

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ДЕПАРТАМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВПО ДГАУ)

АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКИЙ ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ
ФГБОУ ВПО «ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
В Г. ЗЕРНОГРАДЕ

Кафедра «Землеустройство и кадастры»

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Курс лекций

Учебное пособие

Зерноград – 2015

УДК 528 (075.8)

*Печатается по решению методической комиссии
агротехнологического факультета
«Азово-Черноморского инженерного института»
Федерального государственного образовательного учреждения
Высшего профессионального образования
«Донской государственной аграрный университет» в г. Зернограде*

Рецензент

доктор технических наук, профессор *Алексенко Н.П.*

Ответственный редактор

кандидат технических наук, доцент *Калинин А.А.*

Географические информационные системы. Курс лекций: учебное пособие / А.А. Калинин, А.М. Бондаренко, Б.Н. Строгий, М.Н. Семенцов. – Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВПО ДГАУ, 2015. – 58 с.

Пособие содержит курс лекций «Географические информационные системы. Пособие предназначено для студентов агротехнологического факультета дневной формы обучения, обучающихся по направлению подготовки 120700.62 – Землеустройство и кадастры, профиль 120701.62 – Землеустройство.

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры
«Землеустройство и кадастры».
Протокол № 3 от 25.09.2014 г.

Рассмотрено и одобрено методической комиссией по направлению
подготовки 120700.62 – Землеустройство и кадастры.
Протокол № 2 от 2.10.2014 г.

© Калинин А.А., Бондаренко А.М.,
Строгий Б.Н. и др., 2015

© Азово-Черноморский инженерный
институт ФГБОУ ВПО ДГАУ, 2015

Содержание

Введение.....	5
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ.....	8
1.1 Понятие о геоинформационных системах.....	8
1.2.«Данные», «информация», «знания» в геоинформационных системах...9	
1.3. Обобщенные функции ГИС-систем.....	10
1.4. Классификация ГИС.....	11
1.5. Источники данных и их типы.....	11
2. ГЕОИНФОРМАТИКА.....	13
2.1 Геоинформатика.....	13
2.2 История развития ГИС.....	14
3. ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ГИС.....	16
3.1. Техническое обеспечение.....	16
3.2. Программное обеспечение.....	17
3.3. Информационное обеспечение.....	17
4. ТЕХНОЛОГИИ ВВОДА ДАННЫХ.....	18
4.1. Способы ввода данных.....	18
4.2. Преобразование исходных данных.....	19
4.3. Ввод данных дистанционного зондирования.....	20
5. СТРУКТУРЫ И МОДЕЛИ ДАННЫХ.....	21
5.1. Отображение объектов реального мира в ГИС.....	21
5.2. Структуры данных.....	22
5.3. Модели данных.....	24
5.4. Форматы данных.....	27
5.5. Базы данных и управление ими.....	28
6. ВЕКТОРНЫЕ МОДЕЛИ ДАННЫХ. ТОПОЛОГИЯ.....	31
7. АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ.....	39
7.1. Задачи пространственного анализа.....	39
7.2. Основные функции пространственного анализа данных.....	40
7.3. Анализ пространственного распределения объектов.....	41
8. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ.....	42
8.1. Поверхность и цифровая модель.....	42
8.2. Источники данных для формирования ЦМР.....	42
8.3. Интерполяции.....	42
9. ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА.....	48
9.1. Основные процессы.....	48
9.2. Требования к точности выполнения процессов.....	48
9.3. Использование ЦМР.....	49
10. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ВИЗУАЛИЗАЦИИ.....	49
10.1. Электронные карты и атласы.....	49

10.2. Картографические способы отображения результатов анализа данных.....	50
10.3. Трехмерная визуализация.....	51
11. ЭТАПЫ И ПРАВИЛА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИС.....	52
12. КРАТКИЙ ОБЗОР ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В РОССИИ.....	53
ЛИТЕРАТУРА.....	56

Введение

Во все времена знания о пространственной ориентации физических объектов или, попросту говоря, об их географическом положении, были очень важны для людей. К примеру, первобытные охотники всегда знали местонахождение своей добычи, а жизнь или смерть исследователей первопроходцев напрямую зависела от их знаний географии. Также и современное общество живет, работает и сотрудничает, опираясь на информацию о том, кто и где находится. Прикладная география в виде карт и информации о пространстве помогала совершать открытия, способствовала торговле, повышала безопасность жизнедеятельности человечества в течение как минимум прошлых 3000 лет, а карты являются одними из наиболее значимых документов, рассказывающих об истории нашей цивилизации.

