможность отображать на карте не только собственно географическую информацию, но и вообще любые материалы, имеющие пространственную характеристику.

"Эпоха зрелости" ГИС совпала по времени с интенсивным развитием компьютерных сетей, что сыграло свою положительную роль для насыщения геоинформационных систем самыми разнообразными сведениями. В это время спрос на тематическую информацию заставил обратить внимание на проблему сбора данных. Формировалось представление об интегрированной информационной среде, когда данные космических и аэрофотоснимков мирно уживались в одной системе с цифровой топографической основой, разнообразными таблицами баз данных, графиками и т.п.

И, наконец, в 90-е годы появились интеллектуальные информационные системы, использующие одновременно визуальные и звуковые образы, разнообразные мультимедийные возможности.

Одно из последних достижений в области ГИС - построение виртуальных миров, при этом ГИС-система обеспечивает трехмерную визуализацию.

В настоящее время ГИС - это многомиллионная индустрия, в которую вовлечены миллионы людей во всем мире. Так, по данным 1997 года общие продажи программного ГИС-обеспечения только в США превысили 1 млрд. долл., а с учетом сопутствующих программных и аппаратных средств рынок ГИС приближается к 10 млрд. долларов. ГИС изучают в школах, колледжах и университетах. ГИС-технологию применяют практически во всех сферах человеческой деятельности: будь то анализ таких глобальных проблем, как перенаселение, загрязнение территории, голод и перепроизводство сельскохозяйственной продукции, сокращение лесных угодий, природные катастрофы, так и решение частных задач, таких как поиск наилучшего маршрута движения между пунктами, подбор оптимального расположения нового офиса, поиск дома по его адресу, прокладка трубопровода или линии электропередачи на местности, различные муниципальные задачи, типа регистрации земельной собственности.

В Российской Федерации сегодня с применением ГИС выполняется множество медико-экологических исследований и экспертиз, реализуются технологии управления окружающей средой и здоровьем населения путем интеграции соответствующих информационных банков с территориальными автоматизированными информационными системами.

1.4. Определение геоинформационной системы

В отечественной и зарубежной литературе можно найти много определений ГИС. Но не все определения можно считать корректными. Например, неверными следует считать следующие определения.

«ГИС – это компьютерная база данных».

«ГИС – это система управления, в которой хранятся пространственные данные».

В первом определении неверным является то, что база данных является только одной из компонент ГИС, а полная технология обработки информации в ГИС значительно шире, чем работа с базой или с базами данных.

Во втором определении некорректность заключается в том, что современная ГИС рассчитана не просто на переработку данных, но и на проведение экспертных оценок, т.е. ГИС должна включать в свой состав некоторую экспертную систему. Кроме того, данные, которые накапливаются и получаются в ГИС, должны иметь не только пространственную, но и временную привязку.

Прежде, чем привести принятые сегодня определения ГИС, необходимо рассмотреть некоторые понятия, лежащие в основе геоинформационных систем.

1. Базовым понятием является *геосистема*.

Геосистема («Ге» греч. - Земля) – это любое физико-географическое образование от географической (ландшафтной) оболочки Земли /1/.

Другим определением геосистемы является «природно-территориальный комплекс».

2. Научная дисциплина, изучающая геосистемы, называется геоинформатикой. **Геоинформатика** (*GIS technology, geo-informatics*) - наука, технология и производственная деятельность по научному обоснованию, проектированию, созданию, эксплуатации и использованию географических информационных систем, по разработке геоинформационных технологий, по прикладным аспектам, или приложениям ГИС (*GIS application*) для практических или геонаучных целей³.

³ Баранов Ю.Б., Берлянт А.М., Кошкарев А.В., Серапинас Б.Б., Филиппов Ю.А. Толковый словарь по геоинформатике. 1997.

Как видно из определения, геоинформатика имеет три понятийных определения.

А) Геоинформатика – это научная дисциплина, изучающая геосистемы (их структуру, связи, динамику, функционирование в пространстве и во времени) посредством компьютерного моделирования.

В) Геоинформатика – это технология сбора, хранения, преобразования, отображения и распространения пространственно координированной информации с целью решения задач инвентаризации, оптимизации и управления геосистемами.

С) Геоинформатика – это производство аппаратных средств и программных продуктов, включая создание баз данных, систем управления, стандартных ГИС-оболочек разного целевого назначения и проблемной ориентации.

Геоинформатика изучает природные и социально-экономические геосистемы посредством компьютерного моделирования на основе баз данных и баз знаний, современной техники хранения, сбора преобразования пространственных данных.

3. Одним из научных направлений дисциплины «Геоинформатика» являются **географические информационные системы и технологии** (ГИС и ГИС-технологии). Приставка «Гео» здесь означает использование географического, т.е. пространственного принципа организации информации. ГИС – это системы, способные реализовать сбор, систематизацию, обработку, оценку, хранение, отображенные пространственных и связанных с ними описательных данных.

Геоинформационное картографирование – это также один из разделов геоинформатики, изучающий автоматизированное картографирование на основе географических информационных систем.

Наиболее полным и правильным определением ГИС является следующее.

ГИС – это автоматизированная информационная система, предназначенная для обработки пространственно-временных данных, основой интеграции которых служит географическая информация /1/.

ГИС – это компьютерно - реализуемая мультисеть, организованная на основе информационно связанных автоматизированной информационной, информационно - моделирующей и экспертной систем /2/.

Если обойтись без определений, а ограничиться описанием, то ГИС-технология объединяет традиционные операции при работе с базами данных, такими, как запрос и статистический анализ, с преимуществами полноценной визуализации и географического (пространственного) анализа, которые предоставляет карта. Эти возможности отличают ГИС от других информацион-

ных систем и обеспечивают уникальные возможности их применения в широком спектре задач, связанных с анализом и прогнозом явлений и событий окружающего мира, с осмыслением и выделением главных факторов и причин, а также их возможных последствий, с планированием стратегических решений и текущих последствий предпринимаемых действий. ГИС - это инструментарий, с помощью которого можно решить такие задачи, для которых до этого не существовало готовых законченных решений.

Работа с ГИС начинается с таких простейших вопросов как "Что это?", или "Где это находится?". И хотя запросы к системе, реально используемые на практике, намного сложнее, идеологически они являются лишь их разновидностью. Например, это может быть вопрос «В каком направлении распространяется загрязнение атмосферного воздуха?» или «Какие населенные пункты попадут в зону выпадения радиоактивных осадков?», или «Где проживают заболевшие гриппом?» и т.д.

Одна из ключевых задач, решаемых в ГИС – это создание, ведение и обновление цифровых карт и планов, связывание их с базами атрибутивных данных, обмен данными с другими системами. Требования, которые первоначально предъявляют пользователи к ГИС, варьируют в очень широком диапазоне: от "сохранения существующего фонда традиционных планов по причине ухудшения состояния материала, на котором они были вычерчены до "интеграции пространственных и связанных с ними данных, постоянно обновляемых по одной и той же территории различными организациями". Как правило, у одних и тех же пользователей по мере освоения ГИС требования меняются содержательно и качественно от простейших к более сложным.

Информацию для ГИС могут поставлять самые разнообразные источники: географические карты и планы, нормативные и правовые документы, фотограмметрические данные, результаты полевых испытаний, научные отчеты и др.

1.5. Состав ГИС

Геоинформационные системы включают в себя пять ключевых составляющих⁴:

- аппаратные средства;
- программное обеспечение;

⁴ Журнал САПР и графика, №5, 2000 г.

- данные;
- исполнителей;
- методы.

Аппаратные средства - это компьютер, на котором функционирует ГИС, и все периферийные устройства, которые используются для получения информации, ввода ее в ЭВМ и предоставление пользователю ГИС результатов. В настоящее время ГИС работают на различных типах компьютерных платформ, от централизованных серверов до отдельных или связанных сетью настольных компьютеров

Программное обеспечение ГИС содержит инструменты, необходимые для хранения, анализа и визуализации географической (пространственной) информации. Ключевыми компонентами программных продуктов являются: средства ввода и оперирования географической информацией; система управления базой данных; инструменты поддержки пространственных запросов, анализа и визуализации (отображения); графический пользовательский интерфейс для легкого доступа к инструментам и функциям.

Данные - это наиболее важный компонент ГИС. Данные о пространственном положении (географические данные) и связанные с ними табличные или атрибутивные данные могут собираться и подготавливаться самим пользователем, либо приобретаться у поставщиков на коммерческой или другой основе. В процессе обработки данных ГИС интегрирует пространственные данные с другими типами и источниками данных, а также может использовать СУБД, применяемые многими организациями для упорядочивания и поддержки имеющихся в их распоряжении данных.

Исполнители. Широкое применение технологии ГИС невозможно без людей, которые работают с программными продуктами и разрабатывают планы их использования при решении реальных задач. Пользователями ГИС могут быть как технические специалисты, разрабатывающие и поддерживающие систему, так и обычные сотрудники (конечные пользователи), которым ГИС помогает решать текущие каждодневные дела и проблемы.

Методы. Успешность и эффективность (в том числе экономическая) применения ГИС во многом зависит от правильно составленного плана и правил работы, которые составляются в соответствии со спецификой задач и работы каждой организации.

Существующие и разрабатываемые ГИС могут значительно отличаться друг от друга по возможностям, основным технологиям обработки информации, по требуемой технической конфигурации, по вычислительным ресурсам и др. Кроме того, не всегда разработчик автоматизированной информационной системы может дать ответ на вопрос: «Относится ли его информационная система к классу ГИС»? Поэтому актуальным является выявление перечня типичных признаков принадлежности информационной системы к классу ГИС и описание ее основных особенностей, которое можно получить на основе системного анализа систем.

1.6. Обобщенная структура ГИС и схема ее построения

Для решения задачи определения обобщенной структуры ГИС воспользуемся методом общей теории систем.

Определим ГИС (S) как отображение входного множества X (множество входных данных или первичных элементов системы) на выходное множество Y . Формально это можно записать:

$$S: X \rightarrow Y$$

Любая **сложная** система (ГИС является сложной системой) должна быть неоднородной (гетерогенной), поэтому систему можно разбить на однородные компоненты (подсистемы) путем выделения стратов. Страты – это уровни, определяемые по совокупности сходных признаков. В зависимости от критериев оценки система может быть стратифицирована по-разному.

Стратификация системы возможна, если множества входной (X) и выходной (Y) информации неоднородны и представимы в виде декартовых произведений ($\otimes$), т.е. если входная и выходная информация образуют два независимых базиса X_i и Y_i :

Например, можно разбить систему на следующие подсистемы (Рис. 1.5), где штриховкой выделены страты: $S_1, \dots, S_k, \dots, S_n$

Тогда вся система может быть описана в виде совокупности n уровней, для каждого из которых можно записать:

где E и W соответствующие нисходящие и восходящие потоки информации, обеспечивающие связь между стратами. Наличие восходящих и нисходящих потоков информации объединяет уровни в единую систему. Отсутствие этих потоков приводит к тому, что исходная система разбивается на отдельные более мелкие самостоятельные *независимые* системы.

Рассмотрим типовую схему построения *обобщенной ГИС* [3/].

Первый этап: формирование основных требований к системе на словесном (вербальном) уровне без какой-либо формализации: определение источников входной информации, определение требований к формам выходных данных, составление перечня задач, которые должна решать разрабатываемая система, определение разумных ограничений.

Второй этап: определение концепции решения проблемы или задачи: выбор необходимых методов решения задач, подбор алгоритмов, выбор ГИС-оболочки.

Третий этап: детализация общей задачи создания системы, определение описаний для перехода от словесных формулировок к схемному и логически связанному описанию, разбиение целостной системы на основные составляющие части. В результате выполнения третьего этапа определяется структура ГИС.

На первых трех этапах формируется *инфологическая модель* системы.

Четвертый этап: алгоритмизация методов и решений задач, стоящих перед исследователями; выбор модели, технологических и математических решений, определение перечня слоев для создания выходной электронной карты, формирование логической структуры данных.

Пятый этап: оптимизация структуры на основе дополнительных исследований предметной области и специфики решаемых задач.

Этим этапом заканчивается *логический уровень* построения системы.

Шестой этап: Реализация системы. Программирование необходимых задач, которые планируется решать в среде проектируемой ГИС. В терминах проектирования происходит переход на физический уровень.

Седьмой этап: Модернизация созданной ГИС, учет возможных ситуаций функционирования, возможности дальнейшего развития.

Шестой и седьмой этапы соответствуют **физическому уровню** построения системы.



Чаще всего начинают построение ГИС с анализа данных с целью разбиения информации на независимые потоки. Наиболее распространено в ГИС-технологии деление потоков на **три** группы по технологическим характеристикам /1/:

1) при сборе и накоплении данных – **входная информация** (таблицы, графики, карты и др.);

2) при моделировании и хранении информации – **внутренняя информация** (рабочие файлы покрытий, базы данных, и др.);

3) при представлении результирующих данных – **выходная информация** (выходные документы, специализированные компьютерные атласы, карты и др.)

Действительно, сбор информации происходит независимо от ее последующего хранения и алгоритмов обработки; выдаваемая пользователю выходная информация не зависит от процедур сбора и переработки и т.д. Это и позволяет стратифицировать входные и выходные потоки на три совокупности. Для ГИС-технологии можно записать /1/:

$$X = (X_1 \otimes TZ_c \otimes TZ_m \otimes TZ_n),$$

$$Y = (X_y \otimes ЦММ \otimes ЦМК)$$

где TZ_c – техническое задание на сбор и накопление информации;

TZ_m – техническое задание на хранение, моделирование и обновление информации;

TZ_n – техническое задание на представление результата после обработки;

X_1 – множество первичных данных, собираемых или измеряемых;

X_y – множество унифицированных данных, получаемых после сбора и первичной обработки;

$ЦММ$ – цифровая модель местности, хранимая в базе данных ГИС;

$ЦМК$ – цифровая модель карты, сгенерированная для визуального представления пользователю (для выдачи на дисплей или на печать).

$ЦМК$ – результат обработки $ЦММ$ для визуального представления в виде карты.

Множество X_1 – это сложная совокупность данных, являющихся результатом обработки фото – аэро - и космических снимков, результатов предварительного компьютерного моделирования, геодезических съемок на местности, считывания с карт, извлечение данных из архивных документов и др.

Обобщенную ГИС можно представить в виде следующей стратифицированной модели:

$$VCO : X_1 \otimes TZ_c \otimes HT_m \rightarrow X_y$$

$$UMX : X_y \otimes TZ_m \otimes HT_n \rightarrow ЦММ$$

$$VP : TZ_n \otimes ЦММ \rightarrow ЦМК$$

где VCO – системный уровень сбора и первичной обработки информации;

UMX – системный уровень моделирования и хранения;

VP – системный уровень представления данных;

HT_m и HT_n – нормативные требования к данным при моделировании и представлении выходной информации.

Для концептуального построения ГИС необходимо выделить HT_m и HT_n , т.е. информационную основу.

На рисунке 1.7. показана структура обобщенной ГИС в виде трехуровневой системы. По этим уровням можно проводить сравнение различных ГИС и других автоматизированных систем.

В данной схеме используется термин «обобщенная» - т.к. система абстрагирована от конкретных ГИС.

$$\text{ГИС: } X \rightarrow Y$$

$$X = (X_l \otimes TЗ_c \otimes TЗ_m \otimes TЗ_n)$$

$$Y = (X_y \otimes ЦММ \otimes ЦМК)$$

На первом системном уровне (уровень VCO) проводится сбор первичной информации X_l , получаемой с помощью различных систем и технологий. Информация имеет, как правило, разнородную структуру: это и карты, и таблицы, графики и диаграммы, пояснительные записки и отчеты НИР, архивные документы и результаты полевых испытаний. В ходе первичной обработки полученные данные корректируются, унифицируются и в результате получается унифицированное множество информации X_y , которое частично сохраняется в виде архивов и **полностью** передается на второй уровень – на уровень моделирования. Основные задачи первого уровня: **распознавание, структуризация, компоновка, измерение, сжатие**.

На втором системном уровне ($УМХ$) проводится анализ входных унифицированных данных, устраняется (если есть) избыточность, проводится проверка на целостность и непротиворечивость данных, определяются внутренние и внешние ключи, формируются метаданные. Затем строится цифровая модель местности ($ЦММ$), которая хранится вместе с метаданными в базе данных системы. $ЦММ$ - многослойная структура - служит основой для мо-

делирования и решения различных прикладных задач. В результате работы системы на втором уровне сформированная *ЦММ* и результаты обработки входной информации передаются на третий уровень. Задачи второго уровня: **типизация, геометрического преобразования, задачи экспертного типа, построения цифровых моделей** и др.

На третьем уровне (уровень УП) *ЦММ* преобразуется в цифровую модель карты (в *ЦМК*), которая служит основой представления информации. Основные задачи третьего уровня: **оптимизация, компоновка, синтез** и др.

Любая ГИС должна обладать всеми присущими обобщенной ГИС свойствами.

Если в ГИС присутствуют все три системных уровня, то такая ГИС называется ***полной***, в противном случае ГИС будет называться ***неполной***.

В общем виде схемы ГИС могут включать дополнительные подсистемы (ПдС):

- ПдС семантического моделирования (кодирования) собираемой информации (на первом уровне);
- ПдС имитационного моделирования для контроля входных данных (на первом уровне);
- ПдС геометрического моделирования (первый, второй и третий уровни);
- ПдС имитационного моделирования для контроля модельных решений (второй уровень);
- ПдС коррекция информации на основе векторных и скалярных преобразований (первый и второй уровни);
- ПдС интерактивного моделирования (второй уровень);
- ПдС документального обеспечения (третий уровень).

1.7. Что могут геоинформационные системы?

ГИС общего назначения обычно выполняет пять типов задач с данными: ввод, манипулирование, управление, запрос и анализ и визуализацию⁵.

Ввод данных. Данные для использования их в геоинформационных системах должны быть преобразованы в подходящий цифровой формат. Процесс преобразования данных с бумажных карт в компьютерные файлы называется оцифровкой. В современных ГИС этот процесс может быть автоматизирован с применением сканерной технологии, что особенно важно при выполнении крупных проектов, либо, при сравнительно небольшом объеме работ, данные можно вводить с помощью дигитайзера. Некоторые ГИС имеют встроенные векторизаторы, автоматизирующие процесс оцифровки рас-

⁵ <http://www.dvgu.ru/pin/math/gis1/gis.htm>

тровых изображений. Многие данные уже переведены в форматы, напрямую воспринимаемые ГИС-пакетами.

Манипулирование данными. Часто для выполнения конкретного проекта имеющиеся данные нужно дополнительно видоизменить в соответствии с требованиями системы. Например, географическая информация может быть представлена в разных масштабах (осевые линии улиц представлены в масштабе 1: 100 000, границы округов переписи населения - в масштабе 1: 50 000, а жилые объекты - в масштабе 1: 10 000). Для совместной обработки и визуализации все данные удобнее представить в едином масштабе и в одинаковой картографической проекции. ГИС-технология предоставляет разные способы манипулирования пространственными данными и выделения данных, нужных для решения конкретной задачи.

Управление. В небольших проектах географическая информация может храниться в виде обычных файлов. Но при увеличении объема информации и росте числа пользователей для хранения, структурирования и управления данными эффективнее применять системы управления базами данных, специальные компьютерные средства для работы с интегрированными наборами данных. В ГИС наиболее удобно использовать реляционную структуру, при которой данные хранятся в табличной форме. При этом для связывания таблиц применяются общие поля. Этот простой подход достаточно гибок и широко используется во многих ГИС.

Запрос и анализ. При наличии геоинформационной системы и географической информации можно получать ответы как на простые вопросы (Кто владелец данного земельного участка? На каком расстоянии друг от друга расположены эти объекты? Где расположена данная промышленная зона?), так и на более сложные, требующие дополнительного анализа, запросы (Где есть места для строительства нового дома? Каков основной тип почв под еловыми лесами? Как повлияет на движение транспорта строительство новой дороги?). Запросы можно задавать как простым щелчком мыши на определенном объекте, так и посредством развитых аналитических средств. С помощью ГИС можно выявлять и задавать шаблоны для поиска, проигрывать сценарии по типу "что будет, если...". Современные ГИС имеют множество мощных инструментов для анализа, среди них наиболее значимы два: анализ близости и анализ наложения. Для проведения анализа близости объектов относительно друг друга в ГИС применяется процесс, называемый буферизацией. Он помогает ответить на вопросы типа: Сколько домов находится в пределах 100 м от заданного водоема? Сколько покупателей живет не далее 1 км от данного магазина? Какова доля добытой нефти из скважин, находящихся в пределах 10 км от здания управления данного НГДУ? Процесс наложения включает интеграцию данных, расположенных в разных тематических слоях. В простейшем случае это операция отображения, но при ряде аналитических операций данные из разных слоев объединяются физически. Наложение, или пространственное объединение, позволяет, например, интег-

рировать данные о почвах, уклоне, растительности и землевладении со ставками земельного налога.

Визуализация. Для многих типов пространственных операций конечным результатом является представление данных в виде карты или графика. Карта - это очень эффективный и информативный способ хранения, представления и передачи географической информации. Раньше карты создавались на столетия. ГИС предоставляет новые удивительные инструменты, расширяющие и развивающие искусство и научные основы картографии. С ее помощью визуализация самих карт может быть легко дополнена отчетными документами, трехмерными изображениями, графиками, таблицами, диаграммами, фотографиями и другими средствами, например, мультимедийными.

Многие организации, применяющие ГИС, обнаружили, что ГИС-технология позволила улучшить управления собственной организацией и ее ресурсами на основе географического объединения имеющихся данных и возможности их совместного использования с другими подразделениями. Возможность коллективного использования и постоянного наращивания и исправления баз данных позволила повысить эффективность работы, как каждого подразделения, так и организации в целом. Например, компания, занимающаяся инженерными коммуникациями, смогла четко спланировать ремонтные или профилактические работы, начиная с получения полной информации и отображения на экране компьютера соответствующих участков (например, водопровода) и заканчивая автоматическим определением жителей, на которых эти работы повлияют, и уведомлением этих жителей о сроках предполагаемого отключения или перебоев с водоснабжением.

ГИС, как и другие информационные технологии, подтверждает известную крылатую фразу о том, что лучшая информированность помогает принять лучшее решение. Однако, ГИС - это не только инструмент для выдачи решений, ГИС - это средство, помогающее ускорить и повысить эффективность процедуры принятия решений. Она позволяет дать ответы на запросы и представление результатов анализа в наглядном и удобном для восприятия виде.

С помощью ГИС, например, можно решать задачи предоставления разнообразной информации по запросам органов планирования, разрешать территориальные конфликты, выбирать оптимальные (с разных точек зрения и по разным критериям) места для размещения объектов и другие задачи. Требуемая для принятия решений информация может быть найдена в лаконичной картографической форме с дополнительными текстовыми пояснениями, графиками и диаграммами. Наличие доступной для восприятия и обобщения информации позволяет ответственным работникам сосредоточить свои усилия на поиске решения, не тратя значительного времени на сбор и осмысливание доступных разнородных данных. Можно достаточно быстро рассмот-

реть несколько вариантов решения и выбрать наиболее эффективный, эффективный или экономически целесообразный.

Картам в ГИС отведено особое место. Процесс создания карт в ГИС намного более прост и гибок, чем в традиционных методах ручного или автоматического картографирования. Процесс начинается с создания базы данных. В качестве источника получения исходных часто пользуются оцифровкой обычных бумажных карт. Основанные на ГИС картографические базы данных могут быть непрерывными (без деления на отдельные листы и регионы) и не связанными с конкретным масштабом или картографической проекцией. На основе таких баз данных можно создавать карты (в электронном виде или твердые копии) на любую территорию, любого масштаба, с нужной тематической нагрузкой, с выделением и отображением требуемых символов. В любое время база данных может пополняться новыми данными (например, из других баз данных), а имеющиеся в ней данные можно корректировать и тут же отображать на экране по мере необходимости. В крупных организациях созданная топографическая база данных может использоваться в качестве основы другими отделами и подразделениями, при этом возможно быстрое копирование

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ТЕМЕ 1

1. Какова роль информационной системы в обобщенной системе управления объектом?
2. Назовите основные компоненты информационной системы?
3. Какие функции выполняет организационная компонента информационной системы?
4. Какие блоки входят в систему обработки информации?
5. Из каких двух крупных подразделов состоит блок “Программное обеспечение”?
6. Какие функции выполняются блоком “Информационное обеспечение”?
7. Дайте определение информационной системе.
8. Приведите классификацию информационных систем по сфере их применения.
9. Дайте определение геоинформационной системы.
10. Из скольких этапов состоит схема построения обобщенной ГИС?
11. На каких этапах формируется логическая модель ГИС?
12. Что такое “инфологическая модель ГИС”?
13. Какая система считается неоднородной?
14. На какие группы, как правило, делятся информационные потоки в ГИС?
15. На какие основные уровни разбивается обобщенная схема ГИС?
16. Что такое “цифровая модель местности”?

17. Чем являются нормативные требования на моделирование для уровня УСО?
18. Чем является ЦММ для уровня УП?
19. На каком уровне реализации ГИС приводится унификация данных?
20. На каком уровне реализации ГИС формируется тематическая карта?
21. В каких режимах могут работать системы обработки данных?
22. Является ли должностная инструкция элементом информационной системы?
23. Когда появилось в печати первое сообщение о геоинформационной системе?
24. Когда отмечается Международный День ГИС?
25. На каком уровне строится цифровая модель местности?

ТЕМА 2

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ДАННЫХ В ГИС

2.1. Основные понятия моделей данных

В ГИС используются разнообразные данные об объектах реального мира: характеристики земной поверхности, свойства геологических объектов, информация о формах и связях между объектами, описательные характеристики объектов предметной области. Чтобы полностью отобразить геологические объекты и их свойства в ГИС, потребовалась бы бесконечно большая база данных. Поэтому, создавая ГИС, используют приемы *генерализации и абстракции*.