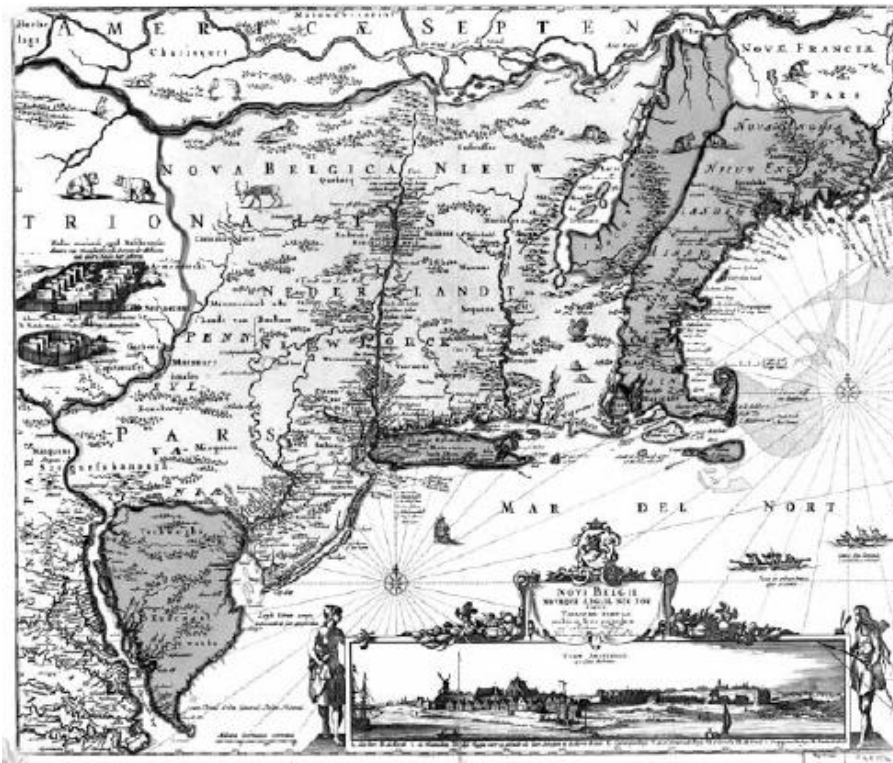


Рисунок 1 – Карта Новой Англии, составленная в 1685 году
Николасом Висчером

Наиболее часто наши знания из области географии применяются к решению повседневных задач, таких как, поиск нужной улицы в незнакомом городе или вычисление кратчайшего пешего пути до места своей работы. Пространственная информация помогает нам эффективно производить сельскохозяйственную продукцию и промышленные товары, добывать тепло и электроэнергию.

Последние тридцать лет прошлого столетия человечество интенсивно развивало инструментальные средства, названные **географическими информационными системами (ГИС)**, призванные помочь в расширении и углублении географических знаний. ГИС помогают нам в накоплении и использовании пространственных данных. Некоторые компоненты ГИС исключительно технологические; они включают в себя современные хранилища пространственных данных, передовые телекоммуникационные сети и усовершенствованную вычислительную технику. Хотя есть и другие методы ГИС, которые очень просты. Например, использование простого карандаша и листа бумаги для верификации карт.

Как и многие аспекты нашей жизни в последние пятьдесят лет, процесс накопления и использования пространственных данных был сильно трансформирован интенсивным развитием микроэлектроники. Программное обеспечение и аппаратная платформа ГИС – это главный технологический результат, так как получение и обработка пространственных данных значительно ускорились за прошлые три десятилетия и продолжает неустанно развиваться.

Ключевые слова ко всем понятиям ГИС – «что» и «где?». ГИС и пространственные исследования имеют прямое отношение к абсолютной и относительной локализации особенностей рельефа местности, также как к свойствам и признакам этих особенностей. Обычно регистрируется не только локализация важных географических объектов, например, рек и течений, но также их размер, скорость течения, качество воды или вид рыбы, найденной в них. Действительно, эти признаки часто зависят от пространственного расположения “важных” рельефных особенностей. ГИС помогает анализировать и отображать эти пространственные зависимости.

Курс лекций предназначен для формирования у обучающихся следующих профессиональных компетенций:

ПК-1 – Способность и готовность использовать информационные технологии, в том числе современные средства компьютерной графики в своей предметной области;

ПК-2 – Способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин и готовность использовать основные законы в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования;

ПК-4 – Способность и готовность использовать нормативные правовые документы.

В результате освоения указанных компетенций обучающиеся должны:

- знать – особенности и оценку значимости географических информационных систем, которая является разделом естественно научной дисциплины и неразрывно связана с элементами математического анализа и аналитической геометрии (векторный анализ); основы компьютерной графики; правовые и экономические аспекты создания землеустроительной и градостроительной

ГИС и ЗИС; инвестиционные проекты создания землеустроительной и градостроительной ГИС и ЗИС.

- уметь – выполнять проектно-конструкторскую документацию с применением систем автоматизированного проектирования и черчения; применять компьютерную технику и информационные технологии в профессиональной деятельности; выстраивать последовательность использования ГОСТов и правил оформления графической (чертежи) и текстовой (спецификации) документации.

- владеть – навыками использования информационных технологий, в том числе современные средства компьютерной графики в своей предметной области; основами построения графиков, оси координат, числовые отметки и т.д.; навыками применения Государственных Стандартов и справочной литературой.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

1.1 Понятие о геоинформационных системах

1.2 «Данные», «информация», «знания» в геоинформационных системах

1.3 Обобщенные функции ГИС-систем

1.4 Классификация ГИС

1.5 Источники данных и их типы

1.1 Понятие о геоинформационных системах

Географическая информационная система или геоинформационная система (ГИС) – это информационная система, обеспечивающая сбор, хранение, обработку, анализ и отображение пространственных данных и связанных с ними непространственных, а также получение на их основе информации и знаний о географическом пространстве.

Считается, что географические или пространственные данные составляют более половины объема всей циркулирующей информации, используемой организациями, занимающимися разными видами деятельности, в которых необходим учет пространственного размещения объектов. ГИС ориентирована на обеспечение возможности принятия оптимальных управленческих решений на основе анализа пространственных данных.

Ключевыми словами в определении ГИС являются – анализ пространственных данных или пространственный анализ. ГИС может ответить на следующие вопросы:

Что находится в заданной области?

Где находится область, удовлетворяющая заданному набору условий?

Современные ГИС расширили использование карт за счет хранения графических данных в виде отдельных тематических слоев, а качественных и количественных характеристик составляющих их объектов в виде баз данных. Такая организация данных при наличии гибких механизмов управления ими, обеспечивает принципиально новые аналитические возможности.

Географическая информационная система поддерживает несколько видов для работы с географической информацией:

1. Вид Базы Геоданных: ГИС – это пространственная база данных, содержащая наборы данных, которые представляют географическую информацию в контексте общей модели данных ГИС (векторные объекты, растры, топология, сети и т.д.)

2. Вид ГЕОВИЗУАЛИЗАЦИИ: ГИС – это набор интеллектуальных карт и других видов, которые показывают пространственные объекты и отношения между объектами на земной поверхности. Могут быть построены разные виды карт, и они могут использоваться как “окна в базу данных” для поддержки запросов,

анализа и редактирования информации.

3. Вид Геообработки: ГИС – это набор инструментов для получения новых наборов географических данных из существующих наборов данных. Функции обработки пространственных данных (геообработки) извлекают информацию из существующих наборов данных, применяют к ним аналитические функции и записывают полученные результаты в новые производные наборы данных.