Генерализация представляет собой набор процедур классификации и обобщения, предназначенный для отбора и отображения картографических объектов, соответственно масштабу, содержанию и тематической направленности создаваемой цифровой карты, т.е. процедуры, позволяющие сохранить информативность при уменьшении объема данных. Одни и те же объекты или их свойства по-разному оцениваются для различных ландшафтов (колодцы, например, исключаются в топологических картах центральных районов, но очень важны для районов пустыни). Генерализация проявляется в обобщении количественных и качественных характеристик объектов, в отборе значимых картографических объектов для отображения, в переходе от простых объектов к их собирательным значениям. Иными словами, при генерализации сохраняется только значимая для данной задачи информация, детальная информация опускается. Картографическая генерализация - это отбор главного, существенного и его целенаправленное обобщение, имеющее в виду изображение на карте той или иной части действительности в её основ-

ных, типических чертах и характерных особенностях соответственно назначению, тематике и масштабы карты.

Абстракция – процедура типизации данных. При этой процедуре данные *преобразуются* таким образом, чтобы из большого количества данных получить новые более емкие по значению данные. Чаще всего первым этапом является классификация данных с последующей заменой элементов группы элементом-представителем.

При генерализации и абстракции множество исходных данных сводится к разумному конечному объему. Это производится путем применения математических моделей, сохраняющих основные свойства объектов, но при этом не сохраняющих их второстепенных свойств. Поэтому первым этапом разработки ГИС является обоснование выбора модели данных для создания информационной основы ГИС.

В ГИС используются несколько видов моделей, каждая модель бывает более пригодной для определенных типов данных и для определенных областей применения. В процессе разработки, создания и функционирования ГИС все многообразие исходных данных преобразуется в единую обобщенную модель (иногда совокупность моделей) данных, которая и сохраняется в базе данных ГИС и является информационной основой базы данных. При выборе модели учитывается требование достижения следующих свойств информационных массивов:

- 1) целостность;
- 2) непротиворечивость;
- 3) оптимальность хранимой информации.

Выделяют два уровня моделей: более высокий – модель объектов, и более низкий – модель данных. Модели объектов состоят из композиции моделей данных, организованных в многоуровневую структуру, на нижнем уровне находятся элементарные (атомарные) модели данных. Из элементарных моделей конструируются более сложные в зависимости от типов связей в сложной системе и от качественных характеристик атомарных моделей.

Ниже приведены основные определения, свойственные информационным структурам ГИС.

Предметная область. Подмножество (часть реального мира), на котором определяется набор данных и методов манипулирования ими для решения конкретных задач.

Информационные единицы - это элементы, из которых создаются информационные модели. Основу информационных моделей составляют следующие единицы.

1. **Знак.** Знак – это элементарная единица информации, являющаяся реализацией свойств объекта в заранее заданной, структурно организованной знаковой системе.

Примеры знаков:

- Знаковая система - целые десятичные числа. Знаками в ней будут «1», «3», «77» и др., но не «3.14»;
- в знаковой системе двоичных чисел – «1», «11», «101», «10,11»;
- в системе русского алфавита - «ы», «в», «А».

2. **Тип.** Тип – это совокупность моделей или объектов, объединенных общим набором признаков, или класс подобных знаков. Для первого из вышеприведенных примеров: тип - «целый»; для второго: тип - «двоичный», для третьего: тип - «кириллица».

Для выделения типов применяют процедуры типизации. Типизация - объединение данных по набору заданных признаков или выделение из множества данных тех, которые удовлетворяют заданным критериям (признакам).

Знак рассматривают как реализацию типа, тип - как обобщение совокупности знаков. Следовательно, знак представляет индивидуальные свойства модели, а тип - ее общие свойства.

3. **Сущность.** Сущность – это элемент модели, описывающий законченный объект или понятие (например, сущность - «человек»).

4. **Атрибут.** Элементарное данное, описывающее одно из свойств сущности (например, «рост человека»).

5. **Атрибут данных.** Свойство данных («рост человека, равный 170 см»).

6. **Запись данных.** Формальное представление сложной информационной модели без описания ее структуры. Запись бывает физической и логической.

Логическая запись – это информационная единица, соответствующая одному шагу обработки информации.

Физическая запись – это порция информации, которая является единицей обмена данными между внешней и внутренней памятью ЭВМ.

7. **Даталогическая модель ГИС** – это модель логического уровня описания геоинформационной системы, состоящая из логических записей и отображения связей между ними безотносительно к виду реализации. Описание даталогической модели называют *схемой*.

Даталогическое проектирование – это этап построения схемы ГИС.

8. **Физическая модель ГИС** – это модель среды хранения данных физического уровня. Физическая модель строится с учетом реальных СУБД.

Абстракция – это процедура структуризации (типизации) данных. Различают два вида: обобщение и агрегация.

Обобщение. Бывает собственно обобщение и классификация.

Собственно обобщение. Процедура соотнесения множества типов одному типу («есть часть...»).

Классификация. Соотнесение множества знаков одному типу.

Экземплярия (от слова «экземпляр»). Процедура порождения реализации на основе известной классификации (обратная классификации).

Специализация. Процедура порождения типов на основе общего класса типов (обратная обобщению).

Агрегация. Процедура конструирования объекта из других объектов (соотносится с понятием «есть некоторые ...»).

2.2. *Классификационные модели в ГИС*

2.2.1. *Основные определения классификации*

При создании информационной модели ГИС чаще всего используются методы классификационного анализа.

Разделение исследуемой совокупности объектов или явлений на однородные (в принятом смысле) группы называется классификацией.

Термин «классификация» используют как для обозначения самого процесса разбиения набора данных на группы, так и для описания его результата. Потребность анализа информации, связанной с распределением объектов по группам через классификацию их характеристик, сознавали ученые далекого прошлого. Еще Аристотель (д.н.э.) ввел некоторые понятия классификации, основанные на сходстве и различии характеристик при «построении дерева вещей жизни». После Аристотеля наиболее крупный вклад внесли М. Адансон (иерархическая классификация растений, 1757 г.), Д.И. Менделеев (периодическая таблица химических элементов, 1869 г.) и др.

Все задачи классификации подразделяются на два типа.

К задачам *классификации первого типа* относятся те, в которых некоторое множество измерений необходимо разделить на устойчивые группы. Эти задачи называются задачами классификации без учителя, кластеризации, таксономии, типизации.

Задачи *классификации второго типа* характеризуются тем, что исходные данные уже заранее были разгруппированы, необходимо оценить их и информативность относительно совокупности известных эталонов. Называются такие процедуры также распознавание образов, обучение с учителем.

Ниже приведены четыре основных методологических принципа, на которых базируются все основные разделы и подходы математического аппарата классификации.

Принцип первый. Эффект существенной многомерности. Сущность принципа заключается в том, что выводы, получаемые в результате анализа и классификации множества статистически обследованных (по ряду свойств) объектов, должны опираться одновременно на совокупность этих взаимосвязанных свойств с обязательным учетом структуры и характера их связей.

Суть этого принципа можно объяснить на примере. Однажды была сделана попытка различить два типа потребительского поведения семей. Были

накоплены данные по двум характеристикам: расходы на питание и расходы на приобретение промышленных товаров. К каждой из характеристик (отдельно) применяли критерий однородности Стьюдента, результат анализа не показал значимого различия групп семей. Многомерный аналог этого же критерия, учитывающий одновременно значения обоих упомянутых признаков и характер статистической связи между ними обнаружил статистически значимое различие между двумя анализируемыми совокупностями семей. То есть, статистический анализ множества объектов будет неполным, если ограничиться при этом только средними значениями признаков и не использовать разнообразные характеристики тесноты и структуры связи между ними.

Принцип второй. Возможность лаконичного объяснения природы анализируемых многомерных структур. Многомерная структура – это множество статистически обследованных объектов реального мира $\{O_1, O_2, \dots, O_k\}$.

Результаты обследования представляются в одной из двух форм:

- в виде таблицы «объект-свойство» (ТОС), которая имеет вид $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$, где $X_i = (X_i^1, X_i^2, \dots, X_i^p)^T$ – вектор значений анализируемых признаков, зарегистрированных на i -том объекте.

- матрицы парных сравнений вида объектов вида:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix},$$

где элемент a_{ij} определяет результат сопоставления объектов O_i и O_j в смысле некоторого заданного отношения: a_{ij} . Отношение может выражать, например, меру сходства или различия элементов O_i и O_j , меру их связи, геометрическое расстояние между объектами, отношение предпочтения ($a_{ij}=1$, если объект O_i не хуже объекта O_j и $a_{ij}=0$ в противном случае) и др.

Под возможностью лаконичного объяснения природы анализируемой многомерной структуры понимается априорное допущение, что существует небольшое (по сравнению с числом признаков) число типобразующих (определяющих) факторов, с помощью которых могут быть достаточно точно описаны все элементы матриц X и A , а также характер связей между ними. При этом определяющие факторы могут находиться как среди статистически исследуемых данных, так и среди **латентных**, т.е. статистически не наблюдаемых, но восстанавливаемых через исходную информацию данных. Пример – периодическая система Менделеева. В ней определяющим фактором

(характеристикой) всех элементов-объектов является заряд атомного ядра элемента.

Принцип третий. Максимальное использование «обучения» в настройке математических моделей классификации. Если исследователь располагает «входами» и «выходами» модели классификации, то исходный набор данных называют *обучающей выборкой*. Целью исследования является описание процедур, с помощью которых для любого элемента, вновь поступившего на вход, можно было бы с достаточной точностью определить номер класса, к которому он относится. Такие задачи – типичные задачи медицинской диагностики, где заранее известны наборы симптомов различных заболеваний и пациенту, обратившемуся к врачу, после обследования ставится диагноз на основе уже имеющегося опыта.

Однако имеется ряд задач, для которых обучающая выборка полностью неизвестна, например, в больницу поступил больной с симптомами неизвестной врач болезни. В этом случае по такой обобщенной входной информации может быть произведена «настройка» математической модели.

Принцип четвертый. Оптимизационная формулировка задач классификации. Среди множества возможных методов, реализующих поставленную цель классификационной обработки входных данных, нужно найти наилучший метод с помощью оптимизации некоторого заданного критерия (функционала) качества. Как правило, это достигается с учетом априорной информации об объекте исследования.

Содержательная постановка задачи автоматической классификации. Всякие закономерности ищутся для практического удобства. Закономерности «групповой схожести» позволяют сильно сократить описание ТОС при малой потере информации. Вместо перечисления всех объектов исходного множества можно составить список «типовых» или «эталонных» представителей групп, указать номера объектов, попавших в эти группы, и средние или максимальные отличия их свойств от свойств «эталонов». При небольшом числе групп описание расклассифицированных данных становится обозримым и легко интерпретируемым. Такая группировка выполняется с помощью методов таксономии (синонимы: автоматическая классификация, кластерный анализ, самообучение). Алгоритмы автоматической классификации (АК), а их известно более сотни, отличаются друг от друга процедурой группировки (разбиения) и критерием качества. Но во всех алгоритмах используются общие понятия.

Пусть данные ТОС, подлежащие классификации, содержат M объектов $O = (O_1, O_2, \dots, O_m)$, описанных N свойствами каждый $X = (x_1, x_2, \dots, x_f, \dots, x_n)$. Требуется сформировать K таксонов $K \leq M$, каждый из которых описывался бы T характеристиками $S = (s_1, s_2, \dots, s_f, \dots, s_t)$, $1 < T < N$. Различные варианты разбиения объектов на K таксонов будем сравнивать по критерию качества F .

Если свойства представить в виде координат метрического пространства, то каждый объект со своими значениями свойств будет отображаться в некоторую точку этого пространства (Рис.2.1). Два объекта с почти одинаковыми значениями свойств отобразятся в две близкие точки, объекты с сильно различающимися свойствами будут представлены далекими друг от друга точками. Если получатся «сгустки» точек, отделенные от других сгустков промежутками, то их целесообразно выделить в отдельные структурные части множества – классы. Таким образом, можно получить K таксонов ($K < M$), каждый из которых объединяет точки с «близкими» значениями свойств. В дальнейшем каждый новый объект, описанный набором характеристик X_n , с помощью методов распознавания образов может быть отнесен к тому или иному классу.

Объект	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X	2	5	3	9	6	0	2	4	5
Y	3	1	2	7	7	2	4	4	8

Рассмотрим два простейших алгоритма АК, известных как эвристические алгоритмы. Отличительной чертой этих алгоритмов является то, что они выделяют таксоны простой гиперсферической формы. Базовым алгоритмом является алгоритм ФОРЕЛЬ (от первых букв **ФОР**мальный **АЛ**горитм).

2.2.2. Эвристический алгоритм «Форель»

Алгоритм ФОРЕЛЬ работает с ТОС, элементами которой являются только количественные данные. Объекты, включенные в один класс, попадают в гиперсферу с центром C и радиусом R . Изменяя радиус, можно полу-

чить разное количество классов K . При фиксированном заданном радиусе R алгоритм ФОРЕЛЬ работает следующим образом.

1. Центр $C^{(1)}$ некоторой гиперсферы с радиусом R помещается в любую из точек исходного множества объектов.

2. Определяются точки, оказавшиеся внутри этой гиперсферы. Для этого вычисляется расстояние ρ от точки $C^{(1)}$ до всех M точек, и те из них для которых $\rho \leq R$, считаются «внутренними».

3. Для внутренних точек вычисляется центр тяжести (точка с координатами, равными усредненным значениям по каждому признаку).

4. Центр сферы перемещается в вычисленный центр тяжести $C^{(2)}$.

5. Для нового центра сферы вновь находятся внутренние точки и их центр тяжести.

6. Процедура перемещения гиперсферы повторяется до тех пор, пока не перестанут изменяться координаты центра тяжести $C^{(i)}$. При этом центр гиперсферы перемещается в область сгущения точек и останавливается в области одного из таких сгустков точек исходного множества A .

7. Точки, попавшие внутрь этой гиперсферы, объявляются классом и из дальнейшего рассмотрения исключаются.

8. Центр гиперсферы совмещается с любой из оставшихся точек. Процедура повторяется до тех пор, пока все исходное множество точек не будет разделено между классами.

Очевидно, что количество классов K тем больше, чем меньше радиус R . Желательное количество классов может быть подобрано соответствующим подбором R . Для этого рекомендуется последовательно уменьшать радиус от $R = R_{max}$, при котором все точки объединяются в один класс, до тех пор, пока K не будет равен заданному или ближайшее K к заданному.

Основной недостаток данного алгоритма заключается в том, что в зависимости от того, в какой последовательности эвристически выбирать начальные точки-центры гиперсфер, можно получить разные разбиения исходного множества элементов по классам, отличающиеся как количеством элементов в классах (мощностью класса), так и радиусом гиперсфер R . Выбор одного решения из многих делается по критерию качества F .

$$F = \sum_{i=1}^K \sum_{a=1}^{m_i} \rho_a^2(x_a; C^{(i)})$$

где $\rho_a^2(x_a; C^{(i)})$ – квадрат евклидова расстояния от точки a с координатами x_a до центра своего класса $C^{(i)}$, а n – число объектов в классе (мощность класса) S_i . Лучшему варианту классификации соответствует минимальное значение критерия F . Выбор такого критерия обосновывается

интуитивными правилами «ручной» группировки. Обычно объединяют в одну группу объекты, мало отличающиеся друг от друга или от «типичного» объекта.

2.2.3. Вариационный алгоритм «Краб»

Семейство алгоритмов **КРАБ** (**КРА**тчайший **Путь**) основано на формировании незамкнутого связного графа и проведении разбиения множества исходных объектов с его помощью. Эти алгоритмы позволяют строить классы произвольной формы и размеров, для чего стремятся реализовать действия, выполняемые человеком вручную. Чем руководствуется при разбиении человек?

Естественно, человек стремится использовать некоторую форму близости (ρ) точек и считает, что классификация тем лучше, чем меньше расстояния между точками одного и того же класса. Кроме того, человек увереннее выделяет классы, если сгустки точек дальше удалены друг от друга, так что вводится мера удаленности (d). При прочих равных условиях человека больше устраивает, когда распределение точек по классам приблизительно равномерно (h). Чем больше отличие в мощности классов, тем хуже классификация. Психологические эксперименты показали, что человек не всегда объединяет точки в один класс по принципу «ближний к ближнему». Так для рисунка 2.2. пятая по счету точка ближе к четвертой, но человек проведет границу классов между четвертой и пятой точками. Он обращает внимание на изменения плотности точек (λ). Если подобрать подходящие меры для (ρ), (d), (h) и (λ), то можно добиться совпадения результатов автоматической и ручной группировки.

Класс 1

Класс 2

Для подбора (ρ), (d), (h) и (λ) используют свойства кратчайшего незамкнутого пути (КНП) - связный граф без петель, соединяющий все точки и имеющий минимальную длину ребер (Рис. 2.3).

Если разрезать одно ребро (рис. 2.4), то получится два класса, если разрезать $(K-1)$ ребро КНП, мы получим K классов точек.

1) Мерой близости объектов внутри классов считают среднюю длину ребер КНП, соединяющего все точки одного класса:

$$\rho_i = \frac{1}{m_i - 1} \sum_{i=1}^{m_i-1} a_i,$$

где a_i - длина i - того ребра КНП, m_i - число объектов в классе S_i .

Общей мерой близости внутренних точек классификации считают величину

$$\rho = \frac{1}{K} \sum_{l=1}^K \rho_l,$$

т.е. среднюю длину всех внутренних ребер.

2) Расстояние (d) между классами также считают по КНП как среднюю длину ребер, соединяющих классы:

$$d = \frac{1}{K - 1} \sum_{l=1}^{K-1} d_l$$

4) Через КНП можно определить и меру локальной неоднородности расстояний между точками (λ) . Для этого обозначим длину некоторого ребра a_i , а длину наименьшего примыкающего к нему ребра через $\beta_{\min}$. Тогда $\lambda_i = \beta_{\min} / a_i$. Чем меньше величина $\lambda_i = \beta_{\min} / a_i$, тем больше отличие в длинах соседних ребер, тем с большим основанием можно считать, что по ребру a_i пройдет граница.

Общая мера неоднородности определяется по формуле

$$\lambda = \frac{1}{K-1} \sum_{i=1}^{K-1} \lambda_i$$

5) Равномерность распределения точек по классам может быть определена монотонной функцией, меняющейся в диапазоне от 0 до 1. Такой функцией может служить выражение

$$h = K^K \prod_{i=1}^K \frac{m_i}{M}$$

Общий критерий качества в алгоритме КРАБ сформулирован так:

$$F = \ln \frac{d \times h}{\lambda \times \rho}$$

Проверка на двумерных массивах показала, что *чем лучше классификация, тем больше значение F* .

Выделяемые классы могут иметь любую форму.

Алгоритм КРАБ:

1. Проводится кратчайший незамкнутый путь между всеми точками исходного множества.
2. Если задано число классов (K), на которое необходимо провести разбиение, то путем перебора находятся такие ($K-1$) ребро, проведение границ по которым даст максимальное значение функционала F .
3. Если исследователю не важна равномерность классов по числу объектов, то используется модификация F .

$$F = \ln \left(\frac{d}{\rho \times \lambda} \right)$$

Возникает закономерный вопрос: существует ли объективная автоматическая классификация или всякая классификация субъективна. Все реальные объекты имеют огромное число свойств. Выделение конкретного числа свойств – уже акт субъективный. Меры близости и критерий качества субъективны. Цель, для которой проводится обработка данных, в данном случае классификация – ставится человеком. Таким образом можно считать что *объективной классификации не существует*.

Иногда можно встретиться с ситуацией: программа классификации на реальных данных выдает «плохой» результат, т.е. выделился один большой класс, а остальные данные «рассыпались» по маленьким классам (даже с мощностью равной единице). Но не всегда в этом виноват алгоритм или про-

грамма, реализующая его. Например, исходная совокупность может быть описана нормальным законом распределения. Никакая программа не разобьет его на 10 однородных классов.

Результаты классификации зависят и от того, какую значимость мы придаем свойствам объектов. Если свойство X_i в три раза более важно, чем свойство X_j , то в вычислениях это значение нужно использовать в явном виде. Например, при вычислении расстояния между объектами a и b можно пользоваться следующей мерой:

$$\rho_{ab} = \sqrt{\sum_{j=1}^N a_j \times (x_j^a - x_j^b)^2},$$

где a_j - относительный вес признака, а l принимает разные значения в разной метрике (в евклидовой $l = 2$).

2.3. Базовые модели данных в ГИС

2.3.1. Инфологическая модель

Инфологическая модель /4/ строится на основе естественного понимания человеком окружающего мира и дает формальное описание предметной области и отображает реальный мир в некоторые понятные человеку концепции, полностью независимые от параметров среды хранения данных. Основными конструктивными элементами инфологических моделей являются сущности (объекты), связи между ними и их свойства (атрибуты).

Сущность – это любой различимый объект (объект, который можно отличить от другого), информацию о котором необходимо хранить в базе данных ГИС. Сущностями могут быть люди, места, самолеты, рейсы, вкус, цвет и т.д. Необходимо различать такие понятия, как *тип сущности* и *экземпляр сущности*. Понятие тип сущности относится к набору однородных личностей, предметов, событий или идей, выступающих как целое. Экземпляр сущности относится к конкретной вещи в наборе. Например, типом сущности может быть ГОРОД, а экземпляром - Москва, Киев и т.д.

Объекты могут быть атомарными и составными.

Атомарный объект – это объект некоторого типа, разложение которого на более мелкие объекты внутри этого типа невозможно, например, в группе людей атомарным объектом будет один человек, дробление которого на более мелкие составные части переведет его в тип – части тела человека.

Составной объект включает в себя некоторое количество более мелких (в том числе и атомарных) объектов, например, студенческая группа состоит из студентов, которые являются атомарными объектами.

Объекты характеризуются *свойствами* (атрибутами) и *взаимосвязью* с другими объектами.

Атрибут - поименованная характеристика сущности. Его наименование должно быть уникальным для конкретного типа сущности, но может быть одинаковым для различного типа сущностей (например, атрибут «цвет» может быть определен для многих сущностей: собака, автомобиль, дым и т.д.). Атрибуты используются для определения того, какая информация должна быть собрана о сущности. Примерами атрибутов для сущности «автомобиль» являются «тип», «марка», «цвет» и др. Здесь также существует различие между типом и экземпляром. Тип атрибута «цвет» имеет много экземпляров или значений: красный, синий, белая ночь и т.д.

Свойство может быть не определено явно, а охарактеризовано как утверждение по поводу множества объектов типа, например, можно не описывать некоторый цветок, а отнести его к классу «ромашка», тогда его свойства будут без описания понятны.

Абсолютного различия между типами сущностей и атрибутами нет. Атрибут является таковым только в связи с типом сущности. В другом контексте атрибут может сам выступать как самостоятельная сущность. Например, для автомобильного завода цвет - это только атрибут продукта производства, а для лакокрасочной фабрики цвет - тип сущности.

Взаимосвязь сущностей – это ассоциирование двух или более сущностей. Одно из основных требований к организации базы данных - это обеспечение возможности отыскания одних сущностей по значениям других, для чего необходимо установить между ними определенные связи. А так как в реальных базах данных нередко содержатся сотни или даже тысячи сущностей, то теоретически между ними может быть установлено более миллиона связей. Наличие такого множества связей и определяет сложность инфологических моделей.

Цель инфологического проектирования – формализация объектов реального мира и методов обработки информации в соответствии с поставленными задачами обработки и выдачи информации.

Инфологическая модель носит описательный характер и включает в себя ряд компонентов (рис.2.6):

1. описание предметной области;
2. описание методов обработки;
3. описание информационных потребностей пользователей.

2.3.2. Логические модели данных

Инфологическая модель должна быть отображена в компьютерно-ориентированную даталогическую модель, "понятную" СУБД. Наиболее близка к концептуальной модели, модель "Сущность-связь".

А) Модель данных ГИС «Сущность-связь»

Теоретической основой *ER* –моделей является модель Петера Пин-Шен Чена (1976), которая послужила в качестве средства концептуального проектирования. В основе представления Чена лежит заключение: ***предметная область – это совокупности объектов, находящихся друг с другом в различных связях***. Моделирование предметной области базируется на использовании графических диаграмм, включающих небольшое число разнородных компонентов. Основными конструктивными элементами моделей, являются сущности, связи между ними и их свойства.

Сущность (entity) - это "предмет", который может быть идентифицирован некоторым способом, отличающим его от других "предметов". Конкретные человек, компания или событие являются примерами сущности⁶. Для каждой связи характерно число связываемых сущностей. Такие модели имеют много общего с иерархическими и сетевыми моделями.

Объекты описываются набором *атрибутов* (параметрами). Однотипные объекты описываются одними и теми же параметрами и могут быть объединены в классы.

На *ER*-диаграммах сущности отображаются прямоугольниками, а связи – ромбами.

При построении *ER* –модели важно учитывать разновидности объектов. Различают простые и сложные объекты.

⁶ Петер Пин-Шен Чен. Модель "сущность-связь" - шаг к единому представлению о данных. 1976г.

Простой объект, если он имеет свойства атомарного объекта. Сложный объект – если он может быть представлен в виде совокупности простых объектов.

Сложные объекты бывают составными, обобщенными и агрегированными.

Составные объекты сгруппированы в виде связи «целое-часть».

Обобщенные объекты поддерживают отношения «Тип-тип» или «род-вид»

Агрегированные объекты спроектированы на основе агрегации, например, в них участвуют объекты, связанные одним процессом

Связь (relationship) - это ассоциация, устанавливаемая между сущностями. Например, "отец - сын" - это связь между двумя сущностями "человек". Выделяются два типа связей.

Первый тип связи – связь «один-к-одному» или (1:1): в каждый момент времени каждому представителю (экземпляру) сущности А соответствует 1 или 0 представителей сущности В. Например, работник и его ставка.

Второй тип – связь «один-ко-многим» или (1:M): одному представителю сущности А соответствуют 0, 1 или несколько представителей сущности В.

На основе этих двух видов связей можно составить более сложные связи. На рисунке 2.8 приведен пример *ER*-диаграммы для анализа информации в производственной компании⁶.