В программном обеспечении ESRI® ArcGIS® эти три вида ГИС представлены каталогом (ГИС как коллекция наборов геоданных), картой (ГИС как интеллектуальный картографический вид) и набором инструментов (ГИС как набор инструментов для обработки пространственных данных). Все они являются неотъемлемыми составляющими полноценной ГИС и в большей или меньшей степени используются во всех ГИС-приложениях.



Рисунок 2 – Структура ГИС

1.2 «Данные», «информация», «знания» в геоинформационных системах

Конкретизируя термины «данные», «информация», «знания», применительно к оперированию ими в информационной системе, можно отметить, что, имея много общего, эти понятия различаются по своей сути.

Под **данными** понимается совокупность фактов, известных об объектах, либо результаты измерения этих объектов. Данные, используемые в ГИС, отличаются высокой степенью формализации. Данные – это строительный элемент в процессе создания информации, поскольку она получается в процессе обработки данных.

Применительно к ГИС под **информацией** понимается совокупность сведений, определяющих меру наших знаний об объекте.

В таком контексте **знания** можно рассматривать как результат интерпретации информации. Наиболее общее определение: знание – результат познания действительности, получивший подтверждение в практике. Научное знание отличается своей систематичностью, обоснованностью и высокой степенью структуризации.

Информационные системы можно рассматривать как эффективный инструмент получения знаний.

Различия между терминами «данные», «информация» и «знания» прослеживаются в истории развития технических систем, так вначале появились банки данных, позднее информационные системы, затем появились системы, основанные на знаниях – интеллектуальные системы (экспертные системы).

В настоящее время на рынке программных продуктов представлено несколько видов систем, работающих с пространственно распределенной информацией, к ним в частности, относятся системы автоматизированного проектирования, автоматизированного картографирования и ГИС. ГИС по сравнению с другими автоматизированными системами обладают развитыми средствами анализа пространственных данных.

1.3 Обобщенные функции ГИС-систем

Большинство современных ГИС осуществляют комплексную обработку информации, используя ниже приведенные функции:

- 1) ввод и редактирование данных;
- 2) поддержка моделей пространственных данных;
- 3) хранение информации;
- 4) преобразование систем координат и трансформация картографических проекций;
- 5) растрово-векторные операции;
- 6) измерительные операции;
- 7) полигональные операции;
- 8) операции пространственного анализа;
- 9) различные виды пространственного моделирования;
- 10) цифровое моделирование рельефа и анализ поверхностей;
- 11) вывод результатов в разных формах.

1.4 Классификация ГИС

ГИС системы разрабатываются с целью решения научных и прикладных задач по мониторингу экологических ситуаций, рациональному использованию природных ресурсов, а также для инфраструктурного проектирования, городского и регионального планирования, для принятия оперативных мер в условиях чрезвычайных ситуаций др.

Множество задач, возникающих в жизни, привело к созданию различных ГИС, которые могут **классифицироваться по следующим признакам:**

По функциональным возможностям:

- полнофункциональные ГИС общего назначения;
- специализированные ГИС ориентированы на решение конкретной задачи в какой либо предметной области;
- информационно-справочные системы для домашнего и информационно-справочного пользования.

Функциональные возможности ГИС определяются также архитектурным принципом их построения:

– закрытые системы – не имеют возможностей расширения, они способны выполнять только тот набор функций, который однозначно определен на момент покупки.

– открытые системы отличаются легкостью приспособления, возможностями расширения, так как могут быть достроены самим пользователем при помощи специального аппарата (встроенных языков программирования).

По пространственному (территориальному) охвату:

- глобальные (планетарные);
- общенациональные;
- региональные;
- локальные (в том числе муниципальные).

По проблемно-тематической ориентации:

- общегеографические;
- экологические и природопользовательские;
- отраслевые (водных ресурсов, лесопользования, геологические, туризма и т.д.).

По способу организации географических данных:

- векторные;
- растровые;
- векторно-растровые ГИС.

1.5 Источники данных и их типы

В качестве *источников данных* для формирования ГИС служат:

- *картографические материалы* (топографические и общегеографические карты, карты административно-территориального деления, кадастровые планы

и др.). Сведения, получаемые с карт, имеют территориальную привязку, поэтому их удобно использовать в качестве базового слоя ГИС. Если нет цифровых карт на исследуемую территорию, тогда графические оригиналы карт преобразуются в цифровой вид.

– *данные дистанционного зондирования (ДДЗ)* все шире используются для формирования баз данных ГИС. К ДДЗ, прежде всего, относят материалы, получаемые с космических носителей. Для дистанционного зондирования применяют разнообразные технологии получения изображений и передачи их на Землю, носители съемочной аппаратуры (космические аппараты и спутники) размещают на разных орбитах, оснащают разной аппаратурой. Благодаря этому получают снимки, отличающиеся разным уровнем обзорности и детальности отображения объектов природной среды в разных диапазонах спектра (видимый и ближний инфракрасный, тепловой инфракрасный и радиодиапазон). Все это обуславливает широкий спектр экологических задач, решаемых с применением ДДЗ.

К методам дистанционного зондирования относятся и аэро- и наземные съемки, и другие неконтактные методы, например гидроакустические съемки рельефа морского дна. Материалы таких съемок обеспечивают получение как количественной, так и качественной информации о различных объектах природной среды.

Материалы полевых изысканий территорий, включают данные топографических, инженерно-геодезических изысканий, кадастровой съемки, геодезические измерения природных объектов, выполняемые нивелирами, теодолитами, электронными тахеометрами, GPS приемниками, а также результаты обследования территорий с применением геоботанических и других методов, например, исследования по перемещению животных, анализ почв и др.

Статистические данные содержат данные государственных статистических служб по самым разным отраслям народного хозяйства, а также данные стационарных измерительных постов наблюдений (гидрологические и метеорологические данные, сведения о загрязнении окружающей среды и т. д.).

Литературные данные (справочные издания, книги, монографии и статьи, содержащие разнообразные сведения по отдельным типам географических объектов).

В ГИС редко используется только один вид данных, чаще всего это сочетание разнообразных данных на какую-либо территорию.

Вопросы для повторения и самоконтроля

1. Дайте определение ГИС.
2. Охарактеризуйте термины «данные», «информация», «знания».
3. Назовите основные функции ГИС–систем.
4. Классификация ГИС.
5. Каковы основные источники данных для формирования ГИС?

2 ГЕОИНФОРМАТИКА

2.1 Геоинформатика

2.2 История развития ГИС

2.1 Геоинформатика

Современные тенденции всё более широкого внедрения геоинформационных систем в науки о Земле (географию, геологию, биологию, почвоведение и т.д.), а также в тесно связанными с ними социально-экономические науки приводит к дальнейшему интенсивному развитию геоинформационных методов исследования, которые базируются на геоинформатике.

Геоинформатика – наука, технология и производственная деятельность, которая связана с разработкой и использованием ГИС.

Данный комплекс формируется на стыке географии, информатики, теории информационных систем, картографии и других дисциплин с привлечением общенаучных методов познания, в частности системного подхода, а также с использованием новейших достижений в области вычислительной техники.

Ближайшее окружение геоинформатики образуют картография и дистанционное зондирование. В разные периоды времени предлагались различные модели, описывающие характер связи этих трёх наук и технологий:

- линейная модель ДЗ – ГИС – К;
- доминирование картографии К (ДЗ – ГИС);
- доминирование геоинформационных систем ГИС (ДЗ – К);
- модель тройного взаимодействия.

В итоге пришли к выводу, что наиболее верной является последняя модель.

Научно-познавательный аспект геоинформатики заключается в том, что геоинформатика отображает и исследует реальный мир (например, природные, общественные и природно-общественные геосистемы), используя для этого свои особые средства и методы путём создания и изучения цифровой информационной модели геосистемы.