В) Иерархическая модель данных ГИС

Иерархическая модель – простейшая **структурно-определенная** модель данных, представляющая собой совокупность элементов, расположенных в порядке их подчинения от общего к частному. Связи между частями информационной модели – жесткие, структурная диаграмма – упорядоченное пере-

вернутое дерево. Основные понятия: корень, ветвь, лист, уровень. В иерархической структуре элементы распределяются по уровням, от первого (верхнего) уровня до нижнего (последнего) уровня. На первом уровне может располагаться только один элемент, который является вершиной иерархической структуры или корнем. Основное отношение между уровнями состоит в том, что элемент более высокого уровня может состоять из нескольких элементов нижнего уровня, при этом каждый элемент нижнего уровня может входить в состав только одного элемента верхнего уровня.

Граф модели (схема) включают два основных элемента: дугу и узел. Узел соответствует представлению объектов, дуги – связям между ними, причем дуги должны быть ориентированы от корня к листьям, т.е. иерархическая модель – это ориентированный граф. Такой граф называют еще **иерархическим деревом определения**. Требование к иерархической структуре: между двумя узлами не может быть более одной дуги. Говорят, дуга исходит из родительского узла (порождающего) и входит в дочерний узел (порожденный). Типичным примером иерархической структуры может служить генеалогическое дерево (Рис. 2.9).

Первую порождающую запись называют корневой записью или корнем. Промежуточные уровни – ветвями. Самые нижние узлы – листьями.

Иерархический путь – это последовательность узлов, начинающаяся с корневой, в которой узлы выступают последовательно порождающими и порожденными.

Уровень узла относительно корневого определяется как длина пути от корня до заданного узла, выраженная в количестве дуг.

Иногда структуру иерархической модели называют **Е-деревом**, а модель – **Е-моделью**.

Иерархической модели присущи два ограничения:

1. все типы связей должны быть функциональными, т.е. связь должна быть 1:N;
2. структура связей должна быть древовидной.

Основной недостаток **Е-моделей** данных в ГИС – снижение времени доступа при увеличении числа уровней. Поэтому **Е-модели** при числе уровней 10 и более в ГИС не используются.

С) Квадратомическое дерево

Это иерархическая структура, используемая для накопления и хранения географической информации [1]. В этой структуре двумерная геометрическая область рекурсивно делится на квадранты.

На рисунке 2.10. показан фрагмент двумерной области Q, на которой выделено 16 участков (квадрантов или пикселей), обозначенных цифрами. Вначале вся область разбивается на четыре квадранта: A, B, C, и D, которые являются узлами дерева. Большой квадрант соответствует корневой вершине, самые мелкие квадранты соответствуют листьям. Проводится рекурсив-

ное деление исходного изображения на квадранты до тех пор, пока все они не станут однородными по отношению к заданному значению изображения (цвета). Из квадратомиического дерева легко перейти в Е-дерево.

Алгоритм построения квадратомиического дерева:

Проводится рекурсивное деление исходного изображения на квадранты до тех пор, пока все они не станут однородными по отношению к заданному значению изображения (цвета). Из квадратомиического дерева легко перейти в Е-дерево.

Модели, основанные на квадратомиических деревьях, обеспечивают в ГИС расчеты площадей, распознавание образов, разделение изображений и др.

D) Реляционная модель данных ГИС

Э.Кодд предложил использовать для обработки данных аппарат теории множеств (объединение, пересечение, разность, декартово произведение). Он

показал, что любое представление данных сводится к совокупности двумерных таблиц особого вида, известных в математике как *отношение*. Термин «реляционная модель» и происходит от латинского *relatio* (отношение) и указывает прежде всего на то, что такая модель хранения данных построена на взаимоотношении составляющих ее частей. В простейшем случае она представляет собой двумерный массив или двумерную таблицу, а при создании сложных информационных моделей составит совокупность взаимосвязанных таблиц. В современных информационных системах реляционные модели используются наиболее широко. Реляционные модели положены в основу электронных таблиц и организации хранения атрибутивных данных ГИС.

Основными понятиями реляционной модели являются следующие элементы: таблица, строка, столбец, первичный ключ, внешний ключ, домен, кортеж.

Любая таблица состоит из *строк и столбцов* (Рис.2.11), она, как правило, имеет уникальное имя. Целая таблица отражает *тип* объектов реального мира, каждая строка в ней описывает конкретный объект. Каждая строка таблицы называется *записью или кортежем*. Запись – это совокупность значений, с помощью которых описан один объект. Каждый столбец таблицы – *атрибут*. Для каждого атрибута (столбца) определяется диапазон допустимых значений (*домен*).

Табельный номер_сотрудника	Фамилия	Зарплата	Номер_отдела
1	Иванов	1000	1
2	Петров	2000	2
3	Сидоров	3000	1

Степень отношения – число атрибутов в таблице. Бывают унарное, бинарное или n -арное отношения.

Ключ отношений – это подмножество атрибутов (или один атрибут), имеющее следующие свойства:

- уникальную идентификацию;
- не избыточность;
- невозможность ни один из атрибутов ключа удалить, не нарушив его уникальности.

Первичный атрибут отношения – это атрибут, присутствующий по крайней мере в одном ключе, все остальные атрибуты – не первичные.

Иерархические модели могут быть приведены к реляционной с помощью «нормализации», т.е. пошаговой процедуры приведения к табличной форме с полным сохранением информации.

Каждый столбец должен иметь имя, которое записывается в «шапке» таблицы. Оно должно быть уникальным в таблице, но может повториться в другой таблице. Любая таблица должна иметь, по крайней мере, одну строку и один столбец. Строки не имеют имен, количество их логически не ограничено. Каждая таблица может иметь один или несколько столбцов, значения которых однозначно идентифицируют каждую строку (объект). Такую комбинацию столбцов или столбец называют *первичным ключом*. Взаимосвязь таблиц поддерживается *внешним ключом*.

Е) Сетевые модели ГИС

На разработку стандарта сетевой модели большое влияние оказал американский ученый Ч.Бахман. Основные принципы сетевой модели данных были разработаны еще в середине 60-х годов.

Сетевая модель данных определяется в тех же терминах, что иерархическая модель. Она состоит из множества записей, которые могут быть порождающими записями или порожденными. Связь между родительской записью и дочерней записью имеет вид *«многие ко многим»*. Сетевые модели дают представление о предметной области

в виде совокупности объектов, связанных отношениями типа «многие ко многим». Отличие от иерархических моделей в том, что каждый из объектов может иметь несколько «подчиненных» и несколько «старших» объектов.

Ф) Бинарная модель

Дает представление о предметной области в виде бинарных отношений, характеризуемых триадами «объект, атрибут, значение атрибута». Графическое представление такой модели называется *В-деревом* (в отличие от *Е-дерева*).

2.5. Специальные модели данных ГИС

2.5.1. Особенности представления данных в ГИС

ГИС - относятся к классу информационных систем. Отличительными особенностями данных в ГИС являются:

- большие объемы накапливаемых и обрабатываемых данных;
- разнообразие графической информации;
- специфические связи между объектами.

Основной моделью данных первых ГИС был набор имен объектов с характеристиками, привязка которых к картам задавалось координатами их на земной поверхности. Никаких семантических связей для помощи пользователю в моделях не содержалось. Со временем возникла необходимость создания более сложных моделей данных, а затем потребность в создании и общей модели данных в ГИС. Данные, представляемые в ГИС, нужно рассматривать с учетом трех аспектов:

- пространственного;
- временного;
- тематического.

Пространственный аспект связан с определением местоположения объекта на поверхности;

временной аспект связан с изменением характеристик объекта в течение времени;

тематический аспект связан с выделением одних (важных) признаков описания объекта и исключения других (не важных для решения данного круга задач).

В большинстве моделей для описания пространственных характеристик используют координаты, поэтому такие данные называются координатными. Для определения временных и тематических характеристик используют атрибутивные данные.

2.5.2. Координатные данные ГИС. Определение положения точек на земной поверхности /2/

Поверхность Земли имеет сложную форму. Общая площадь ее поверхности – 510 млн. кв. км. 71% приходится на дно морей и океанов и только 29% - на сушу. С помощью методов дистанционного зондирования установили, что земля имеет грушевидную форму. Почему?

Земля вместе с Солнцем уже 3-4 миллиарда лет находится в области спирального рукава Галактики, в которой она обдувается эфирным потоком с севера. Источник эфирного ветра располагается в районе звезды Дзета созвездия Дракона. Ось Земли, таким образом, несколько наклонена к направлению эфирного ветра. Огибая Землю, эфирный поток создает на ней различные области давления. В Северном полушарии (не на полюсе) давление эфира понижено за счет градиента скорости потока, огибающего Землю. Сю-

да стремятся материки, поэтому они и сосредоточены в Северном полушарии.

Область Северного полюса и его ближайших окрестностей – область повышенного давления эфира, это область торможения набегающего эфирного потока: здесь поток эфира бьет прямо в "макушку" земного шара. Поэтому сюда материки не заходят, здесь образовался Северный ледовитый океан. В результате обдува эфирным ветром поверхности Земли давление эфира в северном полушарии меньше, чем в южном. Это не только заставило континенты сдвинуться в северном направлении, но и привело к деформации всего земного шара: его форма стала неким подобием груши, вытянутой в направлении севера.

Так как основная поверхность Земли – водная поверхность, то за фигуру Земли принимают тело, ограниченное поверхностью воды океанов. Такая поверхность называется *уровенной*. Считается, что эта поверхность везде горизонтальна, т.е. перпендикулярна отвесной линии, соответствующей направлению силы тяжести Земли. В качестве модели Земли принята фигура геоид.

Геоид (geoid) – фигура Земли, ограниченная поверхностью, к которой отвесные линии всюду перпендикулярны, и которая проходит через точку начала отсчета *высот*, закрепленную на высоте среднего уровня моря. Эта поверхность близка к уровням морей и океанов в состоянии покоя и равновесия. В России она проходит через нуль Кронштадтского футштока, совпадающий со средним уровнем Балтийского моря за период 1825-1840 гг.

В качестве математической модели Земли принят эллипсоид, который в геодезии называют *референц-эллипсоидом*. Для территории нашей страны постановлением Совета Министров СССР N 760 от 7 апреля 1946 года принят эллипсоид Красовского, в котором большая полуось $a = 6\,378\,245$ м, малая полуось $b = 6\,356\,863$ м, полярное сжатие:

$$a = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{298.3}$$

Применяемые в разных странах референц-эллипсоиды могут иметь неодинаковые размеры; существует и общеземной эллипсоид, размеры которого утверждают Международные геодезические организации. Так, в системе WGS-84 (*World Geodetic System*) эти размеры следующие: большая полуось $a = 6\,378\,137.0$ м, полярное сжатие: $a = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{298.2566}$

Для отображения положения точек на поверхности используют различные виды систем координат. *Система координат* – это опорная система для определения положения точек в пространстве или на плоскостях и поверхно-

стях относительно выбранных осей, плоскостей или поверхностей. В геодезической практике применяется большое количество систем координат: общеземные системы, референчные системы, системы астрономических, пространственных прямоугольных и геодезических координат и систему прямоугольных координат на плоскости.

Общеземными принято называть такие системы координат, которые получены под условием совмещения их начала с центром масс Земли.

К референчным системам относят такие, в которых их начало находится на удалении десятков и сотен метров от центра масс Земли.

В **астрономической системе** координат положение точки определяется также относительно понятий, связанных с Землей, — относительно отвесной линии и оси вращения Земли.

В общеземных и референчных системах положения точек могут задаваться пространственными прямоугольными координатами X, Y, Z , геодезическими координатами (*широта, долгота*), плоскими прямоугольными координатами (x, y) в различных проекциях, полярными и другими координатами.

Между координатами различных систем существуют однозначные математические связи. Для установления связей между одноименными координатами разных систем, например, между пространственными прямоугольными координатами двух референчных систем, необходимы параметры перехода. К параметрам перехода обычно относят три линейные (смещения начал координат) и три угловые величины (развороты осей координат). Линейные величины характеризуют положение начала одной системы относительно начала другой. Угловые величины соответствуют значениям углов между координатными плоскостями. Иногда в качестве параметра перехода назначают масштабный коэффициент, который характеризует линейный масштаб одной системы относительно другой, т. е. линейный масштаб одной сети относительно другой сети.

В ГИС используются **плоские и сферические**, реже полярные и криволинейные системы координат. Выбор системы координат зависит от величины исследуемого участка и, следовательно, от влияния кривизны Земли. При изображении небольших участков поверхность можно принять за плоскость — это участки до 20 км длиной или площадью менее 400 кв. км. В этих случаях допустимо применять плоские координаты. Бывают плоские декартовы и плоские полярные координаты.

Плоские декартовы координаты задаются двумя осями: положительное направление координаты X указывает на восток, а Y — на север. Обязательно на карте задают масштабные отрезки. Упорядоченная пара (X, Y) однозначно с небольшой погрешностью определяет положение любой точки в пространстве. В топографии и геодезии, а также на топографических картах ориентирование производится по северу со счетом углов по ходу часовой стрелки, поэтому для сохранения знаков тригонометрических функций положение осей координат, принятое в математике, повернуто на 90° .

Плоские полярные координаты используют расстояние от начала координат (r) и угол (ϕ) от фиксированного направления. Направление обычно определяется на Север, а угол отсчитывается по часовой стрелке от него. Полярные координаты удобны, когда проводятся измерения от какой-либо заданной точки.

При необходимости учета кривизны поверхности используют **пространственные (сферические) системы координат**. Для их определения вводятся понятия:

- **плоскость Земного экватора** – плоскость, проходящая через центр Земли перпендикулярно к оси вращения (имеется только одна) (Рис. 2.12 – А);

- **плоскость географического меридиана** – проходит через ось вращения Земли и отвесную линию в точке земной поверхности (может быть много) (Рис. 2.12 – В);

- **меридиан** – линия пересечения плоскостей географических меридианов с земной поверхностью, линия постоянной долготы (Рис. 2.13);

- **параллель** – линия, образованная пересечением плоскости, параллельной плоскости земного экватора, с поверхностью Земли, линия постоянной широты (Рис. 2.13);

- положение точки определяется широтой (ϕ) и долготой (λ);

- **широта** – угол (ϕ) между отвесной линией в данной точке и плоскостью экватора. Широты в северном полушарии называются северными, в южном — южными и изменяется от -90° (южный полюс) до $+90^\circ$ (северный полюс);

- **долгота** – угол в плоскости между меридианом точки и главным (нулевым, начальным) меридианом. За начальный меридиан принят меридиан,

проходящий через центральный зал Гринвичской обсерватории (район Лондона). Начальный меридиан называют Гринвичским. Долгота изменяется от -180° (западная долгота) до $+180^\circ$ (восточная долгота) (Рис. 2.14);

2.5.3. Основные типы координатных данных в ГИС

При построении ГИС применяют набор базовых геометрических данных, из которых затем komponуют остальные более сложные данные. В ГИС используются следующие типы атомарных геометрических данных /4/:

- точка (узел, вершина);
- линия незамкнутая;
- контур (линия замкнутая);
- полигон (ареал, район) – группа прилегающих друг к другу замкнутых участков;
- пространственная сеть (развитие типа «полигон»).

На практике из этих атомарных моделей формируются сложные составные модели. В разных ГИС они отличаются, поэтому в качестве примера будем в дальнейшем рассматривать модели ГИС ArcGis . Основные элементы промышленного пакета ArcGis следующие (Рис. 2.14):

1. *Точка* – геометрический объект, заданный парой координат X и Y .
2. *Отрезок* – линия, соединяющая две точки.
3. *Вершина* (вертекс) – начальная или конечная точка отрезка.
4. *Дуга* (полилиния) – упорядоченный набор связанных отрезков.

5. *Узел* – начальная или конечная вершина дуги.

6. *Висячий узел* – узел, принадлежащий только одной дуге, у которой начальная и конечная вершины не совпадают.

7. *Псевдоузел* – узел, принадлежащий двум дугам или одной замкнутой дуге, у которой начальная и конечная вершины совпадают (узел, при прохождении которого нет альтернативы выбора дальнейшего пути).

8. *Нормальный узел* – узел, принадлежащий трем или более дугам или узел, принадлежащий двум дугам, одна из которых самозамкнута на этом узле, а вторая примыкает к нему (узел, при прохождении которого есть возможность выбора дальнейшего пути).

9. *Замкнутая дуга* – дуга, у которой совпадают начальная и конечная вершины (дуга, у которой имеется только один узел).

10. *Полигон* – область, ограниченная замкнутой дугой или упорядоченным набором связанных дуг, которые образуют замкнутый контур.

113. *Слой* – покрытие, рассматриваемое в контексте его содержательной определенности (рельеф, растительность и др.).

12. *Внутренний идентификатор* пространственного объекта – целое число, являющееся служебным идентификатором объекта (уникальное имя для каждого объекта данного покрытия, назначаемое автоматически в процессе работы редактора).

13. *Пользовательский идентификатор* пространственного объекта – целое число, служащее для связи объектов цифровой карты с таблицами тематических данных.

Рассмотрим особенности, присущие основным элементам векторных данных ГИС.

Точечные объекты. К простейшим типам точечных объектов относятся не только собственно точки, но и условные точечные знаки. Например, знаком «Нефтяная вышка» может быть обозначено месторождение. Это точечный объект. Выбор объектов, обозначаемых точками, зависит от масштаба карты. На крупномасштабных картах точками обозначаются отдельные строения, а на мелкомасштабных – города и даже страны. Особенностью точечных объектов является то, что они хранятся как в виде графических файлов, так и в виде таблиц, как атрибуты, потому, что координаты точек рассматриваются как две дополнительные характеристики. Таким образом, информацию о наборе точек можно представить в виде развернутой таблицы, в которой кроме координат могут находиться и другие атрибуты каждой из точек-объектов. В таких таблицах каждой строке соответствует объект-точка, каждому столбцу – признак, соответствующий типизированному данному (или координата или атрибут).

Линейные объекты. Они используются для описания сетей (например, дорожная, транспортная, телефонная, гидрологическая сеть). Любая сеть

состоит из **узлов** (вершин) и обособленных линий и дуг (**звеньев**). Для каждого узла у линейных объектов существует характеристика – **валентность**.

Валентность узла – это количество смежных узла дуг. Концы обособленных линий одновалентны. Для уличных сетей (пересечение улиц) валентность чаще всего равна четырем. В гидрографии чаще встречаются трехвалентные узлы (основное русло реки и приток).

Линейные объекты, как и точечные, имеют свои атрибуты, причем разные для дуг и для принадлежащих им узлов. Примеры атрибутов, применяемых для описания дуг:

- дорога: атрибуты - направление движения, интенсивность движения, протяженность;
- транспортная магистраль: количество полос для движения; время в пути;
- газопровод: диаметр трубы, направление движения газа;
- линия ЛЭП: напряжение ЛЭП,

Примерные атрибуты для узла:

- перекресток: наличие подземного перехода, названия пересекающих улиц;
- подстанция ЛЭП: характеристика трансформатора ЛЭП;
- пешеходный переход: наличие светофора, ширина перехода, наличие островка безопасности и др.

Некоторые атрибуты могут служить для связи с другими объектами (например, названия пересекающих улиц). Часто для включения дополнительных атрибутов требуется разбивать линейные объекты и создавать новые узлы: например, часть русла реки загрязнена, ее разбивают на чистую часть реки и загрязненную и описывают их по-разному.

Ареалы или полигоны. В одной ГИС может быть представлено несколько типов ареалов: например, экономические зоны, данные о сельскохозяйственных угодьях и др. Часто границы ареалов определить по карте или фотоснимку нельзя – их устанавливают искусственно, например, зоны на территории города, загрязненные выбросами предприятий, экономические зоны и др.

Взаимосвязи между координатными данными. Между координатными данными могут существовать связи. В общем случае может быть достаточно большое число различных связей. Взаимосвязи могут существовать как между объектами одного типа (например, между точками), так и между объектами разных типов (между точкой и линией). Между координатными объектами выделяют три типа взаимосвязей:

Первый тип – связи, использующиеся для построения сложных объектов из простых элементов, т.е. взаимосвязи типа «состоит из». Например, связь между дугой и ее вершинами или между полигоном и набором формирующих его линий. При этом используют процедуры **обобщения и агрегации** (начальный узел, конечный узел и отрезок между узлами равно дуге).

Второй тип – взаимосвязи, которые можно вычислить по координатам объектов. Например, координаты точки пересечения двух линий – взаимосвязь типа «скрещивается», полигон и внутренняя точка – тип «содержится в». Этот тип данных содержится в координатных данных в неявном виде, его, как правило, надо вычислять.

Третий тип – «интеллектуальная связь». Это взаимосвязи, которые нельзя вычислить, их нужно заложить в базу данных при вводе. Например, на карте видно пересечение двух дорог: оно может быть традиционным, а может быть выполнено как автомобильная развязка. Для решения прикладных задач (встретятся ли два автомобиля) нужна в таких случаях дополнительная информация.

2.5.4. Номенклатура и разграфка топографических карт

Основа любой ГИС (как для представления информации, так и для интеграции данных) является топографическая карта местности, представленная в цифровом виде. Карты служат как топоосновой, так и основой для метрических расчетов, поэтому карты должны быть использованы достаточной точности, т.е. это должны быть топографические карты. Поэтому основные понятия топографии: разграфка и номенклатура – необходимо знать при создании ГИС [2].

Разграфка – разделение топографических карт на отдельные листы.

Номенклатура – система обозначений отдельных листов топографических карт.

Географические карты бывают следующих типов:

- обзорные (масштаб 1:1 000 000 и мельче) - 1 см карты соответствует 10 км на местности;
- обзорно-топографические (масштаб 1:100 000 – 1:1 000 000) – в 1 см от 10 до 1 км;
- топографические (масштаб 1:100 000 и крупнее) точнее, чем отображение в 1 см карты 1 км территории;
- планы (масштаб 1:2 000 и крупнее)

Обзорные и обзорно-топографические карты служат для качественного описания территории, они недостаточно точны и редко используются как основа ГИС.

Топографические карты служат основным источником информации о местности и используются для ее изучения, определения расстояний и площадей, координат различных объектов и решения многих измерительных задач. Они широко применяются в качестве основы для боевых графических документов и специальных карт.

Топографические карты составляются по результатам съемок территорий и отличаются детальностью изображения местности. Это, как правило, многolistовые карты. На них криволинейная часть поверхности земной поверхности отображается в криволинейную часть трапеции, поэтому отдельные листы таких карт называют **трапециями** (Рис. 2.15). Сложив по определенному правилу все трапеции, можно получить карту всего Земного шара.

Таблица 2.1 - Основные нормативы изображения объектов местности

Объекты местности	Изображаются на картах масштаба			
	1:50 000	1: 100 000	1:200 000	1:500 000
Шоссейные дороги	Все	Все	Все	Частично
Грунтовые дороги	Все	Главные	Главные	Редко
Населенные пункты	Все	Все	С числом домов более 10	Не более одного на площадь 25 кв. км
Отдельные дворы	Все	Частично	Редко	Нет
Реки длиной более	0,5 км	1 км	2 км	5 км
Озера площадью более	0,5 га	2 га	8 га	50 га
Болота площадью более	5 га	25 га	100 га	600 га
Леса площадью более	2,5 га	10 га	40 га	100 га

В основу разграфки (разбиения) топографической карты положена карта масштаба 1:1000 000. Для разбиения карты на отдельные листы изображение земной поверхности делят на 60 ($60 \cdot 6^\circ = 360^\circ$) двуугольников (**колонн**), начиная от Гринвичского меридиана через 6 градусов на Восток.

Двуугольники нумеруются арабскими цифрами от 1 до 60 в направлении на Восток от 180 меридиана. Иногда двуугольники нумеруют не от 1 до 60, а от 0 до 59, тогда двуугольники называют не колоннами, а зонами. Отчет зон идет от Гринвичского меридиана с запада на восток. Нумерация зон отличается от нумерации колонн на 30 (т.е. меньше на 30). Колонна с номером 40 соответствует зоне с номером 10. Гринвичский меридиан, например, это граница зон № 0 и 1 или колонн 30 и 31. Таким образом, колонны или зоны делят земной шар по меридианам. Москва, например, находится в седьмой зоне или в 37 колонне. Территория бывшего СССР располагается в 29 зонах: от 4-й до 32-й включительно. Протяженность каждой зоны с севера на юг порядка 20000 км. Ширина зоны на экваторе около 670 км, на широте 40° —510 км, на широте 50° —430 км, на широте 60° —340 км (Рис.2.16).

Параллелями через 4 градуса Земной шар делится на ряды, которые обозначаются латинскими буквами к северу и к югу от экватора. Номенклатура каждого листа включает букву ряда и номер колонны. Москва, например, находится на трапеции N-37, т.е. $52\text{--}56^\circ$ широты и $36\text{--}42^\circ$ долготы. Трапеции у Северного и Южного полюсов становятся слишком маленькими, поэтому используют сдвоенные и счетверенные трапеции. Номенклатура сдвоенных и счетверенных листов складывается из обозначений ряда и двух или четырех колонн.

Номенклатура листов более крупных масштабов связана тоже с картой миллионного масштаба. Так лист масштаба 1:500 000 представляют как $\frac{1}{4}$ часть карты и каждый лист обозначается добавлением прописных русских букв А, Б, В и Г к номеру соответствующей трапеции-миллионки, например, N-37-А. Например, на рисунке 2.17 показана трапеция с номенклатурой N-37 (на которой находится Москва). Заштрихованный участок показывает какая часть карты миллионного масштаба увеличивается и представляется в масштабе 1:500 000.

Листы масштаба 1:300 000 формируют также из карты миллионного масштаба. Трапецию делят на 9 частей (показано на рис. 2.17 пунктиром). Каждая $\frac{1}{9}$ часть листа карты представляется в масштабе 1: 300 000 и обозначается римскими цифрами 1-IX, расположенными *перед* номенклатурой карты миллионного масштаба, например, 1-N-37.

Лист масштаба 1:200 000 формируют из листов, составляющих $\frac{1}{36}$ часть карты миллионного масштаба. Их обозначают римскими цифрами от 1

до XXXV1, которые ставят **после** номенклатуры карты миллионного масштаба.

Например, N-37 – XXX.

Номенклатуру листов масштаба 1:100 000 получают из листов, сформированных из 1/144 части от карты миллионного масштаба, которые нумеруют арабскими цифрами 1-144 и ставят номер **после** номенклатуры карты миллионного масштаба. Например, N-37-144.