Технологический аспект геоинформатики заключается в том, что она занимается технологией сбора, хранения, преобразования, отображения и распространения геоинформации для решения задач инвентаризации, оптимизации и управления геосистемами.

Как производство геоинформатика проявляет себя при создании аппаратных средств и программных продуктов, включая создание банков данных, систем управления, инструментария ГИС разного целевого назначения и проблемной ориентации.

Геоинформатика – наиболее перспективная информационная технология 90-х годов, т.к. она стремительно внедряется, обширно применяется, включена в ряд крупнейших государственных программ последних лет.

2.2 История развития ГИС

Историю геоинформатики можно разделить на 4 нечётко выраженных периода.

Этап 1. 60-е годы.

Накопление новой наукой техники и опыта. В 1963-1971 гг. создана Канадская ГИС для анализа данных инвентаризации земель Канады в области рационального землепользования. Впервые для создания карт использовался сканер. Создана технология массового цифрования карт. Впервые выполнялось наложение и измерение площадей. Впервые использовалась абсолютная система координат и была создана база данных на основе тематических слоёв. Впервые в число атрибутов операционных объектов введены признаки пространства. Для указания местоположения объекта стали использоваться координаты центров.

В Швеции разрабатывается ГИС для автоматизации учёта земельных участков и недвижимости. Основная функция ГИС состояла во вводе в машинную среду первичных учётных документов для хранения и регулярного обновления данных, достаточно простой (на сегодняшний взгляд) обработки, включающей агрегацию данных и генерацию итоговых отчётных статистических табличных документов.

Считается, что первая автоматизированная картографическая система была создана в Великобритании в 1964 г.

В мире разрабатывается программное обеспечение для автоматизированного картографирования, сформировалось понятие пространственных объектов. Оформились две альтернативные линии представления – растровые и векторные структуры, включая топологические линейно-узловые направления. Поставлены и решены задачи, образующие ядро геоинформационных технологий: наложение разноимённых слоёв, генерация буферных зон, полигонов Тиссена, определение принадлежности точки полигону, операции вычислительной геометрии.

Функциональная ограниченность ГИС первого поколения имела и чисто технические причины: неразвитость периферийных устройств, пакетный режим обработки данных на крупных и мощных, но очень дорогих ЭВМ, непереносимость программного обеспечения, критичность вычислительных ресурсов по отношению к объёмам данных и времени исполнения задач.

Этап 2. 70-е годы.

Отработка методик структурирования пространственных данных. Общность технической базы, структурно-функциональное единство или подобие автоматизированных картографических систем и ГИС создали в 70-х годах предпосылки к их будущей интеграции, породив «картоцентрический» взгляд на геоинформатику. Большинство ГИС этого периода включает в свои задачи создание карт или используют картографические материалы как источник исходных данных. Международным географическим союзом была поведена инвентар-

ризация 85 полнофункциональных ГИС и несколько сот программных средств для манипулирования пространственными данными, машинной и картографической графики. В России сформировалось новое направление – математико-картографическое моделирование. Цифровая картографическая продукция почти не отличается от традиционных карт.

Этап 3. 80-е годы.

Эпоха зрелости ГИС. Широкое распространение персональных компьютеров открыли ГИС для массового пользователя. Отдельные компьютерные программные пакеты трансформируются в единую связанную систему. Созданные компьютерные локальные и глобальные сети революционно изменили доступ к базам данных. Появилась геоинформационная индустрия. Создание ГИС основывается не на уникальных разработках, а на адаптации универсальных продуктов применительно к анализируемым проблемам. Именно в этот период появилась ГИС ArcInfo. Существенно раздвигается круг решаемых задач. Осваиваются новые источники данных для ГИС: данные дистанционного зондирования – Landsat, Spot, данные глобальных систем позиционирования. Цифровые методы обработки изображений интегрируются с системами автоматизированной картографии и ГИС.

Этап 4. 90-е годы.

Развитие мультимедийных технологий. Большинство карт преобразуется в цифровые модели. Происходит развитие моделирования: внедрение теории фракталов, катастроф, хаоса в географии, применение нейронных сетей для многомерных классификаций и прогнозирования. Появились примеры интеграции ГИС и Интернет. Большое внимание уделяется интеллектуальному анализу данных (data mining).

Вопросы для повторения и самоконтроля

1. Что такое геоинформатика?
2. Назовите основные этапы развития ГИС.

3 ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ГИС

3.1 Техническое обеспечение

3.2 Программное обеспечение

3.3 Информационное обеспечение

К основным компонентам ГИС относят: техническое, программное, информационное обеспечение. Требования к компонентам ГИС определяются, в первую очередь, пользователем, перед которым стоит конкретная задача (учет природных ресурсов, либо управление инфраструктурой города), которая должна быть решена для определенной территории, отличающейся природными условиями и степенью ее освоения.

3.1 Техническое обеспечение

Техническое обеспечение – это комплекс аппаратных средств, применяемых при функционировании ГИС: рабочая станция или персональный компьютер (ПК), устройства ввода-вывода информации, устройства обработки и хранения данных, средства телекоммуникации.

Рабочая станция или ПК являются ядром любой информационной системы и предназначены для управления работой ГИС и выполнения процессов обработки данных, основанных на вычислительных или логических операциях. Современные ГИС способны оперативно обрабатывать огромные массивы информации и визуализировать результаты.

Ввод данных реализуется с помощью разных технических средств и методов: непосредственно с клавиатуры, с помощью дигитайзера или сканера, через внешние компьютерные системы. Пространственные данные могут быть получены электронными геодезическими приборами, непосредственно с помощью дигитайзера и сканера, либо по результатам обработки снимков на аналитических фотограмметрических приборах или цифровых фотограмметрических станциях.

Устройства для обработки и хранения данных сконцентрированы в системном блоке, включающем в себя центральный процессор, оперативную память, внешние запоминающие устройства и пользовательский интерфейс.

Устройства **вывода данных** должны обеспечивать наглядное представление результатов, прежде всего на мониторе, а также в виде графических оригиналов, получаемых на принтере или плоттере (графопостроителе), кроме того, обязательна реализация экспорта данных во внешние системы.

3.2 Программное обеспечение

Программное обеспечение – совокупность программных средств, реализующих функциональные возможности ГИС, и программных документов, необходимых при их эксплуатации.

Структурно программное обеспечение ГИС включает **базовые и прикладные программные средства**.

Базовые программные средства включают: операционные системы (ОС), программные среды, сетевое программное обеспечение и системы управления базами данных. Операционные системы предназначены для управления ресурсами ЭВМ и процессами, использующими эти ресурсы. На настоящее время основные ОС: Windows и Unix.

Любая ГИС работает с данными двух типов данных – **пространственными и атрибутивными**. Для их ведения программное обеспечение должно включить систему управления базами тех и других данных (СУБД), а также модули управления средствами ввода и вывода данных, систему визуализации данных и модули для выполнения пространственного анализа.

Прикладные программные средства предназначены для решения специализированных задач в конкретной предметной области и реализуются в виде отдельных **приложений и утилит**.

3.3 Информационное обеспечение

Информационное обеспечение - совокупность массивов информации, систем кодирования и классификации информации. Информационное обеспечение составляют реализованные решения по видам, объемам, размещению и формам организации информации, включая поиск и оценку источников данных, набор методов ввода данных, проектирование баз данных, их ведение и метасопровождение. Особенность хранения пространственных данных в ГИС – их разделение на слои. Многослойная организация электронной карты, при наличии гибкого механизма управления слоями, позволяет объединить и отобразить гораздо большее количество информации, чем на обычной карте. Данные о пространственном положении (географические данные) и связанные с ними табличные могут подготавливаться самим пользователем либо приобретаться. Для такого обмена данными важна инфраструктура пространственных данных.

Инфраструктура пространственных данных определяется нормативно-правовыми документами, механизмами организации и интеграции пространственных данных, а также их доступность разным пользователям. Инфраструктура пространственных данных включает три необходимых компонента: базовую пространственную информацию, стандартизацию пространственных данных, базы метаданных и механизм обмена данными.