Номенклатуры листов крупнее 1:100 000 строятся на ее основе, по алгоритму, аналогичному описанному выше.

1	A	11		111
				Б
1У		У		У1
У11		У111		1Х Г

I	II	III	IV	V	VI
VII					
XIII					
XIX					
					XXX
					XXXVI

Лист масштаба 1:50 000 есть $\frac{1}{4}$ от 1:100 000, следовательно, добавляем прописную букву А,Б,В или Г к N-37-144: N-37-144 -А.

Лист масштаба 1:25 000 формируется из $\frac{1}{4}$ листа формата 1:50 000. Добавляем строчные буквы а,б,в или г: N-37-144-А-в.

Лист масштаба 1:10 000 формируют из $\frac{1}{4}$ листа формата 1:25 000, добавляем арабские цифры (1,2,3 или 4) к номенклатуре 1: 25 000 : N-37-144-A-в-1.

Для получения масштаба 1:5 000 делим карту 1: 100 000 на 256 листов, затем добавляем к номенклатуре карты стотысячного масштаба арабские цифры *в скобках*, например,

N-37-144 - (25).

Номенклатура листов 1:2 000 образуется на основе листа масштаба 1:5 000. Лист делят на 9 листов, к номенклатуре добавляем в скобки строчные буквы русского алфавита - N-37 - 144 - (255-г).

Таблица 2.2. – Размеры листа карты

Масштаб карты	Размер листа (минуты)		На местности соответствует	
	По широте	По долготе	Длина рамки листа (км)	Площадь листа (км ²)
1:25 000	5	7.5	9	75
1:50 000	10	15	18	300
1:100 000	20	30	37	1 200
1:200 000	40	60	74	5 000
1:500 000	120	180	220	44 000
1:1 000 000	240	360	440	175 000

Примеры номенклатур крупных масштабов (Рис. 2.19) приведены ниже.

⊗ - N-37-144-A. ⊕ - N-37-144 - Б-б ® - N-37-144 – В-а-1.
© - N-37-144 – (256).

⊗ А				а Б	⊕ б
				в	г
1®	2			137	144
3	4 В				

				Г

249
©256

Рисунок 2.19. – Номенклатуры карт крупных масштабов.

Севернее 60-й параллели листы карт масштабов 1:100 000 - 1:10 000 издаются двойными, а севернее 76-й - четверными. При сдваивании листов карты масштаба 1:100 000 соединяется, нечетный по номенклатуре лист

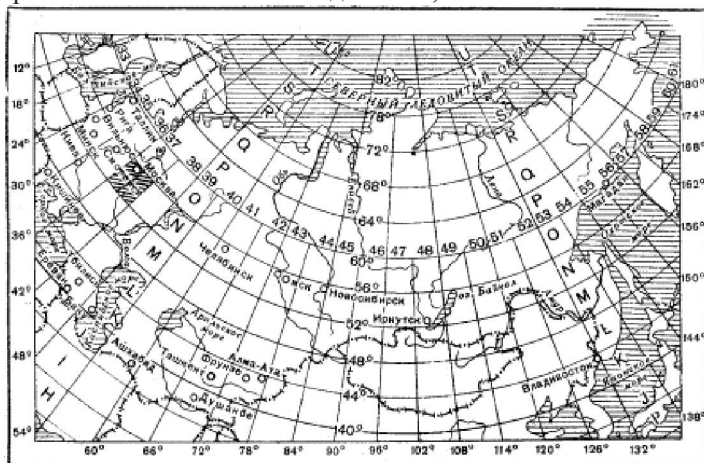


Рисунок 2.20 - Разграфка и номенклатура листов карты России масштаба 1:1 000 000

со следующим порядковым четным по номенклатуре листом. При сдваивании листов карт других масштабов соединяются листы, входящие в одну трапецию более мелкого масштаба.

Таблица 2.3 – Номенклатуры карт

1:100 000	144	N-37-144
1:100 000		
1:50 000	4	N-37-144-Г
1:25 000	16	N-37-144-Г-г
1:10 000	64	N-37-144-Г-г-4
1:5 000	256 план	N-37-144-(256)
1:2 000	2304 план	N-37-144-(256-в)

Атрибутивные данные ГИС

Для решения задач ГИС недостаточно иметь только одни координатные данные. Кроме метрической информации объекты должны обладать временной и описательной информацией. Например, если объектом на карте является «город», то он может иметь название, характеризоваться численностью населения в данный момент времени и др. информацией. Совокупность всевозможных характеристик объектов составляет класс атрибутивных моделей ГИС. Они описывают тематические и временные характеристики объектов. Таблица, хранящая описательную информацию, называется *таблицей атрибутов*. Каждая строка таблицы соответствует одному объекту; каждый столбец – тематическому признаку; ячейка, находящаяся на пересечении строки и столбца отражает значение определенного признака выбранного объекта. Важным атрибутом являются временные характеристики.

Временные атрибуты могут отражаться несколькими способами:

- путем указания временного периода существования объекта с данными характеристиками, например, сток реки Томь с 1.05. по 15.10 равен 1570 куб. м;

- путем соотнесения информации с определенным моментом времени, например, концентрация двуокиси азота в районе площади Революции 22.03.2001 г. в 15-00 равна 1.5 ПДК;

- путем указания алгоритма изменения характеристик объекта, например, скорость изменения популяции тараканов описывается законом $N_T = N_0 \cdot e^{rT}$.

В зависимости от того, как отражается временная характеристика объекта, она может размещаться или в одной ячейке таблицы, или в целой таблице, или в даже нескольких связанных таблицах. Применение атрибутов позволяет решать ряд прикладных пользовательских задач, включая задачи фильтрации, поиска по запросам, формирование тематических карт и др. С помощью атрибутов можно классифицировать объекты.

Атрибутивное описание дополняет координатные данные, и вместе они создают полное описание модели предметной области ГИС. Атрибутами могут быть символы, числа, графические признаки объектов (цвет, рисунок, тип заливки и др.)

Связь атрибутивных и координатных данных производится по-разному. Часто используется четырехмерное пространство для представления характеристик объектов: первых два размера предназначены для координат X и Y, третий – для описательных атрибутов, а четвертый – для временных наборов данных. Третье и четвертое пространства могут быть многомерными таблицами.

Важный вопрос при формировании моделей данных ГИС /1/– достижение необходимой *точности координатных и атрибутивных данных*.

Под точностью в ГИС понимают близость данных, хранимых в базах данных ГИС, и соответствующих им истинных значений. Через понятие «точность представления данных» определяют важную характеристику моделей ГИС - «качество данных».

Имеется несколько показателей точности:

- точность измерений,
- точность вычислений,
- точность представления.

Точность измерения определяется качеством измерительных приборов. **Точность вычислений** определяется количеством значимых цифр после запятой при расчетах. **Точность представления** – описывается количеством разрядов, с помощью которых представляют координатные данные. Точность вычислений всегда может быть достаточно высокой, намного выше, чем, например, чувствительность измерительных приборов.

В стандарте качества цифровых карт учитываются следующие параметры:

- позиционная точность;
- точность атрибутов;
- логическая непротиворечивость данных;
- полнота сбора и представления;
- происхождение данных.

Позиционная точность выражается степенью отклонения данных ГИС о местоположении объекта от истинного положения объекта на местности. Обычно точность карт определяется толщиной линии, с помощью которой выделяют объекты. Она принята равной 0.4 мм для карты масштаба 1:25 000, что соответствует 10 м на земной поверхности. Ошибка вносится как на этапе сбора информации, так и на этапе цифрования. Зная погрешности, вносимые на каждом этапе, можно оценить общую погрешность, суммируя квадраты отдельных погрешностей. Например, на шаге сбора информации ошибка равна 1мм; на шаге формирования карты – 0.4 мм и на шаге цифрования – 0.1 мм. Общая позиционная погрешность равна 1.08 мм, что соответствует определенному расстоянию на местности в зависимости от масштаба:

$$\Delta = \sqrt{1^2 + 0.4^2 + 0.1^2} \approx 1.08 \text{ (мм)}$$

Точность атрибутов определяется близостью значений атрибутов и их истинных величин. Атрибуты объекта могут со временем меняться. Точность атрибутов может быть разной в различных частях карты. Поэтому иногда пользуются обобщенными статистическими показателями.

Логическая непротиворечивость связана с внутренней непротиворечивостью структур данных, например, полигоны должны быть замкнуты, идентификаторы – уникальны и др., а также внутренней топологической непротиворечивостью. Например, подземный переход связывает две улицы, которые не соседствуют реально – это логическая противоречивость.

Полнота (или достаточность) данных связана со степенью охвата данными множества исследуемых объектов. При этом учитывают степень генерализации и масштаб представления территории.

Происхождение – специфический показатель, характерный для ГИС. Он учитывает источник данных, методы обработки данных, точность съема информации, погрешности расчетов и др.

2.7. Модели визуального представления информации в ГИС

Наиболее универсальными и чаще используемыми моделями пространственных данных в ГИС являются следующие:

- векторное представление (точки, линии, полигоны);
 - векторно-топологическое представление;
 - векторно-нетопологическое или модель "спагетти");
- растровое представление (ячейки, сетки);
- регулярно-ячеистое представление;
- квадродерево (квадратомическое представление).

Все модели взаимно преобразуемы. На рис. 2.21 приведен пример векторной и растровой моделей местности.

2.7.1. Векторная модель данных ГИС

Векторная модель данных (*vector data model*) или цифровое представление точечных, линейных и полигональных *пространственных объектов* в виде набора координатных пар, с описанием только геометрии объектов, что соответствует нетопологической модели. Векторно-нетопологическое представление данных в ГИС называют модель "спагетти". Векторным моделям соответствует **векторный формат** пространственных данных (*vector data format*).

Векторные модели строятся с использованием векторов, в которых каждая точка на карте определяется через ее удаленность от опорной точки и величину угла между направлением на точку из опорной точки и направлением на Север (по часовой стрелке). В векторных моделях ГИС описания

объектов хранятся в памяти компьютера в виде математических формул и геометрических абстракций, таких как круг, квадрат, эллипс и подобных фигур. При построении векторных изображений создается целостный вид путем соединения точек линиями, дугами или полилиниями. Поэтому векторную модель называют объектной. Векторные изображения занимают значительно меньше памяти ЭВМ при хранении, чем растровые, требуют меньше затрат времени на обработку. Алгоритмы обработки, как правило, более просты.

Базовым примитивом векторных моделей ГИС является точка. Через понятие «точка» определяются все остальные объекты векторной модели.

Безразмерные типы объектов:

- точка - определяет геометрическое местоположение объекта;
- узел - топологический переход или конечная точка, также может определять местоположение объекта.

Одномерные типы объектов:

- линия - одномерный объект;
- линейный сегмент - прямая линия между двумя точками;
- дуга - геометрическое место точек, которые формируют кривую определенной математической функцией;
- связь - соединение между двумя узлами;
- направленная связь - связь с одним определенным направлением;
- кольцо - последовательность непересекающихся цепочек, строк, связей или замкнутых дуг.

Двумерные типы объектов:

- область - ограниченный непрерывный объект, который может включать или не включать в себя собственную границу;
- внутренняя область - область, которая не включает собственную границу;
- полигон (контур) - двумерный (площадной) объект, внутренняя область которого, образована замкнутой последовательностью сегментов в модели "спагетти".

Различают простой полигон, не содержащий внутренних полигонов, и составной полигон, содержащий внутренние полигоны, называемые также "островами" (*island*) и анклавами (*hole*).

Каждый участок линии может быть границей пересечения двух полигонов, каждый из которых может иметь свои отличные от другого атрибуты. Поэтому эти полигоны по отношению к линии именуются «левый» и «правый».

Векторное изображение можно получить различными способами. Наиболее часто используют векторизацию сканированного (растрового) изображения. Векторизация заключается в распознавании на растровом изображении объектов, выделение их, представление каждого объекта в векторном формате. Для автоматической векторизации необходимо иметь изображения

высокого качества, часто приходится заниматься исправлением исходного или/и векторного изображений.

К особенностям векторных моделей можно отнести следующее:

- в векторной модели легко осуществляются некоторые операции с объектами, например, разбивка объекта (речной сети) на участки, замена условных обозначений;
- легко проводятся изменение масштаба, повороты, растягивание и другие операции;
- векторные модели имеют преимущество перед растровыми моделями в точности представления точечных объектов.

2.7.2 Топологические модели

Разновидностью векторных моделей являются **топологические модели**. Топологические модели объединяет «взаимосвязанность» объектов, которая бывает простой или сложной. Топологические свойства фигур не изменяются при деформациях, производимых без разрывов или соединений.

Термин **топологический** в ГИС понимают так, что в моделях объектов хранятся взаимосвязи, которые расширяют возможности использования данных ГИС для различных видов пространственного анализа. Например, в логическую структуру описания данных вводится информация о том, какие линии и в каких точках пересекаются, из чего состоит полигон и др.

Теоретической основой представления топологических моделей является теория графов. Топологические модели позволяют представить всю карту в виде графа. Площади, линии и точки описываются с помощью узлов и дуг. Каждая дуга идет от начального к конечному узлу. Известно, что находится справа и слева.

Необходимая процедура при работе с топологическими данными - подготовка геометрических данных. Этот процесс практически не может быть автоматизирован: топологические характеристики должны быть вычислены заранее и занесены в базу данных вместе с координатными данными.

Какие характеристики свойственны топологическим моделям?

- 1) **Связанность контуров** – это означает, что контуры, должны храниться не как совокупность отдельных точек, а как взаимосвязанные друг с другом объекты, например, имея карту автодорог, можно определить возможность проехать из точки А в точку Б.
- 2) **Связанность и примыкание районов** – это информация о взаимном расположении районов и об узлах пересечения на них.
- 3) **Пересечение** – информация о типах пересечений, которая позволяет «строить» на картах автомобильные развязки, мосты и др.
- 4) **Близость** – показатель пространственной близости линейных или полигональных объектов. Оценивается числовым параметром.

Топологические характеристики *линейных* объектов могут быть представлены в виде графа со всеми узлами и пересечениями. Примерами таких графов могут служить схема трамвайных маршрутов; схема метрополитена. Узлы графа соответствуют пересечениям дорог, ребра – описывают участки дорог. Длина ребер может и не нести информативной нагрузки.

Топологические характеристики *полигональных* объектов могут быть представлены в виде графов покрытий и смежности. Граф покрытия гомоморфен контурной карте соответствующей местности. Ребра графа – границы районов, узлы – точки смыкания районов. Степень вершины такого графа – число районов, которые в ней смыкаются.

Общепринятым является деление векторных программных средств ГИС на топологические и нетопологические. В первых ГИС фиксация топологических пространственных отношений между объектами (смежности, связности, вложенности и др.) является основой их конструкции. Во вторых же ГИС цифруются пространственные объекты, изначально не знающие друг о друге, и построение отношений между ними осуществляется в режиме постпроцесса. Топологические системы являются более адекватным инструментом для создания качественных цифровых карт. Практика ГИС показывает, что значительно выгоднее, когда оператор создает изначально качественные карты и фиксирует в них отношения между объектами, а не относит эту стадию на этап постпроцесса.

Топологические характеристики заносятся при кодировании данных в виде дополнительных атрибутов. Во многих ГИС это производится при дигитализации полуавтоматически.

Практически все используемые в настоящее время ГИС используют топологические модели, что позволяет хорошо выражать пространственное соотношение между объектами.

2.7.3. Растровые модели

В растровых моделях дискретизация непрерывных последовательностей реального мира осуществляется наиболее простым способом: вся территория представляется последовательностью ячеек (пикселей), образующих регулярную сеть. Каждой ячейке соответствует одинаковый по размеру, но разный по характеристикам участок территории. В ячейке модели содержится значение характеристик, усредненные по участку территории. Процедура формирования изображения называется *пикселизация*.

Если векторная модель дает представление «где» находится объект, то растровая модель – «что» расположено в той или иной точке территории.

В качестве атомарной модели используется элементарный участок территории – пиксель. Упорядоченная последовательность пикселей образует растр, который является моделью карты. Каждый элемент растра имеет одно значение плотности или цвета.

Характеристики растровых моделей:

- разрешение;
- значение;
- ориентация;
- зона;
- положение.

Разрешение – минимальный линейный размер наименьшего участка пространства или поверхности, отображаемый одним пикселем. Пиксель чаще всего изображается прямоугольником или квадратом (иногда шестиугольником).

Значение - элемент информации, хранящийся в пикселе. В качестве типов значений могут использоваться разные классы значений: цифровые, буквенные и др. Например, 1 –класс незагрязненной среды; 2 – среда подвергнута антропогенному загрязнению; 3 – зона экотоксикологической опасности. Для отображения значения чаще всего используются заливка пикселя (цветом, плотностью или узором).

Ориентация определяется через угол между направлением на Север и положением колонок раstra.

Зона – это соседствующие друг с другом ячейки, имеющие одинаковые значения. Зоны могут присутствовать не во всех слоях. Основные характеристики зоны – значение и положение.

Буферная зона - зона, границы которой удалены на известное расстояние от любого объекта на карте.

Положение задается упорядоченной парой координат, которые однозначно отображают положение каждого элемента на карте.

Достоинства растровых моделей:

- растр не требует предварительного ознакомления с предметной областью; данные собираются с равномерно расположенной сети точек, могут легко подвергаться статистической обработке;
- растровые модели просты в обработке, возможна обработка по параллельным алгоритмам, за счет чего обеспечивается высокое быстродействие;
- некоторые задачи, например, создание буферной зоны, проще решаются в растровом виде;
- многие растровые модели позволяют вводить векторные объекты, обратная задача много труднее;
- процессы растеризации проще процессов векторизации алгоритмически.

Основные недостатки растровых моделей:

- требует больших объемов памяти для хранения растрового изображения ;
- объекты сложно масштабировать: при увеличении объекта становятся видны отдельные пиксели, при уменьшении;
- сложно рассчитать результирующий цвет пикселя, который получается при слиянии нескольких пикселей разных цветов;

- проблемы разбиения сложного изображения на произвольные элементы, для их раздельного использования и редактирования.

Наиболее часто растровые модели получают при обработке космических снимков. Самый простой способ ввода растрового изображения - прямой ввод информации ячейка за ячейкой. Недостаток такого метода: значительное время, затрачиваемое на ввод. Кроме того, растровые цифровые изображения занимают, как правило, большие объемы памяти. Например, при обработке снимков с искусственного космического спутника Земли, каждый снимок разбивается на сотни миллионов пикселей. Однако часто информация в нескольких ячейках, идущих подряд, повторяется (т.е. формируются зоны). Возникает возможность сжатия информации при вводе. Один из методов сжатого представления растровой информации - метод группового кодирования.

Метод группового кодирования (*run-length encoding, run lenght coding, RLE*) - кодирование группами отрезков. Это самый простой и распространенный метод сжатия растровых данных, основанный на замене групп повторяющихся символов в последовательности значением числа повторений, иначе говоря, замена отрезка, состоящего из одноименных элементов *растра*, длиной отрезка (*run length*).

В методе группового кодирования данные вводятся парой чисел: первое обозначает длину группы пикселей, имеющих одинаковое значение, второе - значение пикселя в этой группе. Данные вводятся построчно. Если элемент встречается впервые - он помечается признаком «начало». Если за данной ячейкой следует цепочка ячеек с такими же значениями, то они подсчитываются. Последняя ячейка помечается признаком «конец». Ввод осуществляется справа - налево, сверху - вниз.

Например, символ - треугольник, составленный из символов «1». Исходный растр содержит 28 символов.

```
0001000
0011100
0111110
0000000
```

Закодированный растр: 30113020312010511070, т.е. 20 символов. Даже на таком маленьком примере видно преимущество: вместо 28 символов используется 20, т.е. выигрыш около 30%. При работе с большими массивами экономия места и времени еще значительнее.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ТЕМЕ 2

1. Поясните понятие «генерализация»
2. Чем отличается генерализация от агрегации?
3. Что является самой элементарной информационной единицей?
4. Что такое атрибут?

5. Чем отличается логическая запись от физической?
6. Дайте определение классификации.
7. Приведите пример классификации 1 типа.
8. Приведите пример классификации 2 типа.
9. Что такое эталон класса?
10. Объясните принцип работы алгоритма Форель.
11. Как с помощью алгоритма Форель получить заданное число классов?
12. Объясните принцип работы алгоритма Краб.
13. Что такое «гиперсфера»?
14. Какие характеристики классификации учитываются в критерии качества алгоритма Краб?
15. Для чего используются в ГИС представители классов?
16. Чем отличаются дивизимные алгоритмы классификации от агломеративных?
17. Почему алгоритм Краб относится к вариационным алгоритмам?
18. Как определить центр тяжести класса?
19. Как определяется мера близости точек в классе в алгоритме Краб?
20. Можно ли автоматическую классификацию считать объективной?
21. Чем отличаются сильно типизированные модели данных от слабо типизированных? Приведите примеры.
22. Что такое «инфологическая модель данных»?
23. Какие три компоненты составляют инфологическую модель ГИС?
24. Что такое «уровень узла» в иерархической модели?
25. Для чего в ГИС может быть использовано квадратомишечное дерево?
26. Что такое первичный ключ отношений?
27. Какими свойствами должен обладать ключ в реляционной модели данных?
28. Что такое «геоид»?
29. Чем отличаются плоские декартовы координаты от плоских полярных координат?
30. Чем отличается малый круг на Земной поверхности от большого круга?
31. Какие примитивы обычно используют в ГИС?
32. Чем отличается нормальный узел от псевдоузла?
33. Чем характеризуется висячий узел?
34. Какие типы взаимосвязей могут существовать между координатными данными?
35. Что называется валентностью узла?
36. Что такое «разграфка» топографической карты?
37. Карты какого масштаба являются топографическими?

38. Чем отличается колонна от зоны при разграфке топографических карт?
39. Определите номенклатуру листа масштаба 1:500 000, на котором находится объект с географическими координатами 30° С.Ш. 70° В.Д.
40. Приведите пример номенклатуры листа масштаба 1:25 000.
41. Какие характеристики определяют качество данных?
42. Что понимают под логической непротиворечивостью?
43. Чему равна позиционная погрешность данных, если ошибка съема данных равна 1 мм, ошибка цифрования составляет 0.8 мм, а ошибка представления равна 0.4 мм?
44. По каким характеристикам векторная модель превосходит растровую модель?
45. Чем отличается топологическая модель от нетопологической?
46. Может ли растровая модель быть топологической?
47. Назовите основные характеристики растровой модели.
48. В чем суть метода группового кодирования?
49. Можно ли получить при классификации по алгоритму Форель пустой класс?
50. Для чего в алгоритме классификации используется кратчайший незамкнутый путь?

ТЕМА 3

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ОПЕРАЦИЙ НАД КООРДИНАТНЫМИ ДАННЫМИ

3.1. Векторизация

Координатные данные могут быть представлены в векторном, либо в растровом форматах. Растровые изображения отображают поля данных, т.е. носят *полевой* характер. Векторные изображения изображают объекты, т.е. носят *объектный* характер. Каждый вид изображения имеет свои преимущества, поэтому в ГИС используются оба вида. Растровые изображения часто используются на стадии ввода, векторные – при обработке и выдаче результатов. Растровыми изображениями являются основные входные документы: фотографии, карты, архивные данные. Операции преобразования данных из растрового представления в векторное изображение называется **векторизацией**. В технологическом плане данная операция представляет собой переход от полевого изображения к объектному.

Чаще всего векторизацию применяют при интерпретации сканированных аэрокосмических снимков. Для этого на растровой изображении выделяют и оконтуривают однородные области, затем придают им свойства объектов.

Векторные изображения могут быть сразу созданы с помощью специальных программ – графических редакторов, которые входят в состав большинства ГИС-пакетов. Для векторизации растровых изображений существуют специальные программы – векторизаторы и устройства векторизации.

Векторизация может быть ручной, полуавтоматической и автоматической. В графических редакторах обычно используется ручная векторизация, так как при построении изображений одновременно решается задача идентификации объектов и присвоение им пользовательских идентификаторов. Автоматические и полуавтоматические векторизаторы служат для обработки электронных растровых изображений, ручной режим в них служит лишь для коррекции результата. Для ручного ввода векторных объектов используется устройство – дигитайзер. Дигитайзер представляет собой планшет, на котором располагается оригинал-растр. Специальным «карандашом» оператор обводит контуры объектов, при этом формируются векторные примитивы в виде линий (полилиний), если контур объекта не замкнут, полигонов (контур замкнут) и точек.

Программы - векторизаторы различаются следующими характеристиками:

- возможностью векторизации различных видов растра: бинарного, полутонового, цветного изображений;
- требуемым качеством исходного растра;
- возможностью редактирования исходного растрового изображения;
- типом графической оболочки.

Задачей векторизации является не только выделение объектов, но и сохранение топологии. Например, линия со стрелками должна быть распознана, как линия со стрелками, а не как совокупность трех отдельных линий; две пересекающиеся линии - как две линии, а не как четыре отрезка.

При работе в автоматическом режиме векторизации до сих пор существует много проблем: подавление шумов, нахождение и устранение разрывов линий, учет изменения толщины линии, сохранение топологических признаков, распознавание и восстановление надписей, анализ ситуаций с большим количеством объектов и др.

Пока самым надежным и точным является интерактивный метод, когда программа-векторизатор в каждом сложном случае представляет оператору возможность принятия решения.

При векторизации применяют ряд специальных терминов:

векторный объект – графический объект, заданный своим аналитическим описанием, которое включает в себя тип векторного объекта (его форму: отрезок прямой, окружность, дуга и др.), а также параметры объекта (координаты базовых точек, масштаб и др.);

векторный рисунок – совокупность векторных объектов;

маска – прямоугольная область растрового изображения, задаваемая пользователем, которая игнорируется при векторизации;

примитив – простейшая графическая модель векторизации (дуга, линия, текст, контур, полилиния, размерная линия);

рабочая область – прямоугольный фрагмент растрового изображения, который обрабатывается программой-векторизатором;

файл параметров – уникальный для каждого растрового изображения файл, который содержит все параметры распознавания: информацию о расположении рабочей области, значение разрешения растрового изображения (точек на дюйм), текущие единицы (точки, миллиметры, дюймы);

фильтрация – процедура, применяемая для повышения качества растрового изображения; программа фильтрации анализирует цвет близлежащих точек вокруг обрабатываемой точки и изменяет или оставляет без изменения ее цвет.

Легче всего программы-векторизаторы обрабатывают бинарные изображения. Когда растровое изображение выводится на монитор, каждый пиксель экрана соответствует нескольким растровым точкам изображения. Цвет пикселя становится черным или белым в зависимости от того, каких точек (черных или белых) в нем больше. Черные пиксели, сливаясь в зоны, образуют пятна, из которых формируются полигоны и линии, которые, в свою очередь, передают изображение рисунка.

При векторизации можно управлять режимом отображения растрового изображения, используя команды управления экраном. При отображении «один к одному» программа отобразит один элемент растра в один пиксель. При отображении «один к двум» – изображение на экране будет увеличенным, при этом для изображения каждой растровой точки используется четыре пикселя. При этом вид растрового изображения может исказиться: неровности, не заметные при прежнем масштабе, увеличатся пропорционально и будут сильно видны.

3.2. Проекционные преобразования

Земля – круглая⁷, карта – абсолютно плоская. Возникает задача: круглую Землю отобразить на плоской карте, при этом спроецировать ее так, чтобы можно было установить математическое соответствие между географическими координатами объектов на Земле и плоскими координатами этого же объекта на бумаге (экране монитора). Для обеспечения математического соответствия применяются проекционные преобразования. За большинством видов проекций стоит достаточно простой математический аппарат, переводящий географические координаты на эллипсоиде Земли в прямоугольные координаты на бумаге.

⁷ Форма Земли скорее грушевидная, чем круглая, она сжата на Северном Полюсе и растянута на экваторе

По форме координатных линий наиболее универсальной является прямоугольная система декартовых координат: x , y , z . Но при решении задач картографии, навигации и др. необходимо использовать координатную поверхность отсчетного эллипсоида и связанные с ней геодезические (эллипсоидные) координаты B (широту), L (долготу) и H (высоту над уровнем моря)⁸. Связь прямоугольных и геодезических координат описывается выражениями

$$x = (N + H) \cos B \cos L,$$

$$y = (N + H) \cos B \sin L,$$

$$z = [N(1 - e^2) + H] \sin B,$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}},$$

где a – меньший радиус эллипсоида

$$a = 6378137(\text{м});$$

$$e^2 = 2a - a^2 = 0.00669438$$

Математический закон построения карты требует задания **масштаба** и вида **картографической проекции**.

3.2.1. Масштаб

Уменьшая мысленно земной эллипсоид в M раз, например в 10 000 000 раз, получают его геометрическую модель - глобус, изображение которого уже в натуральную величину на плоскости даёт карту поверхности эллипсоида. Величина $1: M$ (в примере $1: 10\,000\,000$) определяет главный, или общий масштаб карты.

Масштабом называется отношение длины линии на карте к длине соответствующей линии на Земном шаре.

Масштаб показывает, во сколько раз уменьшено картографическое изображение, сколько сантиметров на местности содержится в 1 см на карте. Например, масштаб $1:1\,000\,000$ означает, что 1 см на карте соответствует 1000000 см на местности, т.е. в 1 см карты - 10 км на местности.

Так как поверхности эллипсоида и шара не могут быть развёрнуты на плоскость без разрывов и складок (они не принадлежат к классу развёртывающихся поверхностей), любой карте присущи искажения (например, длин линий, углов и т.п.). Основная характеристика карты в любой её точке - част-

⁸ Долгота и широта точки выражается в радианах, высота – в метрах.

ный масштаб μ . Это - величина, обратная отношению бесконечно малого отрезка dS на земном эллипсоиде к его изображению $d\sigma$ на плоскости:

$$\frac{1}{\mu} = \frac{dS}{d\sigma},$$

причем μ зависит от положения точки на эллипсоиде. Как правило, $\mu \neq M$, равенство возможно лишь в отдельных точках или вдоль некоторых линий на карте. Таким образом, главный масштаб карты характеризует её только в общих чертах, в некотором осреднённом виде.

Отношение $\frac{\mu}{M}$ называют относительным масштабом, или увеличением длины, разность $\left(\frac{\mu}{M} - 1\right)$ называют искажением длины. При анализе свойств

картографической проекции можно не принимать во внимание главный масштаб; численное значение его учитывается только при вычислениях координат точек на карте.

Как правило, на картах дают не только числовой, но и линейный масштаб - отрезок масштабной линейки, удобный для выполнения измерений.

В России приняты следующие масштабы топографических карт: 1:1 000 000, 1:500 000, 1:200 000, 1:100 000, 1:50 000, 1:25 000, 1:10 000. Этот ряд масштабов называется стандартным. Иногда в этот ряд включают вспомогательные масштабы 1:300 000, 1:5000 и 1:2000.

Карты масштабов 1:50 000 (1см=500 м), 1:100 000 (1см=1000 м), называются крупномасштабными. Карты масштабов 1:10 000 (1см=100 м), 1:25 000 (1см=250 м) называются планами.

3.2.2. Картографическая проекция

Картографическая проекция - это способ перехода от реальной, геометрически сложной земной поверхности к плоскости карты. Для этого вначале переходят к математически правильной фигуре (конус, цилиндр), а затем изображение проектируется на плоскость, опять-таки с помощью строгих математических правил.

Сферическую поверхность невозможно развернуть на плоскость без деформаций - сжатий и растяжений. Значит, всякая карта имеет те или иные искажения. Различают искажения длин, площадей, углов и форм. На крупномасштабных картах искажения могут быть практически неощутимы, но на мелкомасштабных они бывают очень велики. Картографические проекции обладают разными свойствами в зависимости от характера и размера искажений.

Равноугольные (конформные) проекции сохраняют без искажений углы и формы малых объектов, зато в них резко деформируются длины и пло-

щади объектов. По картам в равноугольных проекциях удобно, например, прокладывать маршруты судов и самолетов, но невозможно измерять площади.

Равновеликие (эквивалентные) проекции не искажают площадей, но углы и формы объектов в них сильно искажены. Эти проекции хорошо приспособлены для определения площадей (например, размер государств, земельных угодий и др.).

Произвольные проекции имеют искажения длин, площадей и углов, но они распределяются по карте наиболее выгодным образом. Например, выбирают проекции с минимальными искажениями в центральной части, зато они резко возрастают по краям карты. Среди произвольных проекций выделяют равнопромежуточные, в которых искажения длин отсутствуют по одному из направлений: либо вдоль меридиана, либо вдоль параллели.

Кроме того, существует большой класс условных проекций, при построении которых не пользуются геометрическими аналогиями, а лишь математическими уравнениями нужного вида.

Преобразования картографических проекций используются тогда, когда цифровая карта (или слой) выполнена в некоторой известной проекции или месторасположение объектов соответствуют их теоретическим координатам, но должны быть преобразованы в географические координаты либо в другую картографическую проекцию. Координаты точек пространственных объектов на компьютерной карте должны однозначно определять местоположение объектов на земной поверхности.

Группа процедур, осуществляющая переход от одной проекции к другой, носит название **проекционные преобразования**. Эти процедуры включают в себя как простые операции, например, пересчет координат при повороте, смещении, масштабировании, так и сложные операции (укладка объектов в систему опорных точек). В разных пакетах ГИС число операций проекционного преобразования различно: от сотен до их отсутствия. Например, в ГИС *GeoGraph* – несколько десятков, а в *ArcInfo* – сотни преобразований.

Проекции различают и по виду вспомогательной поверхности, используемой при переходе от эллипсоида или шара Земли к плоскости карты. Основные виды проекций, используемых в ГИС:

- конические;
- азимутальные;
- цилиндрические;
- поликонические;
- видоизмененные поликонические;
- псевдоцилиндрические;
- Гаусса-Крюгера.

По положению полюса сферических координат проекции бывают:

- нормальные (прямые);
- поперечные;

- косые.

Географические координаты (угловые величины: широта и долгота) определяют положение любой точки относительно экватора и начального (Гринвичского) меридиана. На карту наносятся линии параллелей и меридианов. Параллель - это любая линия, все точки которой имеют одну и ту же географическую широту. Счет параллелей идет от экватора к северу и югу (от 0° до 90° северной или южной широты). Меридиан - это линия, все точки которой имеют одинаковую географическую долготу. По отношению к Гринвичскому меридиану различаются западные и восточные долготы (з.д.- и в.д.), отсчитываемые от 0° и 180° .

Линии меридианов и параллелей образуют картографическую сетку. Обычно на рамках карты подписывают значения основных меридианов и параллелей, иногда дают более дробные деления (например, через 5° или через 1°) для удобства отсчета координат.

А) Конические проекции

Наибольшее распространение в картографии получили равноугольные и равновеликие конические проекции. Образование конических проекций для наглядности можно представить как проектирование земной поверхности на боковую поверхность конуса, определенным образом ориентированного относительно земного шара (эллипсоида). В прямых конических проекциях оси земного шара и конуса совпадают. При этом берется или касательный конус (Рис.3.1 А) к эллипсу земной поверхности, или секущий (Рис. 3.1.В). После проектирования боковая поверхность конуса разрезается по одной из образующих и развертывается в плоскость

В зависимости от размеров изображаемой территории в конических проекциях получаются одна или две параллели, вдоль которых сохраняются длины без искажений. Эти параллели называются ***стандартными***. Одну стандартную параллель в проекции получают при использовании касательно-го конуса (Рис. 3.1. А). Такая проекция применяется при анализе террито-

рии с небольшой протяженностью по широте. Две стандартных параллели (Рис. 3.1.В) получают при использовании секущего конуса.

В математическом описании конических проекций имеются две постоянные величины " α " и " c " (Рис.3.2). Постоянная " α " равняется синусу широты стандартной параллели или, что то же самое, синусу угла при вершине конуса. Для проекций с двумя стандартными параллелями формула $\alpha = \sin \varphi$ остается верной только для равноугольных проекций, причем в

этом случае φ - широта параллели с наименьшим масштабом (верхняя). Из формулы следует, что постоянная " α " может быть только меньше единицы $0 < \alpha < 1$. Если же $\alpha = 1$, то коническая проекция превратится в азимутальную. Если $\alpha = 0$, то образующие конуса будут параллельны его оси и коническая проекция превратится в цилиндрическую.

Вторая постоянная " c " в равноугольной и промежуточной проекции имеет определенный геометрический смысл - это радиус экватора в проекции.

Коническая проекция будет вполне определена, если заданы постоянные величины проекции или "любые величины, взаимно однозначно с ними связанные". Это могут быть широты стандартных или крайних параллелей. В последнем случае, например, может быть дополнено условие, чтобы масштабы на крайних параллелях и на параллели с наименьшим масштабом были равны по абсолютной величине. Может быть поставлено, например, требование, чтобы среднее квадратичное искажение длин было наименьшим или было наименьшим крайне искажение углов. Наиболее просто постоянные проекции вычисляются по заданным значениям широт стандартных параллелей φ_1 и φ_2 . Выбрать их следует в соответствии с конфигурацией изображаемой области.

Конические проекции особо пригодны для территорий, вытянутых вдоль параллелей в целях уменьшения уклонений масштабов от единицы.

Для карт России обычно выбирают конические проекции, в которых вообразимый конус сечет земной шар по параллелям 47° и 62° С.Ш., - это линии нулевых искажений. Вблизи этих линий искажения невелики.

Такое представление удобно, поскольку между указанными параллелями размещаются основные хозяйственные зоны нашей страны и здесь сосредоточена максимальная нагрузка карт. Зато в конических проекциях сильно искажены районы, лежащие в высоких широтах и акватории Северного Ледовитого океана.

Б) Азимутальные проекции

В прямых азимутальных проекциях (Рис. 3.4. А) параллели (альмукантараты) изображаются концентрическими окружностями, меридианы (вертикалы) - пучком прямых, исходящих из центра. Углы между меридианами проекции равны соответствующим разностям долгот.

Промежутки между параллелями определяются принятым характером изображения (равноугольным или др.) или способом проектирования точек земной поверхности на картинную плоскость. Нормальная сетка азимутальных проекций ортогональна.

Азимутальные проекции можно рассматривать как частный случай конических проекций, в которых $\alpha=1(180^\circ)$.

Азимутальные проекции применяются как прямые, так и косые и поперечные, что определяется широтой центральной точки проекции, выбор которой зависит от расположения исследуемой территории. Меридианы и параллели в косых и поперечных проекциях (Рис. 3.5. В, С) изображаются кривыми линиями, за исключением среднего меридиана, на котором находится центральная точка проекции. В поперечных проекциях прямой изображается также экватор: он является второй осью симметрии.

В проекции масштаб длин может сохраняться в точке или вдоль одной из параллелей (вдоль альмукантарата). В первом случае предполагается касательная картинная плоскость, во втором - секущая. В прямых проекциях формулы даются для поверхности эллипсоида или шара (в зависимости от масштаба карт), в косых и поперечных - только для поверхности шара.

В) Цилиндрические проекции

Цилиндрическая проекция – это проектирование земной поверхности на боковую поверхность цилиндра, которая затем разворачивается в плоскость. Цилиндр может быть касательным к земному шару или секущим его. В первом случае длины сохраняются по экватору. Во втором - по двум стандартным параллелям. На основе цилиндрической проекции составляются космические и аэронавигационные карты

Цилиндрические проекции бывают прямые, косые и поперечные. В прямых цилиндрических проекциях одни и те же участки поверхности изображаются одинаково вдоль линии разреза в восточной и западной частях карты, что обеспечивает удобство чтения карты по широтным поясам.

Косые цилиндрические проекции имеют географическую сетку, которая дает представление о сферичности земного шара. С уменьшением широты полюса кривизна параллелей увеличивается, а их протяженность уменьшается, что дает представление о сферичности земли.

В прямых цилиндрических проекциях параллели и меридианы изображаются двумя семействами параллельных прямых линий, перпендикулярных друг к другу. Промежутки между параллелями пропорциональны разностям долгот, промежутки между меридианами определяются принятым характером изображения (равноугольным или др.) или способом проектирования точек земной поверхности на боковую поверхность цилиндра. Из определения проекций следует, что сетка меридианов и параллелей ортогональна. Цилиндрические проекции можно рассматривать как частный случай конических проекций при $\alpha=0$ (вершина конуса в бесконечности).

Прямые цилиндрические проекции, косые или поперечные применяются в зависимости от расположения изображаемой области. В косых и поперечных проекциях меридианы и параллели изображаются различными кривыми, но средний меридиан проекции, на котором располагается полюс кося системы, всегда прямой. В поперечных проекциях, кроме того, прямой линией изображается экватор.

Для карт мира чаще всего применяют цилиндрические проекции, обладающие наименьшими искажениями в области экватора и средних широт. Искажения в прямых цилиндрических проекциях зависят только от широты. В цилиндрических проекциях имеется одна постоянная c , определяющая промежутки между меридианами. Таким образом, геометрический смысл постоянной " c " - это радиус параллели, сохраняющей длины, т.е. стандартной параллели. Ординаты и масштабы длин по параллелям зависят лишь от выбранной широты.

Масштаб длин по параллелям имеет минимальное значение на экваторе, равен единицы на стандартных параллелях и затем, возрастая с увеличением широты, достигает бесконечно большой величины на полюсе.

Если изображаемая область имеет небольшое протяжение по широте и располагается примерно симметрично относительно экватора, целесообразно брать проекцию, сохраняющую длины на экваторе, т.е. такую, чтобы масштаб на экваторе равнялся единице.

Широты стандартных параллелей при одинаковой значимости северной и южной частей изображаемой области могут находиться по следующему условию: масштабы на крайних параллелях, расположенных симметрично относительно экватора, должны быть равны между собой и быть на столько больше единицы, на сколько меньше единицы масштаб на экваторе (секущий цилиндр). Прямые цилиндрические проекции с двумя стандартными параллелями (секущий цилиндр) могут применяться и тогда, когда изображаемая область находится по одну сторону от экватора. Широта стандартной параллели может выбираться примерно посередине изображаемой территории.

Цилиндрические проекции могут находить самое разнообразное применение: от карт мелких масштабов до крупномасштабных, от общегеографических карт до специальных. Проекция Меркатора (частный случай цилиндрической проекции) широко применяется в навигации из-за удобства учета искажений длин. Используется она как для карт отдельных водных бассейнов, так и для изображения мирового океана.

По закономерностям в распределении искажений цилиндрические проекции более всего подходят для изображения сравнительно узкой полосы, так как изоколы⁹ изображаются прямыми параллельными линиями, которые могут быть ориентированы так, чтобы располагались по линии наибольшего протяжения изображаемой области. Эта полоса должна быть расположена симметрично относительно экватора - географического или условного, так как искажения изменяются медленно лишь около экватора. Аэронавигационные маршрутные полетные карты чаще всего составляются в косых и поперечных цилиндрических равноугольных проекциях (на шаре).

Для обеспечения обзорности изображения всей земной поверхности или значительных ее частей нередко, несмотря на большие искажения, используют прямые цилиндрические проекции. В этих проекциях одинаково изображаются одни и те же участки земной поверхности вдоль линии разреза - по восточной и западной рамкам карты (дублируемые участки карты) и обеспечивается удобство чтения по широтным поясам (например, на картах растительности, осадков) или по меридианальным зонам (например, на картах часовых поясов).

Косые цилиндрические проекции при широте полюса косой системы, близкой к полярным широтам, имеют географическую сетку, дающую представление о сферичности земного шара. С уменьшением широты полюса кривизна параллелей увеличивается, а протяжение их уменьшается, поэтому уменьшаются и искажения и эффект сферичности. В прямых проекциях полюс изображается прямой линией, по длине равной экватору, но в некоторых из них (Меркатора, Уэтча) полюс изобразить невозможно. Полюс изображается точкой в косых и поперечных проекциях. При ширине полосы до 4.5° можно брать касательный цилиндр, при увеличении же ширины полосы следует применять секущий цилиндр и вводить редуцирующий коэффициент.

Г) Поликонические проекции

При получении поликонической проекции проецирование осуществляется для каждой параллели на свой конус. Представим себе конус, который касается глобуса по северной 50-ой параллели. Перенесем все точки глобуса на эту параллель, затем берем конус, который будет касаться глобуса по 51-ой параллели и тоже переносим все точки этой параллели на конус. Повторяем операции для 52-ой и так далее. Все конусы будут разные. Чем южнее параллель, тем конус будет более острый. Затем выбирается один из меридианов, например, 90-ый восточной долготы, проходящий примерно по Енисею. То место, где этот меридиан будет пересекать параллель, по которой конус касается глобуса, отмечается особой точкой. Аналогично отмечается точка,

⁹ *Изоколы – линии, соединяющие на карте точки с одинаковыми значениями искажений, обусловленных свойствами карт.*

где будет пересекаться параллель с меридианом 90 градусов западной долготы. Затем все полученные конусы разрезаются вдоль так, чтобы точка реза проходила через точку 90 градусов западной долготы, разворачиваются на плоскости (на столе) и видим, что на каждом из них нарисована узкая полоска картографического изображения, соответствующая той параллели, в которой наш конус касался глобуса. После этого вырезаются эти узкие полоски, которые будут представлять собой дуги, и складываются их на столе так, чтобы они касались друг

друга в точке, где отмечена точка пересечения такой дуги 90-ым меридианом восточной долготы. Такой меридиан будет называться осевым, поскольку полученные дуги симметричны относительно него. Этот меридиан – один из параметров поликонической проекции. Если заполнить разрывы между вырезанными дугами изображением, то получим карту в поликонической проекции. Осевой меридиан на ней будет представлен прямой линией, проходящей через середину карты, а параллели – дугами окружностей, центры которых не будут совпадать, но будут лежать на осевом меридиане. Естественно, что расстояние между параллелями будет увеличиваться по мере удаления от осевого меридиана. Параллели прямых поликонических проекций изображаются дугами эксцентрических окружностей, центры которых находятся на среднем - прямолинейном - меридиане или его продолжении. Остальные меридианы изображаются кривыми, симметричными относительно среднего меридиана.

Для каждого конкретного задания выбирают ту или иную зависимость полярных координат от широты до долготы.

Д) Видоизмененная простая поликоническая проекция

В 1913 г. на Международной конференции в Париже были приняты "Основные положения по созданию Международной миллионной карты мира". Карта было предложено создать на основе видоизмененной простой поликонической проекции с учетом особенностей ее применения для создания карты масштаба 1:1 000 000.

Земная поверхность, принимаемая за поверхность эллипсоида

вращения, делится линиями меридианов и параллелей на трапеции. Трапеции изображаются на отдельных листах в одной и той же проекции (для масштаба 1:1 000 000 в видоизмененной простой поликонической). Листы Международной карты мира масштаба 1:1 000 000 имеют определенные размеры сторон трапеций - по меридианам 4° , по параллелям 6° ; на широте от 60° до 76° листы сдваивают, они имеют размеры по параллелям 12° ; выше 76° листы четверяют, их протяжение по параллелям 24° . Номенклатура сдвоенных и четверенных листов карты складывается из обозначений широтного пояса и соответственно двух или четырех колонн, например Р 39,40. Особенности видоизмененной простой поликонической проекции и распределение искажений в пределах отдельных листов карты масштаба

1:1 000 000 следующие. Меридианы изображаются прямыми линиями. Длина двух меридианов, отстоящих от среднего на $\pm 2^\circ$ по долготе (на $\pm 4^\circ$ на сдвоенных листах и на $\pm 8^\circ$ - на четверенных), искажений не имеет. Крайние параллели каждого листа (северная и южная) являются дугами окружностей, центры этих параллелей находятся на среднем меридиане, длина их не искажается.

Картографическая сетка строится через 1° по широте и по долготе, на сдвоенных листах по долготе через 2° , на счетверенных - через 4° . Таким образом, все листы карты масштаба 1:1 000 000 имеют пять параллелей и семь меридианов. Криволинейные меридианы простой поликонической проекции заменяются в видоизмененной поликонической проекции прямыми, соединяющими соответственные точки крайних параллелей, поэтому масштабы на внутренних параллелях будут меньше единицы. Минимальный масштаб получим на средней параллели каждого листа карты.

Достоинством видоизмененной простой поликонической проекции является небольшая величина искажений. Анализ в пределах листа карты показал, что искажения длин не превышают 0.10%, площади 0.15%, углов $5'$ и являются визуально практически неощутимыми. Недостатком этой проекции считают появление разрывов при соединении листов по меридианам и параллелям.

Е) Псевдоцилиндрические проекции

Параллели в этих проекциях изображаются в виде прямых параллельных линий, меридианы – в виде кривых (дуг, синусоид, гипербол, парабол или эллипсов.), симметричных относительно среднего прямолинейного меридиана. Полнос изображается точкой или полярной линией. Длина линии устанавливается или получается из задания. Сетка не совпадает с направлением меридианов и параллелей, за исключением среднего меридиана и экватора. Псевдоцилиндрическая проекция используется при изображении всей поверхности или ее большей части в мелких масштабах.

Ж) Проекция Гаусса-Крюгера

В 1825 г. К. Гаусс впервые решил задачу по изображению одной поверхности на другой с сохранением подобия в бесконечно малых частях. Частным случаем этой задачи является отображение поверхности эллипсоида вращения на плоскости. В 1912 г. А. Крюгер вывел и опубликовал рабочие

формулы этой поверхности. После этого проекция получила название Гаусса-Крюгера и нашла широкое применение в топографо-геодезических работах.

В проекции Гаусса-Крюгера поверхность эллипсоида на плоскости отображается в виде совокупности меридианных зон, ширина которых равна 6° (для карт масштабов 1:500 000 - 1:10 000) и 3° (для карт масштабов 1:5 000 - 1:2 000). Меридианы и параллели изображаются кривыми, симметричными относительно осевого меридиана зоны

и экватора, однако их кривизна настолько мала, что западная и восточная рамки карты изображаются прямыми линиями. Параллели, совпадающие с северной и южной рамками карт, изображаются прямыми на картах крупных масштабов (1:2 000-1:50 000), на картах мелких масштабов они изображаются кривыми. Начало прямоугольных координат каждой зоны находится в точке пересечения осевого меридиана зоны с экватором.

Территорию бывшего СССР, например, покрывают 29 шестиградусных зон с номерами от 4 по 32. Изоколы в проекции Гаусса-Крюгера имеют вид овалов, вытянутых вдоль осевого меридиана; в пределах отдельных листов карт они имеют вид прямых. Максимальные искажения в каждой зоне будут при значениях широт 0° и $\pm 3^\circ$ в этих точках они достигают 0.14%. На расстоянии около 200 км по обе стороны от осевого меридиана и параллельно ему находятся две изоколы с нулевыми искажениями длин. При дальнейшем удалении от осевого меридиана масштаб длин становится больше единицы и достигает максимума на пересечении крайних меридианов зоны с экватором ($+0.05\%$).

Осевые меридианы трехградусных зон совпадают попеременно то с осевыми меридианами шестиградусных зон, то с крайними меридианами этих зон.

Номер зоны N и долгота осевого меридиана L_0 в градусах связаны между собой равенством $L_0 = 6N - 3$.

Чтобы исключить из обращения отрицательные ординаты и облегчить пользование прямоугольными координатами на топографических картах, ко всем координатам Y добавляют постоянное число 500 000 (метров). Точка пересечения осевого меридиана и экватора (начало координат) имеет значения: $X = 0$ км; $Y = 500$ км.

Чтобы знать, к какой зоне относятся координаты, необходимо к значению Y слева приписать номер зоны. Например, запись координаты $Y = 30\ 766\ 789$ м означает, что точка находится в 30-й зоне, ее реальная координата равна 266 789 м. Территория РСФСР находится в Северном полушарии, следовательно, все координаты X – положительные. Координаты Y будут отрицательными, если точка находится левее осевого меридиана и положительными, если правее.

3.3. Преобразования цифровых карт в ГИС

Функции преобразования плоскости предназначены для аналитического трансформирования изображения с использованием математического преобразования плоскости по набору опорных точек (тиков). Опорные точки выбираются, исходя из особенностей изображения (узловые точки сетки, узлы пересечения параллелей и меридианов, углы рамки, характерные точки контура и т.п..

Для осуществления геометрического преобразования определяются две системы координат:

- первая система координат связана с исходным изображением (до преобразования), обозначим координаты некоторой точки в этой системе x_c, y_c ;
- вторая система связана с трансформированным изображением (после преобразования), обозначим координаты точки в этой системе x_c^I, y_c^I .

После задания соответствующих опорных точек в первой и второй системах координат (ТИКов), определяется закон преобразования, по которому и происходит преобразование координат всех точек и в конце - всей цифровой карты.

1. Преобразование подобия характеризуется тем, что все фигуры на плоскости переводятся в геометрически подобные им фигуры. Все углы между пересекающимися прямыми сохраняют свои значения, а все линейные размеры увеличиваются или уменьшаются в одинаковое число раз. Практически преобразование подобия решает задачу перехода от одной декартовой системы координат к другой. Чтобы задать преобразование, достаточно выбрать в качестве опорных точек любые две точки плоскости и указать старые и новые координаты этих точек. Удобно принять в качестве опорных точек начало координат и какую-либо точку, лежащую на оси X или Y .

2. Аффинное преобразование. которое называют также линейным преобразованием. Это преобразование, которое всегда переводит прямые линии в прямые, при этом параллельные прямые остаются параллельными. Углы между пересекающимися прямыми могут изменяться или оставаться прежними. Рассмотренное выше преобразование подобия является частным случаем аффинного преобразования. Можно сказать также, что произвольное аффинное преобразование переводит заданный квадрат в любой заданный параллелограмм, в то время как преобразование подобия переводит квадрат в любой другой заданный квадрат. Чтобы задать аффинное преобразование, достаточно выбрать в качестве опорных точек три любые точки, не лежащие на одной прямой, и указать старые и новые координаты этих точек. Удобно принять в качестве опорных точек начало координат и две точки, лежащие соответственно на осях X и Y . Данный тип преобразования не может обеспечить точность преобразования опорных точек, но зато сохраняет все прямые линии прямыми.

3. Полиномиальное преобразование. Это один из типов нелинейных преобразований, т.е. таких, которые гарантируют точное преобразование для любого количества опорных точек, расплачиваясь за это искривлением прямых линий. Как известно из математического анализа, если заданы значения некоторой функции вещественного или комплексного переменного в N различных точках, то можно единственным образом построить полином степени $N-1$, принимающий в этих точках заданные значения (интерполяционный полином Лагранжа). Именно таким образом строится закон преобразования координат для полиномиального типа преобразования. Точки плоскости рассматриваются как комплексные числа. Для любого количества опорных точек гарантируется точное (в пределах погрешности вычислений) преобразование их координат в заданные новые значения. Интересной особенностью этого преобразования является то, что, несмотря на искривление линий, все углы пересечения линий сохраняют неизменное значение.

К сожалению, полиномиальное преобразование как средство решения задачи уточнения координат имеет ряд недостатков, основной из которых: чрезмерное искривление линий, резко усиливающееся по мере удаления от опорных точек.

4. Локальное преобразование. В отличие от полиномиального типа преобразования, данное преобразование основано не на строгих математических предположениях, а скорее на соображениях здравого смысла. Идея заключается в следующем. Для каждой из опорных точек можно тем или иным способом построить такую нелинейную функцию, которая преобразует старые координаты этой точки в ее новые координаты, а для остальных точек изменяет координаты тем менее, чем дальше точка отстоит от опорной. На большом расстоянии от опорной точки изменение координат должно стре-

миться к нулю. Построив подобные функции для каждой опорной точки, можно определить общее преобразование как взвешенную сумму этих функций, при этом коэффициенты суммирования нетрудно рассчитать таким образом, чтобы компенсировать небольшой сдвиг каждой опорной точки под влиянием перемещения остальных опорных точек.

5. Комбинированные аффинно-нелинейные преобразования. Можно ожидать заметного улучшения качества трансформации, если сначала выполнить аффинное преобразование по методу наименьших квадратов, а затем применить один из нелинейных методов. При этом на первом (аффинном) этапе в большинстве случаев удастся значительно сократить расстояния, на которые должны быть перемещены опорные точки, и в результате этого второй (нелинейный) этап преобразования вносит значительно меньшие нелинейные искажения, чем при непосредственном применении без предварительного выполнения линейной части преобразования.

Преобразования подобия

Постановка задачи. В системе координат XOY имеем точку O с координатами (X_c, Y_c) . Новая система координат получена путем сдвига начала координат δ_x и δ_y относительно начала первой системы координат, поворота осей на угол α (Рис. 3.12).

Обозначим $(x_c$ и $y_c)$ и $(x_c^I$ и $y_c^I)$ - координаты точки в старой и новой системах координат соответственно

Переход из XOY в $X'O'Y'$ выполняется по формулам :

$$\begin{aligned} x_c^I &= (x_c - \delta_x) \times \cos \alpha + (y_c - \delta_y) \times \sin \alpha \\ y_c^I &= -(x_c - \delta_x) \times \sin \alpha + (y_c - \delta_y) \times \cos \alpha \end{aligned}$$

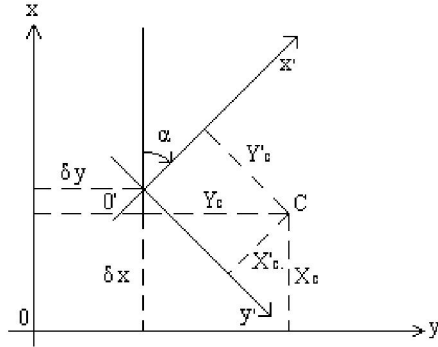


Рисунок 3.12 – Преобразования подобия

Для обратного перехода используются формулы:

$$x_c = \delta_x + x'_c \times \cos \alpha - y'_c \times \sin \alpha$$

$$y_c = \delta_y + x'_c \times \sin \alpha + y'_c \times \cos \alpha$$

Если известен коэффициент масштабирования по осям (k_x , и k_y), то формулы преобразования примут вид:

$$x'_c = k_x ((x_c - \delta_x) \times \cos \alpha + (y_c - \delta_y) \times \sin \alpha)$$

$$y'_c = k_y (-(x_c - \delta_x) \times \sin \alpha + (y_c - \delta_y) \times \cos \alpha)$$

Использование преобразования позволяет восстанавливать изображение, претерпевшее такие изменения, как сдвиг, поворот, масштабирование.

Аффинное преобразование

Формулы аффинного преобразования:

$$x'_c = a_1 \times x_c + a_2 \times y_c + a_3,$$

$$y'_c = a_4 \times x_c + a_5 \times y_c + a_6$$

где $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$ - искомые коэффициенты, x_c, y_c, x'_c, y'_c - координаты точки в старой и новой системах координат соответственно.

Коэффициенты преобразования могут быть вычислены по 3-м точкам, не лежащим на одной прямой, координаты которых заданы до и после преобразования. Коэффициенты преобразования могут быть также опреде-

лены из условия минимизации отклонения образов m заданных точек от некоторых фиксированных m точек ($m > 3$).

Использование аффинных преобразований позволяет восстанавливать изображение, претерпевшее такие изменения, как сдвиг, поворот, масштабирование (в том числе с различными коэффициентами по осям X и Y) по 3-м опорным точкам, а также с помощью m опорных точек несколько уменьшать отклонения точек изображения, не подчиняющиеся простому закону (например, с неравномерным растяжением (сжатием) бумаги). Аффинное преобразование прямые переводит в прямые. Это позволяет использовать аффинное преобразование области изображения, разбитой на треугольники, с сохранением непрерывности на границах треугольников.

Проективное преобразование

Формулы проективного преобразования:

$$x_c^I = \frac{(a_1 \times x_c + a_2 \times y_c + a_3)}{d},$$

$$y_c^I = \frac{(a_4 \times x_c + a_5 \times y_c + a_6)}{d},$$

$$d = a_7 \times x_c + a_8 \times y_c + 1$$

Коэффициенты преобразования могут быть вычислены по 4-м точкам (никакие 3 из которых не лежат на одной прямой), координаты которых заданы до и после преобразования. Проективное преобразование позволяет совмещать изображение по 4-м опорным точкам, что удобно, например, при цифровании расчлененных оригиналов карт (по традиционной ручной технологии расчлененные оригиналы совмещаются по 4-м крестам) или при раздельном цифровании слоев изображения. Проективное преобразование прямые переводит в прямые, что позволяет использовать проективное преобразование области изображения, разбитой на четырехугольники без сохранения непрерывности на границах четырехугольников.

Квадратичное преобразование

Формулы преобразования с помощью полиномов второй степени:

$$x_c^I = a_1 x_c^2 + a_2 y_c^2 + a_3 x_c y_c + a_4 x_c + a_5 y_c + a_6,$$

$$y_c^I = a_7 x_c^2 + a_8 y_c^2 + a_9 x_c y_c + a_{10} x_c + a_{11} y_c + a_{12}$$

где $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9, a_{10}, a_{11}, a_{12}$ - коэффициенты преобразования;

x_c, y_c, x_c^I, y_c^I - координаты точки в исходной и результирующей системах координат соответственно.

Коэффициенты преобразования могут быть вычислены по 6-ти точкам, координаты которых заданы до и после преобразования. Коэффициенты преобразования могут быть также определены из условия минимизации отклонения образов m заданных точек от некоторых фиксированных m точек ($m > 6$).

Преобразование с помощью полиномов второй степени позволяет совмещать изображение по 6-ти опорным точкам непрерывно и не сохраняет прямые линии.

Преобразование полиномами 5-й степени

Формулы преобразования с помощью полиномов пятой степени:

$$\begin{aligned}
 x_c^I &= a_1 \times x_c^5 + a_2 \times y_c^5 + a_3 \times x_c^4 \times y_c + a_4 \times x_c \times y_c^4 + a_5 \times x_c^3 \times y_c^2 + a_6 \times x_c^2 \times y_c^3 + a_7 \times x_c^4 + a_8 \times \\
 &\quad \times y_c^4 + a_9 \times x_c^3 \times y_c + a_{10} \times x_c \times y_c^3 + a_{11} \times x_c^2 \times y_c^2 + a_{12} \times x_c^3 \times y_c^4 + a_{13} \times x_c^2 \times y_c^4 + a_{15} \times \\
 &\quad \times x_c \times y_c^2 + a_{16} \times x_c^2 \times y_c + a_{17} \times y_c^2 + a_{18} \times x_c \times y_c + a_{19} \times x_c + a_{20} \times y_c + a_{21}, \\
 y_c^I &= a_{22} \times x_c^5 + a_{23} \times y_c^5 + a_{24} \times x_c^4 \times y_c + a_{25} \times x_c \times y_c^4 + a_{26} \times x_c^3 \times y_c^2 + a_{27} \times x_c^2 \times y_c^3 + \\
 &\quad + a_{28} \times x_c^4 + a_{29} \times y_c^4 + a_{30} \times x_c^3 \times y_c + a_{31} \times x_c \times y_c^3 + a_{32} \times x_c^2 \times y_c^2 + a_{33} \times x_c^3 + a_{34} \times \\
 &\quad \times x_c^4 + a_{35} \times x_c^2 \times y_c + a_{36} \times x_c \times y_c^2 + a_{37} \times x_c^2 + a_{38} \times y_c^2 + a_{39} \times x_c \times y_c + a_{40} \times x_c + \\
 &\quad + a_{41} \times y_c + a_{42}.
 \end{aligned}$$

Коэффициенты преобразования могут быть вычислены минимум по 21-й опорной точке, координаты которых заданы до и после преобразования. Коэффициенты преобразования могут быть также определены из условия минимизации отклонения образов m заданных точек от некоторых фиксированных m точек ($m > 21$).

Преобразование с помощью полиномов пятой степени целесообразно использовать при наличии большого числа опорных точек (по крайней мере 60 - 70), если ни аффинное, ни квадратичное преобразования не дают желаемого результата. Следует также помнить, что несколько "плохо" выбранных опорных точек могут существенно влиять на результат.

ВОПРОСЫ К ТЕМЕ 3

1. Для каких целей служит дигитайзер?
2. Какие проблемы нужно решать при автоматической векторизации?
3. Для чего при векторизации используется маска?
4. Что такое «рабочая область» в процедуре векторизации?

5. Как осуществляется процедура фильтрации?
6. Когда нужно использовать проекционные преобразования?
7. Какие проекции чаще всего используются в ГИС?
8. Чем отличается равноугольная проекция от равновеликой?
9. Как определяются постоянные величины конической проекции?
10. Что такое секущая параллель?
11. Может ли стандартная касательная параллель пройти по экватору?
12. Когда целесообразно использовать коническую проекцию с одной стандартной параллелью?
13. Чем отличаются прямая коническая проекция от поперечной конической проекции?
14. Каков принцип построения азимутальной проекции?
15. Как выглядят параллели и меридианы в прямых азимутальных проекциях?
16. Как выглядят параллели и меридианы в прямых цилиндрических проекциях?
17. В каких случаях целесообразно использовать цилиндрические проекции?
18. Как изображается полюс в прямых цилиндрических проекциях?
19. Чем отличаются поликонические проекции от конических?
20. Почему трапеции для широт выше 76° четверяют?
21. Скольким градусам по параллелям соответствуют самые северные трапеции?
22. В какой части трапеции наблюдается максимальное искажение?
23. Что такое изокола?
24. В чем проявляется недостаток видоизмененной простой поликонической проекции?
25. В какой проекции изоколы имеют вид овалов?

ТЕМА 4

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ГИС

4.1. Обзор промышленных пакетов ГИС

Продукция компании ESRI. Самая крупная в мире и самая известная компания по производству ГИС-продукции – это Институт исследования окружающей среды (*ESRI*) в Калифорнии (США). Она работает на рынке более 30 лет и имеет в настоящее время более 200 000 пользователей в мире. Компания создала и сопровождает лидирующий пакет ГИС *ESRI*.

В России компания *ESRI* более 10 лет имеет собственного дистрибьютора ДАТА+ и насчитывает около 1000 пользователей своего программного

продукта. Компания предлагает большую палитру поддержки своего продукта. Одна из немаловажных вещей — это то, что в России имеется центр по подготовке кадров. Продукты ESRI отличает открытость, интеграция и доступность: от простых бесплатных *Viewer*'ов, простых приложений для бизнес-людей, программных разработок систем настольного картирования к мощным профессиональным ГИС.

Основной и главный продукт ESRI - это профессиональная ГИС, которая называется *ArcInfo*. Это - основа, на которой развиваются все остальные программные разработки компании. В настоящее время происходят существенные изменения в *ArcInfo*. Она идет по пути открытости. Первый шаг открытости заключается в переходе *ArcInfo* с платформы Unix на платформу Windows NT.

Версия 7.1.2. имеет открытую среду разработки, то есть теперь *ArcInfo* можно настраивать с помощью обычных стандартных средств настройки, таких как *Visual Basic*, *Delphi*, *Visual C*. Стоимость программы более 2000\$.

ArcInfo была первой ГИС, использующей векторно-топологическую структуру данных и полностью интегрирующей возможности реляционной базы данных. Поскольку *ArcInfo* одинаково успешно работает с разнообразным аппаратным обеспечением и периферийными устройствами, пользователи всегда имеют возможность быстро модернизировать свои системы под новые задачи и адаптировать их к самой современной компьютерной технике. Макроязык *ArcInfo* (AML) открывает доступ ко всем базовым возможностям пакета, позволяет создавать на их основе собственные приложения, или использовать приложения, разработанные другими пользователями.

Второй важный продукт *ESRI*, не менее популярный не только у нас в стране, но и во всем мире, это *ArcView*. Он относится к числу настольных ГИС. Эта ГИС осваивается просто и для этого не надо иметь профессиональную подготовку. *ArcView* имеет наращиваемые функциональные возможности, ГИС легко «подогнать» под пользователя. *ArcView* — хотя и простая, но мощная система. В ней можно работать и с картами, и с таблицами, и со снимками, с текстовой информацией, связывая между собой эти документы.

ArcView 1 - русская версия. Пакет имеет русский интерфейс, русскую базу данных, русские учебники, русский *Help*. Архитектура несколько изменена по сравнению с исходной версией. Она имеет базовое ядро и модели расширения. Часть из них поступает с ядром, как обязательный пакет. Часть можно приобрести дополнительно. Стоимость полной программы *ArcView* около 1 000\$.

Один из важных модулей компании ESRI — это модуль *SpecialAnalyst*, который позволяет работать с поверхностями, причем в виде поверхности изображается не только привычный нам рельеф, но и поля загрязнения, демографические данные, все то, что имеет непрерывное распространение. Модуль *3DAnalyst* позволяет моделировать объекты и явления в привычном трехмерном изображении. Это расширение особенно удобно для градостроителей и архитекторов, которые привыкли видеть город в естественном виде.

Мощное расширение *ArcInfo*: модуль который разработан бизнес-партнером ESRI фирмой *ERDAS* - пакет для обработки снимков (аэроснимков, космических снимков и др.). Современное формирование данных без снимков трудно представимо, особенно для динамических структур. Прямо в *ArcInfo* существуют теперь огромнейшие возможности обработки снимков.

NetAnalyst — программный модуль для анализа сетей. Это могут быть коммуникационные сети, дорожные, транспортные, сети для решения оптимизационных задач, для решения задач по распределению ресурсов, для отслеживания различных коммуникаций.

Новое расширение *Dialog Designer* – это средство (можно получить для пользователей *ArcViewer* бесплатно), которое позволяет настроить диалоги, строить красивые диалоговые окна к каким привыкли пользователи ГИС, используя стандартные среды разработки *Visual Basic* и т.д.

Модуль *Track Analyst* позволит моделировать изменение объектов не только в пространстве, но и во времени. Например, с помощью такого модуля можно будет проследить передвижение торнадо во времени и пространстве.

Модуль *ArcPress* необходим для тех кто выпускает бумажные карты. Мощный растрезатор, используемый для печати карт, позволяет использовать простейшие выводные устройства для вывода сложных изображений.

Резкий рост числа пользователей ГИС *ArcInfo* произошел за счет связи ГИС и Интернет. ESRI выпустила пакет *Internet MapServer*. *MapServer* — это дешевое и простое решение представления карт на WWW, т.е. практически пользователи могут не иметь ни *ArcInfo*, ни *ArcViewer*, а просто, находясь на рабочем месте и имея выход в *Internet*, могут обращаться на *MapServer* и получить нужную карту.

И последний бесплатный модуль *ArcExplorer*, который бесплатно может получить каждый заинтересованный и начать работать с ГИС. Это самостоятельный бесплатный *viewer*, но у него есть одно большое преимущество. Он может выступать в виде Интернет- клиента. Данный модуль позволяет работать с картами и, что самое главное, позволяет получить и выгружать из Интернет **векторные** карты. До сих пор, при работе в Интернет, на экране нахо-

дится обычная «джипеговская» растровая картинка. На сегодняшний день *ArcExplorer* соединен пока только с сервером ESRI, где достаточно много хороших карт (по России в том числе). В ближайшем будущем он будет настраиваться на любой сервер.

IDRISI Kilimanjaro. Такое название было дано 14-й версии *IDRISI* компанией-производителем *Clark Labs* (Кларковским Университетом), США. Система предназначена для обработки данных дистанционного зондирования. В состав ГИС *IDRISI* входит более 150 независимых модулей, позволяющих решать различные задачи анализа пространственных данных. ГИС *IDRISI* ориентирована на работу с растровыми данными, но в то же время имеет возможности по работе с векторными данными. Главным достоинством ГИС *IDRISI* являются достаточно простые в освоении аналитические модули, управление которыми осуществляется из стандартной для Windows-приложений системы меню.

Входной информацией ГИС *IDRISI* являются изображения, полученные на борту различных спутников и представленные в цифровом виде на компакт-дисках или на других носителях информации. Кроме спутниковых данных можно использовать сканированные географические карты (цифровые и бумажные) различных масштабов.

IDRISI Kilimanjaro обеспечивает создание интерактивной трехмерной симуляции полета над территорией. Версия *Kilimanjaro* также включает несколько важных модулей (например, анализ и прогнозирование эрозии почв).

MapInfo Professional. Фирма-Разработчик *MapInfo Corporation, Troy, NY, США*. Дата внедрения первой версии в эксплуатацию - 1986 год. Платформа, на которой функционирует пакет: *Windows 3.x, Windows NT, Windows NT for Alpha*. Имеются фирмы-поставщики Гис *MapInfo* в России.

Достоинства системы MapInfo: Пакет *MapInfo* специально спроектирован для обработки и анализа информации, имеющей адресную или пространственную привязку. Наличие большого числа утилит (более 600), а также наличия программных продуктов существенно расширяет область применения *MapInfo*.

MapInfo - типичный представитель настольных векторных нетопологических ГИС. Разработчики основной акцент сделали на универсальность системы, которая проявляется в независимости от аппаратной платформы и в доступных пользователю средствах расширения. *MapInfo v.4* - полностью русифицирована.

Для создания собственных приложений в *MapInfo* разработан язык *MapBasic*. Существуют утилиты импорта/экспорта данных в другие популярные ГИС с использованием форматов DBF, ASCII, DXF, а также с помощью файлов формата текстового обмена MIF.

База данных *MapInfo* не реляционная и не иерархическая, ее называют пространственной, так как все сведения, содержащиеся в ней, имеют единую географическую привязку. В *MapInfo* вся информация, включая графическую, хранится в таблицах. Каждая таблица – это группа файлов, задающих вид карты или файл данных.

Появилось сообщение о новой технологии организации работы в *MapInfo*, которая позволяет пользователям мобильной связи делать пространственные запросы, используя свой сотовый телефон. Результаты запросов представляются на телефонных экранах в виде карт.

Ориентировочная стоимость системы — 1870\$.

GeoDraw - GeoГраф - GeoКонструктор. *GeoDraw* - ГИС отечественного производства, разработана Центром геоинформационных исследований Института географии РАН (Москва). Система развивалась и совершенствовалась с 1989 года, готовая к продаже версия *GeoDraw* для DOS появилась в 1992 году. Эта система является самой популярной в России. По словам руководителя проекта Н. Казанцева за основу этой системы была взята система *IDRISI*, были реализованы все ее функции, но устранены ее недостатки. *GeoDraw* для Windows – это векторный топологический редактор для создания цифровых карт. *GeoГраф* для Windows – это ГИС уровня конечного пользователя, средство для композиционного построения уже существующих карт. *GeoКонструктор* для Windows - инструментальное средство для разработки ГИС-приложений по собственным алгоритмам пользователей с использованием языков C++ и Delphi. *GeoDraw* — представляет собой картографический редактор, в общем случае, работающий как подпрограмма, вызываемая из *GeoGraph*, кроме того *GeoDraw* может работать самостоятельно в качестве DOS-приложения. Помимо поддержки ввода карт с помощью дигитайзера и их корректировки, осуществляет экспорт/импорт информации из других ГИС через DXF формат, а также обеспечивает ручную векторизацию карт по растру. Все цифровые данные, созданные в *GeoDraw*, автоматически переносятся в *GeoGraph*.

Пакет *GeoGraph*- ГИС конечного пользователя - разрабатывался сразу для работы в среде Windows на рубеже 1993-94 гг. *GeoGraph* использует в качестве базы данных СУБД Paradox и не имеет возможности работы с удаленными базами данных. Система имеет ряд возможностей, делающих систему удобной: возможна привязка к одному слою нескольких таблиц, подстановка соответствия для одной записи в БД множества элементов разного типа и др.

Среди недостатков данной ГИС *GeoDraw* специалисты отмечают отсутствие единой концепции пакета, его недостаточную техническую поддержку, отсутствие развитых модулей пространственного анализа данных. Стоимость для каждого пакета (*GeoDraw* и *GeoGraph*) по 470\$.

В настоящее время имеется более 1000 пользователей *GeoDraw/GeoGraph* в России: ГлавНИИЦ и Информационные центры Роскомнедр, муниципальные службы ЦАО Москвы, Калининграда, Вологды, ряд экологических организаций и др., а также за рубежом (в Нидерландах, Германии, Австрии, Франции, Германии, США, Канаде, Австралии).

4.2. Графический редактор *GeoDraw*

4.2.1. Характеристики редактора

Преобразование традиционных карт и планов с бумажных и других носителей в векторную форму путем использования дигитайзеров или сканирования с последующей векторизацией растровых изображений – одна из задач, решаемых ГИС *GeoDraw*.

Векторный топологический редактор *GeoDraw* предназначен для создания баз цифровых карт и планов, соответствующих требованиям современных геоинформационных систем. *GeoDraw* поддерживает построение корректной топологической и многослойной структуры пространственных объектов, идентификацию объектов и связывание их с базами атрибутивных данных, широкий спектр функций трансформации карт для их дальнейшей интеграции в единые базы, работу с 40 картографическими проекциями, экспорт/импорт цифровых карт в форматы, используемые наиболее популярными ГИС.

В основу построения пакета *GeoDraw* включены следующие положения:

- *GeoDraw* должен являться инструментом для создания высококачественных цифровых топологических карт, учитывающих требования ведущих мировых стандартов на разработку ГИС;

- создаваемая и редактируемая в *GeoDraw* структура пространственных данных цифровой карты (включая отношения связности, смежности, соседства, вложенности объектов и др.) должна гарантировать при соблюдении технологии корректную фиксацию и изменение отношений между пространственными объектами, их связи с базой атрибутивных данных; система должна позволять преобразовывать в *GeoDraw* цифровые карты других ГИС (как топологические, например, *ArcInfo*, так и нетопологические - *MapInfo* и др.) без дополнительного редактирования;

- мощные средства трансформации создаваемых цифровых карт должны поддерживать значительное число типов картографических проекций, широкий набор преобразований плоскости и др. и позволять решать задачи их интеграции (осуществлять “склейку” листов, “посадку” одних карт на другие с образованием многослойной структуры и др.);

- *GeoDraw* должен являться легким в освоении программным продуктом и работать с картами и планами разнообразной тематики и масштабов - от 1:500 до 1:50 000 000;

- пакет *GeoDraw* должен быть значительно дешевле своих зарубежных аналогов.

Разработанный пакет *GeoDraw* для Windows позволяет:

- осуществлять перевод карт и планов в цифровую форму посредством векторизации по растровой подложке, при помощи дигитайзера, вводом значений координат объектов по имеющимся данным или по результатам измерений на местности;

- редактировать пространственные объекты типа точка, дуга, полигон при помощи дигитайзера, "мыши", клавиатуры, путем ввода координат или импорта из открытых текстовых форматов;

- использовать широкий спектр функций отображения и преобразования пространственных объектов на экране: изменение масштаба отображения (увеличение, сдвиг изображения в процессе цифрования текущей дуги, отображение только определенных типов узлов и слоев и т.д.);

- подгружать одновременно до 100 слоев, оперативно менять их статус и атрибуты отображения;

- осуществлять топологическое согласование объектов и создавать корректную многослойную структуру при помощи широкого набора операций над топологической структурой - создание линейно-узловой структуры, цифрование общих границ полигонов один раз и сборка полигонов из дуг, захват произвольных частей объектов из одного слоя с переносом в другой и др.;

- выделять группы объектов в карте или в связанной с ней таблице, удалять, копировать, генерализовать, идентифицировать только выделенные группы;

- осуществлять преобразования цифровых карт из различных картографических проекций в географические координаты и обратно (поддерживается свыше 40 типов проекций);

- осуществлять аффинные, проективные и полиномиальные (2 и 5 степени) преобразования, поворот оси;

- использовать набор функций по идентификации пространственных объектов цифровых карт для связи с базами атрибутивных данных, включая присвоение объектам пользовательских идентификаторов, нахождение объектов, не имеющих таких идентификаторов, или объектов с определенными

идентификаторами, генерировать отчет об имеющихся пользовательских идентификаторах и др.;

- проводить анализ данных и на его основе осуществлять тематическое картографирование, пространственные измерения, реализацию различных запросов к объектам и связанным с ними таблицам, получение графиков;

- подгружать в среду редактора таблицы атрибутивных данных, осуществлять проверку идентификации объектов по табличным данным, при необходимости вводить и редактировать записи таблицы для конкретных объектов карты, показывать текущий объект таблицы на карте или объект, выделенный на карте - в таблице, осуществлять проверку соответствия карты с таблицей;

- экспортировать и импортировать данные в широко используемые форматы (*GEN PC ArcInfo*, *MIF/MID MapInfo*, *VEC IDRISI*, *DXF AutoCAD*).

- подключать любые дигитайзеры для ввода пространственной информации: новые дигитайзеры могут быть добавлены путем составления простого текстового файла описания дигитайзера.

Создаваемые при помощи *GeoDraw* цифровые карты могут изначально делиться на слои, определяемые требованиями к формируемой ГИС. В пределах слоев обеспечивается необходимое топологическое согласование объектов - смежности, связности, вложенности и др., сборка из них более сложных объектов, фиксация топологических отношений между пространственными объектами.

Положительной стороной *GeoDraw* является встроенный механизм преобразований систем координат, включающий как преобразования около 40 типов картографических проекций, так и преобразования по опорным точкам - сдвиг-поворот, аффинные, проективные, полиномиальные, локально-аффинные и другие. Имеется возможность высококачественного решения задач интеграции пространственных данных, создаваемых и обновляемых в различных отраслях и на различных масштабных уровнях (от 1:500 до 1:50 000 000), включая топографические карты, планы, схемы, снимки и другие материалы. Преобразования применимы как к векторным слоям, так и к растровым изображениям.

Система *GeoDraw* обеспечивает большой резерв в плане объемов создаваемых и обновляемых данных. Реально используются несколько сотен тысяч объектов на один слой. Работа с множеством листов карт обеспечивается механизмом драйвера многостраничного слоя, при котором один и тот же слой на разных листах, включая связанные с ним базы атрибутивных данных, может рассматриваться и обрабатываться как один целый логический слой, что дает возможность работы с многолистной структурой карт и планов.

Создаваемые слои векторных цифровых карт могут быть связаны с базами атрибутивных данных практически в любых форматах, используя драйверы ODBC и IDAPI. Опыт такой стыковки и поддержки созданных систем включает работу с форматами DBF dBase и DB Paradox, MS Access, MS Excel, СУБД Oracle, Interbase, и другими форматами. Связь может быть осуществлена как с уже существующими базами, так и с создаваемыми в процессе формирования ГИС.

Пакет *GeoDraw* работает при наличии *электронного ключа защиты*. Перед началом работы этот ключ должен быть вставлен в параллельный порт компьютера, на котором будет осуществляться работа. Возможна установка редактора на файл-сервере и одновременная работа с ним на нескольких компьютерах, связанных в единую сеть с данным файл-сервером.

4.2.3. Форматы данных *GeoDraw*

Как и подавляющее большинство других ведущих ГИС, *GeoDraw* работает с векторными пространственными данными, хранящимися во внутреннем формате системы. При этом поддерживается работа с форматами двух типов - форматом *GeoDraw* для DOS и форматом *GeoDraw* для Windows. Формат *GeoDraw* для DOS позволяет использовать в качестве идентификаторов объектов только целые числа в диапазоне от 0 до 32767. Формат *GeoDraw* для Windows позволяет использовать в качестве идентификаторов объектов целые числа более широкого диапазона - от 0 до 2 147 483 647, обеспечивает более быструю работу за счет более совершенной системы индексации и может читаться версиями *GeoГраф* 1.5 или выше. *GeoDraw* также производит обмен с другими системами через открытые обменные форматы через функции экспорта/импорта (PC ARC/INFO - через формат *GEN*, MapInfo - *MIF/MID*, AutoCAD - *DXF*, IDRISI - *VEC*). Загрузка растровых изображений построена по принципу драйверов форматов, т.е. для добавления нового формата нет нужды осуществлять какие-то переделки в системе, достаточно написать драйвер для формата и добавить его в список. Для растров может формироваться требуемая система координат путем чтения привязки к модели земной поверхности, заложенной как в самом формате, например, для снимков *SPOT* и других, так и полученной путем трансформации растра по опорным точкам. Растры могут иметь большие размеры (несколько гигабайт), что почти не влияет на скорость произвольного масштабирования, сдвига и другие характеристики. Цветность растровых изображений сохраняется в соответствии с ограничениями исходного формата (до миллионов цветов). Растровые изображения могут средствами самого программного продукта быть трансформированы в любые требуемые системы координат, "собранны" в единое поле, выбранные цвета в черно-белых и цветных растрах могут быть представлены как "прозрачные", цветовая палитра может меняться пользователем по зонам и так далее;

В геоинформационных системах при переводе карт в цифровую векторную форму пространственные и описательные характеристики объектов фиксируются по-разному.

А) Для пространственных объектов на карту вводятся сами *объекты, связи и отношения между ними*, а также *пользовательские идентификаторы* пространственных объектов, обеспечивающие связь с их атрибутивными характеристиками.

В) Атрибутивные характеристики объектов фиксируются в виде *таблиц*, каждая запись в которых соотносится с определенным пространственным объектом цифровой карты через *пользовательский идентификатор*, указанный и в записи, и в цифровой карте.

При цифровании карт с помощью дигитайзера объекты представляются в векторном формате, где элементарными единицами являются *точки*, считываемые дигитайзером, а структура связей между этими точками, формирующая на их основе более сложные объекты (отрезки, дуги, полигоны), задается обслуживающими ввод и редактирование программными средствами.

4.2.4. Общие принципы работы в пакете GeoDraw

Идеология работы в среде GeoDraw для Windows базируется на следующих основных принципах и возможностях.

Цифровая карта формируется как совокупность тематических слоев, каждый из которых поддерживает объекты одного типа: точечные, дуги, полигоны. Каждый слой может быть элементом нескольких композиций карт. Создаваемые слои векторных цифровых карт могут быть связаны с базами атрибутивных данных практически в любых форматах, используя драйверы ODBC и IDAPI: поддерживаются форматы DBF dBase и DB Paradox, MS Access, MS Excel, СУБД Oracle, Interbase, и другие. Связь может быть осуществлена как с уже существующими базами, так и с создаваемыми в процессе формирования ГИС. Для связи объектов слоя с таблицами атрибутивных данных каждому объекту присваивается пользовательский идентификатор.

Информация о пространственных объектах слоя представлена в *GeoDraw* в таблицах двух видов, несколько различающихся по правилам их создания.

Таблицы атрибутивных данных – это таблицы, в которых хранится информация об объектах и которая используется для решения задач в среде ГИС. В первый столбец такой таблицы занесен пользовательский идентификатор. Таблицы атрибутивных данных можно создать в среде редактора через Администратор данных, можно подсоединить к слою созданную ранее таблицу, а можно создать автоматически “пустую” таблицу с заполненным полем пользовательских идентификаторов и имеющую столько строк, сколько

объектов в данном слое слоя цифровой карты. Вызвать окно с таблицей, привязанной к слою можно через Администратор данных

Информационные таблицы - это таблицы, в которых хранится информация о внутренней (в том числе топологической) структуре и об отношениях пространственных объектов слоя. Например, в ней хранится информация о начальных и конечных узлах дуг, внешних полигонах и т.п. Эти таблицы автоматически генерируются в среде *GeoDraw*., но могут использоваться при решении аналитических задач, для которых нужно знание связей между объектами. Информационную таблицу также можно привязать к слою в качестве стандартной таблицы атрибутивных данных.

К каждому слою можно привязать набор из нескольких таблиц. Связанные со слоем таблицы помещаются в список базы данных слоя, из которого необходимая в данный момент для работы таблица может быть выбрана. Связь слоя с таблицами хранится только для данной композиции карты. В каждой композиции с одним и тем же слоем можно связать разные или одни и те же таблицы.

Топологические связи между пространственными объектами внутри слоя могут быть представлены в виде таблиц, которые в свою очередь могут использоваться при написании приложений, использующих такие связи.

GeoDraw позволяет создавать, подгружать и связывать с объектами цифровых карт таблицы атрибутивных данных в формате *Paradox .DB* (версии 3.5 и 4.0 для Windows). Максимальная суммарная длина записи - 1350 символов (не включая поля типа MEMO). Можно также импортировать таблицы из формата .DBF .

При работе в *GeoDraw* можно открыть несколько окон, в каждом из которых можно создать множество новых слоев или загрузить уже существующие слои. В качестве слоев могут выступать векторные слои (слои точек, дуг или полигонов) или растровые изображения. Для каждого окна формируется своя легенда, т.е. перечень слоев со своими атрибутами отображения объектов (цвет контура, заливки, тип линий, значок отображения точечных объектов), с которыми идет работа в слое. Допустима загрузка одного и того же слоя одновременно в разные окна (в том числе с разными атрибутами отображения этого слоя в каждом окне), а также открытие нескольких окон, содержащих одну и ту же легенду.

GeoDraw позволяет выполнять векторизацию (создание) объектов в пределах любого из выбранных векторных слоев, задавать атрибуты отображения объектов слоя. При этом обеспечивается полный набор операций по созданию корректной топологической структуры объектов.

Для целей интеграции карт из разных источников доступен широкий спектр преобразований слоев (преобразований картографических проекций и преобразований плоскости).

Обмен данными с другими системами осуществляется через функции экспорта/импорта в обменные форматы других систем.

Итоговой продукцией *GeoDraw* являются согласованные векторные слои, связанные с базой атрибутивных данных через пользовательские идентификаторы, представленные в нужной системе координат и форматах (форматах *GeoDraw*) для дальнейшей работы в программах *GeoГраф*, *GeoКонструктор*, или обменных форматах, позволяющих их использовать в системах *ARC/INFO*, *MapInfo*, *AutoCAD*, *ERDAS* и др. При этом для растров большого размера *GeoDraw* производит их преобразование в структуры типа квадродерева, благодаря чему обеспечивается быстрая работа с растром.

Основные файлы покрытия *GeoDraw* для DOS:

.SEG – служебная информация.

.ARC - информация о дугах.

.XY - координаты дуг.

.PNT - информация о точках.

.NOD - список узлов.

.NX - индексы узлов.

.POL - список полигонов и информация о порядке сборки полигонов из дуг.

.PTR - ссылки на дуги для сборки полигонов.

.CRS - список ошибок пересечения. Присутствует в покрытии, если в карте существуют ошибки пересечения. Данный файл возникает только после операции поиска пересечений.

.NTX, .DTX - информация о текстах, помещенных в окно с композицией карты.

.DB - таблица с атрибутивной информацией в формате Paradox 3.5.

.TBK - таблица с удаленными при балансе записями

.PRJ - файл описания проекции.

.TCK - файл с координатами ТИКов.

Замечание: файлы с расширением .SEG, .NOD при операции уплотнения создаются заново. Файлы с расширением .POL, .PTR образуются или изменяются при операции сборки полигонов.

Временные файлы, создаваемые на диске и удаляемые при завершении работы:

SWP - растровая подложка, сохраняемая при вызове диалогов под выводимыми окнами диалогов.

.LST - список узлов в полигонах.

.PXY - координаты собранных полигонов.

ABRACADA.BRA - временный файл для перезаписи координат при уплотнении.

Основные файлы покрытия для формата *GeoDraw* для Windows :

.SEG - служебная информация (тип слоя, тип формата)

.SHD - координаты объектов

.SHH - заголовки с информацией об объектах

.IDX - индексы.

Общий файл карты: .GDW - файл композиции карты

4.3. Элементы интерфейса GeoDraw для Windows

После запуска GeoDraw на экране появляется рабочий стол пакета GeoDraw, сохраняющий дизайн Windows:

Основные элементы интерфейса пакета GeoDraw:

- **главное меню**, расположено в верхней части окна GeoDraw и имеет ниспадающее меню;

- **последовательность «быстрых» иконок**, расположена под главным меню и используется для быстрого запуска наиболее часто употребляемых операций, имеющихся в главном;

- **окно цифрования** - окно, в котором графически изображаются слои, загруженные в данную композицию карты, т.е. слои, к которым применимы все основные операции: увеличения/уменьшения масштаба отображения, все операции цифрования и редактирования и др.;

- **окно управления слоями (легенда)** отображает состав загруженных в композицию карты слоев, атрибуты их отображения, и др.;

- **окно инструментов** содержит иконки, выбор которых будет означать выбор определенных типов функций: выбор объектов, цифрование дуг или точек, присвоение пользовательских идентификаторов и другие функции.;

- **окно с таблицей атрибутивных данных**; (может отсутствовать)

- **окно с таблицей информации об объектах слоя** (может отсутствовать);

- **вспомогательная информация** в нижней строке окна GeoDraw (подсказки по функциям иконок или позиций меню, текущие координаты курсора и др.);

- **диалоговые окна** (окно создания таблицы, окно для преобразования слоев по опорным точкам и др.).

ГИС конечного пользователя GeoGraph (GeoГраф ГИС)

4.4.1. Основные возможности GeoГраф

GeoGraph - ГИС конечного пользователя, позволяющая наглядно представлять графическую и связанную с ней атрибутивную информацию и проводить ее всесторонний анализ.

Рабочей средой при работе в *GeoГраф* является **проект**. Проект включает в себя все компоненты, из которых строится электронная карта. Эти компоненты могут быть внешними (векторные и растровые слои, таблицы) и внутренними (запросы, макросы, макеты печати, графики). Физически проект представляет собой файл **«имя карты.тр»**, содержащий описание всех компонентов проекта и взаимосвязей между ними. Для каждого слоя *GeoГраф* можно определить следующие элементы: запросы к атрибутивным таблицам; темы- варианты тематического картографирования; формы, создаваемые для вывода справочной информации об объектах; диаграммы – представления результатов в виде различных графиков; макросы – внешние исполняемые программы или внутренние функции GeoГраф которые могут быть заданы пользователем для карты в целом, для слоя или для отдельных объектов.

Система *GeoГраф* позволяет:

- создавать электронные карты и атласы как композиции слоев цифровых карт, связанных с ними таблиц атрибутивных данных любых форматов (Paradox, DBase, Access, Oracle, InterBase и т.д.) и растровых изображений;
- осуществлять топологическое согласование объектов и создавать корректную многослойную структуру при помощи широкого набора операций над топологической структурой: создание линейно-узловой структуры, цифрование общих границ полигонов один раз, сборка полигонов из дуг;
- строить электронные тематические карты по любым слоям и табличным данным путем классификации данных и отображения объектов любого класса с помощью графических переменных (цвета и интенсивность заливок и штриховок, толщины и формы линий, размер, форма и ориентация знаков), выбранных или созданных пользователем;
- создавать косметические слои пространственных объектов непосредственно в системе конечного пользователя в виде, пригодном для передачи по сети, радиоканалу и пр.;
- строить разнообразные запросы, выборки, привязывать к слоям или объектам разнообразные макросы, включая загрузку пользовательских программ, новых композиций карт, цифровой аудио и видео-информации, связанной с объектами карт, редактировать таблицы, проводить в них вычисления и др.;
- создавать разнообразные формы для наглядного представления атрибутивных данных на экране и при выводе на печать;
- создавать графики и диаграммы любых типов (столбчатые, "пирог", линейные и т.д.) по тематикам слоев или по полям подсоединенных таблиц;
- создавать макросы и ассоциировать их со слоями или отдельными объектами слоев;

- проводить измерения по карте, в том числе и с записью результатов в базу;
- осуществлять логический оверлей слоев, т.е. находить области, удовлетворяющие заданным условиям, с созданием таблиц-отчетов по результатам оверлея;
- строить буферные зоны вокруг полигональных, точечных и линейных объектов;
- поддерживать практически все географические проекции;

ГеоГраф предоставляет возможность вывода композиции цифровой карты на различные устройства в виде твердой копии. Причем вывод возможен как на устройства растрового типа (растровые струйные, лазерные, термо- и другие принтеры и плоттеры), так и на устройства векторного типа (перьевые векторные плоттеры).

4.4.2. Форматы данных ГеоГраф ГИС

ГеоГраф ГИС работает со следующими форматами векторных данных:

- векторный формат топологического слоя;
- формат косметического слоя;
- формат ArcView;
- формат географических сеток.

Топологический слой – слой формата GeoDraw, в котором хранятся взаимосвязи между объектами.

Косметический слой является нетопологическим, он формируется непосредственно в среде *ГеоГраф* и используется для нанесения поверх векторного или растрового слоя оперативной информации.

ГеоГраф позволяет открывать слои в формате *ArcView*, созданные в среде *ArcInfo*, но эти объекты доступны только для чтения.

Географические сетки создаются непосредственно в *ГеоГраф* и служат для отображения параллелей и меридианов в заданной проекции.

ГеоГраф ГИС поддерживает широкий спектр растровых изображений (BMP, TIFF, PCX, WPG и др., всего 34 формата).

ГеоГраф ГИС позволяет напрямую работать с таблицами атрибутивных данных в среде *Paradox.db* (все версии *Paradox* для Windows), а также *dBase.dbf* (все версии *dBase* для Windows). Данные форматы позволяют работать с полями MEMO и BLOB.

4.4.3. Компоненты проекта ГеоГраф

Основу проекта составляют слои цифровых карт. Для формирования проекта необходимо включить нужный набор слоев. Слои, формирующие проект, можно удалять, переименовывать. Кроме цифровых слоев, необхо-

димыми компонентами проекта являются таблицы атрибутивных данных, связанные со слоями. Принцип связи таблиц и слоев в *ГеоГраф* следующий:

- каждый пространственный объект слоя (точка, полигон, линия) имеют пользовательский идентификатор (ключ), который представляет собой целое число и присваивается в результате идентификации объектов (в среде *GeoDraw*);

- таблицы атрибутивных данных организованы таким образом, что каждая запись в таблице характеризует один пространственный объект в слое, с которым она связана, первое поле каждой таблицы зарезервировано под идентификатор;

- при проведении идентификации нужно присваивать пространственным объектам, изображенным на цифровой карте, те идентификаторы, которые соответствуют идентификаторам соответствующей строки связанной с данным слоем таблицы.

Компонентами проекта *ГеоГраф* являются запросы, макросы, темы, диаграммы, формы, макет печати.

А) Запросы. В ГИС основой построения тематических данных является отношение «пространственный объект – атрибуты объекта». Пространственные данные представляют набор слоев, каждый из которых содержит множество объектов какого-либо типа: точек, линий, полигонов. С каждым слоем может быть связана одна или несколько таблиц с атрибутивной информацией: одна запись – один объект на карте. Пространственный объект может состоять из нескольких элементов, но представлять единое целое, например, река и ее притоки. В этом случае все дуги, составляющие объект, должны иметь один и тот же идентификатор.

Для такой структуры запросы формируются двумя способами:

1. выбрав объект на карте, можно получить связанную с этим объектом атрибутивную информацию;
2. задав условия для выбора атрибутов, выбирать объекты, атрибуты которых соответствуют этим условиям.

В *ГеоГраф* реализованы два типа запросов:

- QBE-запросы;
- SQL-запросы.

QBE-запросы (запросы по образцу). В качестве образца создается окно с таблицей запросов, Таблица содержит одну или несколько строк и столько столбцов, сколько столбцов было в таблице, на основании которой строится запрос. В каждом поле таблицы задается условие выполнения запроса с помощью операторов. Алгоритм поиска следующий: условия в каждом поле одной и той же строки складываются по «И», а условия в разных строках – по «ИЛИ».

Таблица 4.1 – Операторы запроса *ГеоГраф*

Арифметические операторы

+	сложение или объединение алфавитно-цифровых данных
-	вычитание
*	умножение
/	деление
Операторы сравнения	
=	равно
>	больше
<	меньше
>=	больше или равно
<=	меньше или равно
Специальные операторы	
<i>LICE</i>	подобно ...
<i>NOT</i>	отлично от ...
<i>BLANK</i>	пустое значение
<i>TODAY</i>	текущая дата
<i>OR</i>	логическое «И»
<i>!</i>	логическое «НЕТ»
<i>AND</i>	логическое «ИЛИ»
Статистические операторы	
<i>AVERAGE</i>	среднее значение
<i>COUNT</i>	количество значений
<i>MIN</i>	минимальное значение
<i>MAX</i>	максимальное значение
<i>SUM</i>	сумма значений
<i>ALL</i>	статистические вычисления производятся над всеми записями
<i>UNIQUE</i>	статистические вычисления производятся над неповторяющимися записями

При создании *QBE*-запроса необходимо выбрать только одну из подсоединенных к текущему слою таблицу. Окно с таблицей запроса имеет тот же вид, что и таблица, к которой запрос относится, в ней присутствуют те же поля, что и в соответствующей таблице. Данными таблицы-запроса являются условия, которые накладываются на значения полей таблицы.

Запросы позволяют производить поиск данных в таблице атрибутивных данных по некоторому условию. Если нужно выбрать в таблице данных записи (и соответствующие этим записям объекты) с определенным значением какого-либо поля, то это значение вводится в соответствующее поле. Аналогично строятся запросы с операторами «больше», «меньше» или «больше или равно», «меньше или равно».

Статистические операторы позволяют проводить вычисления над значениями заданного поля таблицы.

SQL-запросы. Запросы второго типа формируются с помощью языка запросов, на котором выражаются условия поиска. Язык *SQL* (*Structured Query Language* - структурированный язык запросов) используется для анализа реляционных баз данных. При создании *SQL*-запроса нужно выбрать таблицу атрибутивных данных, для которой он будет создаваться, и СУБД

(MS ACCESS, Oracle, Sybase, Paradox), механизм которой будет использован для создания запроса. Основные конструкции языка SQL: *SELECT, FROM, WHERE, ORDER BY, HAVING*; операции агрегации *SUM, AVG, MIN, MAX, COUNT* и операторы *+, -, *, /, =, <, >, IS NULL*, а также *INSERT, UPDATE* и *DELETE*.

Любые созданные запросы можно сохранить как элемент проекта и вызывать по необходимости.

В) Формы. Форма позволяет выводить информационную справку о пространственном объекте в виде наглядного отчета как на экран, так и в макет печати текущего слоя. Для одного слоя может быть создано несколько форм. Форма может включать в себя: данные из атрибутивных таблиц, растровые изображения, фигуры, «украшающие» информационную справку (фигура – это прямоугольная область, на которой отображается информационная справка, выделенная различными способами: выпуклая, вдавленная, оконтуренная и др.), и кнопки, позволяющие включать макросы. Для формирования форм используется Конструктор форм. Созданным формам можно присвоить имена и вызывать нужную форму при необходимости.

С) Темы.

Каждая Тема в ГеоГраф является результатом тематического картографирования по конкретному слою. Тематическое картографирование позволяет наглядно представлять атрибутивные характеристики пространственных данных. При этом значения заданного поля разбиваются на классы и каждому классу присваивается графическая переменная. Для точечных объектов – знак определенного размера, цвета и формы (имеется коллекция точечных знаков), для линий задается стиль изображения и цвет, для полигонов – стиль, цвета заливки и окантовки. Способ классификации – разбиение всего диапазона значений на классы, задается пользователем ГИС. Возможно формирование классов, в каждый из которых входит одинаковое количество объектов, либо разбиение на равные интервалы, либо формирование классов с уникальными значениями. После классификации все объекты одного класса будут отображаться соответствующей графической переменной. Для облегчения проведения процедуры тематического картографирования в *ГеоГраф* имеется Конструктор тем.

Д) Макросы. Макросами в *ГеоГраф* являются команды (исполняемые внешние программы или внутренние команды *ГеоГраф*) и аргументы команд, которые могут быть привязаны к слою в целом (ко всем его объектам) либо к отдельным объектам, указанным в таблице (в виде данных, записанных в полях таблицы). В качестве макроса могут выступать внешние команды, макросы могут формироваться из таблицы данных или выбираться из списка макросов, встроенных в *ГеоГраф*.

В качестве внешнего макроса может быть использован запускающий файл нужной программы. Аргумент программы может быть постоянен для всех объектов слоя, либо может быть различным для каждого объекта.

Имена файлов исполняемых программ могут быть записаны в текстовое поле таблицы. В этом случае при запуске макроса для конкретного объекта будет запущена прописанная для него в таблице программа

Внутренние макросы - это внутренние команды *ГеоГраф*:

Загрузить карту (*Load Map* <file.mpr>) - загрузить в *ГеоГраф* файл композиции карты с расширением .mpr, заданный в качестве аргумента, с диска.

Показать объект в масштабе (*Zoom Object* <scale>) - показать объект на экране в масштабе, коэффициент которого указан в качестве аргумента.

Показать форму (*Show Form* <name>) - показать информационную справку об объекте в виде формы, имя которой указано в качестве аргумента.

Проиграть звуковое сообщение (*Play Sound* <file.wav>) - проиграть звуковое сообщение, записанное в виде файла с расширением .wav, который указан в качестве аргумента.

Проиграть файл, запись на CD и др. (*Play MCI* <mci string>) - проиграть, например, видео, записанное в виде файла (с расширением .AVI), который указан в качестве аргумента; проиграть файл с аудиозаписью и др.

Проиграть запрос (*Apply Query* <name>) - проиграть запрос, имя которого указано в качестве аргумента.

Е) Логический оверлей слоев. Оверлей слоев карт является специфической операцией ГИС. Принцип оверлея заключается в определении области пересечения или объединения двух слоев с образованием нового слоя (Рис. 4.2). Атрибутивные данные нового объекта могут быть сформированы путем переприсваивания данных одного из исходных объектов, либо путем обобщения информации об исходных объектах.

Оверлейные операции могут применяться также для изменения уже существующих объектов, если необходимо отредактировать один объект, используя при этом другой объект в качестве шаблона.

Процедура оверлейных операций следующая: выбирается определенные пространственные объекты в одном слое, который называется пассивным, затем в другом слое (активном), производит выбор, например, объектов активного слоя, в пределы которых попадают выбранные объекты пассивного слоя. Например, с помощью селекции можно найти все административные районы (активный слой), по территории которых проходят нефтепроводы из слоя нефтепроводов (пассивный слой). Каждую из таких селекций можно запомнить и затем проиграть повторно.

Г) Диаграмма. Диаграмма представляет собой графическое представление атрибутивных данных, наглядно показывающее соотношение между заданными величинами. Диаграмма может быть построена по данным, взятым из таблицы атрибутивных данных, по данным, полученным после выполнения запроса или построения темы. Построенную диаграмму можно редактировать, добавлять заголовки, легенду, стенки (при трехмерном изображении), рисунок фона. Построенные диаграммы могут помещаться в списке и при необходимости вызываться вновь на экран или помещаться в макет печати для воспроизведения твердой копии.

GeoКонструктор (GeoConstructor)

GeoConstructor - инструментальное средство для создания ГИС приложений в средах визуальной разработки приложений - Microsoft Visual Basic, Visual C++, Borland C++, Borland Delphi, Borland dBase 5.0 for Windows и др. Основными достоинствами пакета *GeoConstructor* являются:

- большая свобода в выборе среды разработки: не требуется изучать новый язык программирования, т.к. протокол VBX поддерживают большинство современных средств визуальной разработки приложений (Microsoft Visual Basic, Visual C++, Borland C++ (OWL 2.x), Borland Delphi, Borland dBase 5.0 for Windows и др);

- возможность создания ГИС-приложений, работающих с широким спектром форматов данных; *GeoConstructor* будет поддерживать работу с любыми цифровыми картами в формате ГИС GeoDraw/ГеоГраф, а с учетом имеющейся в этой ГИС возможностей импорта и с картами из исходных форматов ARC/INFO, MapInfo, DXF, FIM, DX-90 и др.;

- используя поставляемые с пакетами Microsoft Visual Basic, Visual C++ или с Delphi, dBase драйверы для доступа к базам данных ODBC или IDAPI, можно создать ГИС-приложения, работающие с форматами dBase, Paradox, Access, Oracle, Sybase, Informix, InterBase и др.;

- имеются средства программного управления формированием композиции карты (добавление, удаление, переименование слоев и др.) в создаваемом ГИС-приложении.

5. Примеры использования ГИС

5.1. ГИС в работе избирательной компании. Впервые геоинформационные системы в работе избирательной компании были использованы в Литве в 1997 году. По результатам выборов президента Литвы выявилось незначительное, в цифровом выражении, преимущество В. Адамкуса над А. Паулаускасом, составившее менее одного процента голосов. Столь напряженная борьба претендентов привлекла пристальное внимание граждан, как в Литве, так и за рубежом.

Перед выборами Центральная Избирательная комиссия попросила компьютерный отдел литовского парламента обеспечить показ хода и результаты выборов через Web. Эта работа была предложена дистрибьютору ESRI в Литве, которая создала модуль *Loader* на основе *ArcView*. Основное требование – динамическое обновление карт по мере поступления информации с избирательных участков каждого округа. Вся информация интегрировалась в базу данных *Oracle*. Модуль анализировал поступившую информацию и создавал графики в нужных форматах для показа на Web-странице. Выставляемые карты пользовались большой популярностью среди электората, претендентов и правительства. Они также использовались при освещении выборов по телевидению и другими средствами массовой информации. После выборов в ЦИК пришло много благодарственных отзывов из разных стран мира об организации картографического сопровождения хода и результатов выборов. Особенно большое впечатление произвела наглядность отображения, точность показа, оперативность и динамичность освещения хода борьбы претендентов.

5.2. ГИС в бизнесе. ГИС может помочь предпринимателям, используя бизнес-информацию любого типа как инструментальное средство для организации и управления бизнесом. Приложения этой технологии в сфере бизнеса разнообразны. Основные решаемые с ее помощью задачи можно сгруппировать по ответам на базовые вопросы: "Где?", "Кто (или Что)?" и "Как?". Можно проследить, где проживают клиенты, кто они такие, каковы их потребности и финансовые возможности; узнать, как точнее направить маркетинговую активность и как получить от нее наибольшую отдачу, как оптимизировать области продаж и смоделировать последствия принимаемых решений; подобрать дом для покупки и определить кратчайший маршрут проезда к нужному месту.

Впрочем, эти вопросы общие, они присутствуют и в других областях применения ГИС, а не только в сфере бизнеса, поскольку большая часть информации, с которой встречаются, в явном или в неявном виде привязана к определенному месту или конкретной территории. На подобные вопросы ГИС отвечает с большей эффективностью и определенностью, чем любые другие информационные технологии, интегрируя широкий набор данных,

хранящихся в электронных таблицах и других видах документов, в одном удобном и легком для понимания формате - карте. С помощью ГИС можно получить наиболее наглядное представление об этих данных. Можно выделить наиболее интересные на данный момент данные, меняя значки соответствующих символов, их цвет и их значения в таблицах баз данных. Можно создать и поместить на карту или рядом с ней поясняющие диаграммы, графики, таблицы, чертежи и снимки. Можно совместно отобразить разные типы данных в одном географическом пространстве, либо выделить из базы данных и отобразить на карте данные, связанные с конкретной тематической задачей. И, наконец, отобразив нужные данные на карте или нескольких картах, провести их полноценный анализ. ГИС позволяет создавать и изменять карты "на лету", моментально переходить от объекта или слоя карты к соответствующей строке или таблице базы данных и из записи в базе данных к связанному с ней объекту на карте. Знание клиентов и конкурентов, их нужд и возможностей критически важно для успеха в бизнесе.

Имеются и готовые специализированные ГИС пакеты, обеспечивающие решение типовых бизнес-задач. Функции пространственного анализа позволяют, например, с помощью ГИС решить, где следует открыть новый магазин, аптеку или отделение банка, основываясь на новых демографических данных и планах развития города. Можно сразу получить нужную информацию об объекте, щелкнув на нем на электронной карте, либо создать и отобразить карту на основе информации, выбранной в базе данных. Причем связь карты с данными динамическая. Созданные карты не привязаны к отдельному моменту времени. В любой момент можно обновить информацию, привязанную к карте, и внесенные изменения автоматически отразятся на карте. И для этого не нужно специальной подготовки.

5.3. ГИС для демографического анализа. Демографический анализ является основой для принятия решений во многих задачах: предоставление услуг клиентам, подбор мест для строительства, следование местным постановлениям, маркетинговые исследования и рекламные компании. Понимание пространственной демографии населения важно для составления списков прямой рассылки рекламы по почте, составления подходящих рекламных брошюр, проведения рекламных компаний в средствах массовой информации.

5.4. ГИС для связи с клиентами и партнерами. В среднем затраты на привлечение нового клиента в пять раз превышают затраты на сохранение существующих клиентов. Отделы по работе с клиентами рассматривают все аспекты бизнеса, от определения наилучшего продукта для конкретного клиента до рассылки товаров и предоставления дополнительных услуг клиентам в их доме или офисе. Одной из обычных задач службы по работе с клиентами является их перенаправление к ближайшему дилеру или сервисному центру,

имеющим необходимый товар или предоставляющим нужную услугу. ГИС использует информацию об адресе клиента и данные из корпоративной базы данных для того, чтобы определить, где находится клиент, и выдает карту расположения ближайших дилеров и сервисных центров компании.

5.5. ГИС для доставки товаров и маршрутизации. С помощью ГИС можно внедрить функции географического анализа в процесс обслуживания клиентов: от расчета времени и кратчайшего маршрута проезда к клиенту до составления маршрутного листа и расписания движения при обслуживании нескольких клиентов. Точное планирование доставки ведет к значительной экономии средств (например, компания *Sears*, ведущий поставщик розничных товаров, экономит на этом десятки миллионов долларов в год). Усовершенствованные функции сетевого анализа, внесенные в соответствующие продукты ESRI, позволяют отследить движение машин по маршрутам, выделить варианты доставки с учетом времени суток, транспортных нагрузок, наличного числа автомашин и т.д.

5.6 ГИС в создании и использовании электронных карт. Одно из применений ГИС – это создание и работа с электронными картами и атласами. Основой электронных карт являются изображения, которые получаются при съемке местности специальной аппаратурой, размещенной в настоящее время, как правило, на борту воздушного транспортного средства.

Электронную карту можно рассматривать как электронную модель реальной местности.

Основные преимущества электронных карт перед традиционными состоят в следующем:

- улучшается возможность анализа, обработки и отображения геоинформационных данных;
- достигается визуализация цифровых моделей явлений, не видимых для человеческого глаза;
- появляется возможность исследования процессов и явлений с учетом динамики их развития;
- становятся доступными экспертные решения в графическом виде в режимах реального и разделенного времени;
- возможно комплексное изображение совместно обрабатываемых априорных и оперативных данных;
- достигается построение изображения на основе послойного представления информации;
- появляются возможности создания оригинального дизайна пользователя, при этом пользователь может добавлять или убирать информацию с экрана, использовать дисплейные эффекты, менять проекцию или масштаб и др.;

- в отличие от обычных карт, которые нельзя мобильно изменять (как правило, их нужно переделывать), электронные карты могут варьироваться неограниченно;

- можно формировать элементы карты по запросу пользователя;

- многослойная организация электронных карт позволяет объединять и обрабатывать не только большее количество информации, чем в традиционной карте, но и существенно упростить процедуры обработки;

- анализ выводимых на экран результатов промежуточных этапов обработки позволяет корректировать весь план работы и добиваться результата, не имея начального четкого плана исследований;

- электронные карты дают возможность «перемещения над поверхностью», т.е. создавать визуальный эффект полета в трехмерном пространстве и др.

В настоящее время электронные карты нашли широкое применение в морской навигации. Например, в Японии электронными навигационными картами снабжены 150 торговых и 4 тысячи рыболовецких судов. На этих картах, соединенных с приборами навигации, отмечается местоположение судна, курс, по которому должно следовать судно, ближайшие к этому судну другие суда, порты и др. информация.

В автотранспорте применяются электронные карты, в частности, при обнаружении движущихся средств, распределении рейсового транспорта по маршрутам; загруженности линий и др. Эта информация часто поддерживается системой спутниковой связи.

В США создана электронная карта мира на основе тактических навигационных карт Министерства обороны США. Масштаб карты: 1:1 000 000. Эта карта, объемом 1.7 Гб, разбита на 2094 листа по 5×5 град. Число тематических слоев на 1 лист – от 3 до 27. Например, для России (в среднем) для каждой карты имеется 17 тематических слоев. В электронной карте поддерживаются слои административного деления России, гидрологии, плотности населения, наличия природных ресурсов (лес, нефть, газ, минералы), транспортные магистрали, почвы, типы лесов и др.

5.7. ГИС для задач городского хозяйства. Такого типа ГИС относятся к низшему (муниципальному) уровню систем¹⁰. ГИС низшего уровня являются самыми популярными из ГИС.

Обычно кадастр города делится на основной и текущий. Основной кадастр направлен на сбор и накопление данных о землепользовании, наземной и подземной недвижимости, сведения об экологических, топографических и геологических условиях территории и др. Текущий кадастр направлен на вы-

¹⁰ В России принято 5 уровней ГИС: глобальный – уровень мира; всероссийский – уровень государства с прилегающей акваторией; региональный – субъекты федерации; локальный – ареал кризисных ситуаций; муниципальный – города, пригородные зоны, районы

полнение функций своевременного выявления изменений, произошедших в распределении земель, недвижимости и о качественном состоянии объектов.

При построении городской (муниципальной) ГИС выделяют семь основных этапов:

1. *Определение целей городской администрации* (в качестве целей могут быть учет и контроль недвижимости, жилого фонда, оптимизация транспортных сетей, экологический мониторинг, снижение преступности в городе или определенном районе, анализ обеспеченности рабочими местами и др. Из анализа целей определяются требуемые выходные формы, источники входных данных и др.).

2. *Определение функций органов местной власти*, которые могут быть решены с помощью ГИС (рассматриваются возможные действия местной власти, которые необходимы для выполнения поставленных задач и уже на основании анализа их формируется техническое задание на разработку ГИС);

3. *Построение информационной модели ГИС управления разделом городского хозяйства*.

4. *Выбор технологического решения* (проводится анализ максимальной эффективности при минимизации экономических и временных затрат, составляются приоритеты целей, результат этапа является основой для выбора конкретной ГИС из множества возможных);

5. *Получение организационной поддержки* (получение поддержки заказчика);

6. *Создание пилот-проекта* (разработки и создание усеченного варианта ГИС, реализующего ограниченный круг функций, требующего минимальных временных затрат при ограниченной финансовой поддержке (как правило, от 2 до 10% от полной стоимости) ;

7. *Окончательная разработка и реализация ГИС* (анализируется работа пилот-проекта, корректируется техническое задание и реализуется полная ГИС).

5.8. ГИС в государственном земельном кадастре России. *Кадастр* – это карты и другие описания земельных участков, с идентификацией всех субъектов, имеющих право на земельную собственность. В настоящее время Комитетом РФ по земельным ресурсам и землеустройству (Роскомзем) сформирована единая система государственного земельного кадастра и мониторинга земель (АСКК).

АСКК включает все три уровня: накопления, моделирования и хранения информации и представления данных.

В состав ГИС АСКК входят следующие подсистемы:

- фотограмметрического (бесконтактного) сбора данных;
- сбора полевых данных;
- преобразования объемных изображений в плановые, при которых сохраняются все подробности объектов;

- цифрования карт;
- обработки картографической информации;
- издания карт.

Входными данными ГИС являются:

- аэрофотоснимки (черно-белые и цветные) масштабов 1:8 000 и 1:40 000;
- результаты тахеометрических съемок на местности – контуры объектов;
- картографические материалы (бумажные карты, атласы);
- каталоги координат и высотных отметок опорных точек

Выходными данными (основными) являются:

- карты масштаба 1:2 000 с площадью охвата 1 кв. км;
- карты масштаба 1:40 000 с площадью охвата 20 кв. км.

Основные картографические слои АСКК :

- объекты земельного кадастра;
- территории политико-административного деления;
- земельные участки с указанием их владельцев или арендаторов;
- границы земель различных категорий (заповедники, лесной фонд, рекреационного назначения и др.);
- объекты недвижимости, связанные с земельными участками;
- транспортные сети;
- инженерные сооружения;
- гидротехнические сооружения;
- улицы и проезды в населенных пунктах;
- ограждения;
- объекты гидрографии;
- объекты растительности.

Основные требования к АСКК – повышенная точность координатных данных и возможность формирования специфических запросов к данной ГИС.

5.9. ГИС в экологии. В рассмотренных выше ГИС результирующая картографическая продукция формируется на основе уже имеющихся данных. При решении экологических задач с помощью ГИС используют информацию, относящуюся к разным природным средам, интегрируемую в результате в категорию, называемую «качество среды». Результирующие данные таких ГИС могут быть разбиты на три класса:

- *констатирующие* данные – измеренные параметры среды, характеризующие экологическую обстановку в данный момент времени;
- *оценочные* – результаты обработки измерений и получение оценки экологической ситуации;
- *прогнозные* – прогнозирующее развитие качества среды на определенный период времени.

На уровне сбора информации наряду с топографическими данными собирается дополнительно экологическая информация. При этом возрастает объем атрибутивных данных.

На уровне *моделирования* осуществляют специальные методы обработки данных и определяются формы представления экологических карт. Например, строятся поля распространения загрязняющих веществ от труб предприятий, прогнозируется экологическая ситуация для различных экономических сценариев развития производств региона и др.

На уровне *представления* результатов осуществляют выдачу, как правило, не одной, а серии карт, особенно при прогнозировании.

Главная задача ГИС по экологии – получение комплексной информации в некотором регионе на базе интеграции всех видов данных, поступающих от многих организаций. Интеграционной основой является электронная карта территории региона. Кроме отображения экологической информации на карте необходимо также проводить ряд расчетов, например, расчет платежей за использование ресурсов и др.

5.10. Предоставление ГИС-услуг через Интернет. Национальная ассоциация риэлтеров, создала специальный Web сайт (www.realtor.com), через который американцы могут подыскать себе подходящий дом в любом районе страны, сидя дома у своего компьютера. Сайт пользуется огромным успехом, на него ежедневно заходит несколько миллионов посетителей. Число таких сайтов, использующих технологию картографических серверов от ESRI для распространения карт и сопутствующей информации по сети Интернет, постоянно растет. Другими типичными примерами являются сайты, на которых установлены картографические справочные системы (типа интерактивного атласа дорог) по тем или иным регионам и, одновременно, на коммерческой основе предлагаются разнообразные электронные карты вместе с лежащими в их основе наборами данных. Некоторые ГИС-приложения позволяют увидеть панораму города, штата или страны.

Российский прототип подобной системы создан на основе *MapObjects IMS* в Обнинске.

5.11. ГИС в игорном бизнесе. Существуют коммерческие приложения, где геоинформационная система используется для осмотра ограниченного пространства, например, зала казино. С помощью этого программного продукта управленческий персонал казино получает карты с цветовым кодированием, отражающим движение денег в играх, размеры ставок, взятие "банка" и другие данные из игровых автоматов и позволяющим превратить щелканье кассовых аппаратов казино в практически непрерывный процесс.

Из карты пользователь может щелкнуть мышью аналитические текстовые данные, например, по определенному игровому автомату, проследить данные о количестве часов и дней его использования и просчитать эффектив-

ность специальных рекламных мероприятий. Если в зале казино установлено 5000 игорных автоматов, возможность получить наглядное представление о том, что идет хорошо, а что плохо в деле "одноруких бандитов", является большим плюсом. Данные помогают управленческому персоналу казино принимать решения типа «Где выгоднее разместить игорные автоматы для максимизации прибылей», а также позволяют получать отзывы о том, считают ли игроки конкретную модель игорного автомата привлекательной или нет.

В настоящее время нет такой производственной сферы, где не рационально бы было применение ГИС: транспорт, экология, экономика и бизнес, геология, геодезия, военное дело и др. Применение ГИС позволяет увеличивать производительность труда за счет автоматизации некоторых операций, визуализации результата, сокращения трудозатрат на изготовление конечной продукции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современное государственное и муниципальное управление требует системного подхода и комплексного решения задач, стоящих перед ним. Известно, что 70% информации, используемой для управления в городе, имеет адресно-территориальную привязку, что позволяет эффективно применять ГИС-технологии для анализа и поддержки управленческих решений. Картографический метод интеграции информации в ГИС позволяет без особых усилий получить комплексную информацию об объекте, даже собираемую в различных городских службах, конечно при условии единого информационного пространства.

В связи с этим уровень компьютерной грамотности государственных и муниципальных служащих должен соответствовать требованиям, позволяющим использовать современные информационные технологии, в том числе и ГИС-технологии. Использование ГИС-технологий повсеместно – это актуальная задача сегодняшнего времени.

6. ЛИТЕРАТУРА

1. В.Я. Цветков Геоинформационные системы и технологии: М.: ФиС, 1998.- 368 с.
2. Р.М. Скогарева Геодезия с основами геоинформатики: Уч. Пособие для вузов – М.: Высшая школа, 1999 – 205 с.
3. Ю.К. Королев Общая геоинформатика. Вып.1 М.: СП Дата+, 1998, 71 с.
4. В.Г. Линник Построение геоинформационных систем в физической географии М.: Изд. МГУ, 1990 – 80 с.

5. А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов Геоинформатика М.: Картоцентр-Геоиздат, 1993 – 213 с.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

7.1. Методическое описание и индивидуальные задания на контрольную работу № 1

Номер варианта студент выбирает по следующему правилу:

- взять три последние цифры номера студенческого билета (зачетной книжки);
- полученное число разделить на 25;
- взять остаток от деления – это Ваш номер варианта задания;
- если получился остаток, равный нулю, то Ваш вариант 25.

Номенклатура и разграфка топографических карт

Общее задание.

1. Какие номенклатуры карт масштаба 1:1:000 000 нужно заказать для изучения объекта А?
2. На какой трапедии масштаба 1:000 000 находится объект В?
3. Для объекта В записать номенклатуры карт масштаба С и D.
4. Какие объекты находятся в трапедии Е?

Примечание.

1. Для каждого географического объекта записать географические координаты с точностью до минут
2. Использовать международное написание номенклатур
3. Координаты объектов можно найти по адресу
<http://meteo.infospace.ru/>

Индивидуальные задания.

№ варианта	Объект А	Объект В	Масштабы С, D	Номенклатура Е
1	Черное море	Г. Хабаровск	1:500 000 1:200 000	O-55
2	Оз. Байкал	Г. Томск	1:300 000 1:100 000	N-47
3	Каспийское море	Г. Новосибирск	1:500 000 1:100 000	O-71
4	Томская область	Г. Москва	1:300 000 1:100 000	M-35
5	Франция	Г. Орел	1:500 000 1:100 000	N-49
6	Новосибирские о-ва	Г. Ханты-Мансийск	1:500 000 1:200 000	S-54

7	Индия	Г. Салехард	1:300 000 1:100 000	A-56
8	Река Обь	Г. Минск	1:500 000 1:100 000	D-37
9	Оз. Балхаш	Г. Стрежевой	1:300 000 1:100 000	T-57
10	Швеция	Г. Екатеринбург	1:500 000 1:100 000	G-34
11	О-ва Франца Иосифа	Г. Курск	1:500 000 1:200 000	H-45
12	Куба	Г. Анадырь	1:300 000 1:100 000	K-48
13	Река Амур	Г. Вологда	1:500 000 1:100 000	H-56
14	Кемеровская обл.	Г. Киров	1:500 000 1:200 000	O-46
15	Бельгия	Г. Одесса	1:500 000 1:100 000	J-55
16	Великобритания	Г. Бийск	1:300 000 1:100 000	K-33
17	Река Волга	Г. Норильск	1:300 000 1:100 000	D-43
18	Река Днепр	Г. Прага	1:500 000 1:100 000	S-52
19	Азовское море	Г. Уфа	1:200 000 1:100 000	S-55
20	Норвегия	Г. Архангельск	1:500 000 1:200 000	G-37
21	Курильские о-ва	Г. Астрахань	1:200 000 1:100 000	I-34
22	Япония	Г. Магадан	1:300 000 1:100 000	I-47
23	Река Лена	Г. Кемерово	1:500 000 1:100 000	A-57
24	Московская обл.	Г. Казань	1:500 000 1:200 000	L-41
25	О-в Сахалин	Г. Биробиджан	1:500 000 1:100 000	C-21

7.2. Методическое описание и индивидуальные задания на контрольную работу № 2

Геометрические преобразования

Общее задание.

В системе координат XOY имеем треугольник ABC с координатами вершин (X_A, Y_A) , (X_B, Y_B) и (X_C, Y_C) . Новая система координат получена путем

сдвига начала координат δ_x и δ_y относительно начала первой системы координат, поворота осей на угол α и учета множителей k_x и k_y .

Определить координаты вершин треугольника в новой системе координат.

Индивидуальные задания.

№ варианта	Координаты А (X_A, Y_A)	Координаты В (X_B, Y_B)	Координаты С (X_C, Y_C)	δ_x	δ_y	α	k_x	k_y
1	10;1	23;12	11;11	1	1	π	1	2
2	1;1	1;2	2;2	2	1	$\pi/2$	2	2
3	10;2	10;10	10;5	10	5	$\pi/4$	2	2
4	1;1	2;3	4;4	2	2	π	2	1
5	5;4	6;2	2;2	2	1	$\pi/2$	5	10
6	3;6	7;7	4;1	10	1	$\pi/4$	1	
7	1;5	5;1	5;5	2	4	$\pi/2$	3	
8	2;5	8;5	1;1	0	10	$\pi/3$	2	
9	2;6	8;3	8;8	2	3	$\pi/3$	5	10
10	10;10	10;1	1;10	10	10	$\pi/2$	0.5	.5
11	1;5	5;1	5;5	2	5	$\pi/4$	1	0.5
12	2;5	5;5	6;6	1	1	$\pi/4$	3	7
13	3;2	5;3	5;5	2	3	π	5	5
14	10;5	5;4	6;5	0	10	π	1	1
15	1;6	8;3	7;4	2	7	π	0.7	0.3
16	6;5	8;5	7;5	5	6	0	0.4	0.7
17	2;1	1;1	6;1	4	4	0	1	8
18	4;4	4;5	6;1	5	5	π	2	2
19	10;3	3;3	10;10	3	3	$\pi/2$	1	1
20	2;3	7;3	5;9	2	4	$\pi/4$	2	2
21	11;2	2;5	5;5	2	3	$\pi/2$	1	6
22	3;7	5;7	5;1	1	3	$\pi/4$	5	5
23	5;2	8;3	4;5	2	9	π	5	1
24	3;2	5;5	5;1	1	3	$\pi/4$	5	1
25	3;3	7;3	9;9	2	3	π	5	5