Вопросы для повторения и самоконтроля

1. Назовите основные компоненты ГИС.
2. Каково техническое обеспечение ГИС?
3. Что включает в себя программное обеспечение ГИС?
4. Что включает в себя информационное обеспечение ГИС?

4 ТЕХНОЛОГИИ ВВОДА ДАННЫХ

4.1 Способы ввода данных

4.2 Преобразование исходных данных

4.3 Ввод данных дистанционного зондирования

4.1 Способы ввода данных

В соответствии с используемыми техническими средствами различают два способа ввода данных: дигитализацию и векторизацию. Для ручного ввода пространственных данных применяется *дигитайзер* (рисунок 3). Он состоит из планшета (столика) с электронной сеткой, к которому присоединено устройство называемое курсором. Курсор представляет собой подобие графического манипулятора – мыши, имеет визир, нанесенный на прозрачную пластинку, с помощью которого оператор выполняет точное наведение на отдельные элементы карты. На курсоре помещены кнопки, которые позволяют фиксировать начало и конец линии или границы области, число кнопок зависит от уровня сложности дигитайзера. Дигитайзеры бывают разных форматов и обеспечивают разрешение 0,03 мм с общей точностью 0,08 мм на расстоянии 1,5 м. Существуют автоматизированные дигитайзеры, обеспечивающие автоматическое отслеживание линий.

Наибольшее распространение для ввода данных получили *сканеры*. Они позволяют вводить растровое изображение карты в компьютер. Существуют различные типы сканеров, которые различаются: по способу подачи исходного материала (планшетные и протяжные (барабанного типа)); по способу считывания информации (работающие на просвет или на отражение); по радиометрическому разрешению или глубине цвета; по оптическому (или геометрическому) разрешению. Последняя характеристика определяется минимальным размером элемента изображения, который различается сканером.



Рисунок 3 – Дигитайзер

Процесс цифрования растрового изображения на экране компьютера называют векторизацией. Существует три способа векторизации: ручной, интерактивный и автоматический. При *ручной векторизации* оператор обводит мышью на изображении каждый объект, при *интерактивной* - часть операций производится автоматически. Так, например, при векторизации горизонталей достаточно задать начальную точку и направление отслеживания линий, далее векторизатор сам отследит эту линию до тех пор, пока на его пути не встретятся неопределенные ситуации, типа разрыва линии. Возможности интерактивной векторизации прямо связаны с качеством исходного материала и сложностью карты. Автоматическая векторизация предполагает непосредственный перевод из растрового формата в векторный с помощью специальных программ, с последующим редактированием. Оно необходимо, поскольку даже самая изощренная программа может неверно распознать объект, принять например, символ за группу точек, и т.п.

4.2 Преобразование исходных данных

Отсканированные исходные карты создавались в определенной картографической проекции и системе координат. При оцифровке эта сложная проекция сводится в набор пространственных координат. Поэтому необходимо преобразовать карту к ее исходной проекции. Для этого в ГИС вводятся сведения об используемой проекции (обычно ГИС позволяет работать с большим числом проекций) и осуществляется ряд преобразований. Три основных из них, которые часто выполняются одновременно, это перенос, поворот и масштабирование.

Перенос – это просто перемещение всего графического объекта в другое место на координатной плоскости. Он выполняется добавлением определенных величин к координатам X и Y объекта:

$$X' = X + T_x, Y' = Y + T_y$$

Масштабирование - тоже очень полезно, так как часто сканируются карты разных масштабов, для этого используют соотношение:

$$X' = X \cdot S_x, Y' = Y \cdot S_y$$

Поворот выполняется с использованием тригонометрических функций:

$$X' = X \cos \theta + Y \sin \theta, Y' = X \sin \theta + Y \cos \theta$$

Все необходимые преобразования могут быть выполнены и использованием этих трех основных графических операций по координатам опорных точек.

4.3 Ввод данных дистанционного зондирования

В ГИС используют не первичные материалы ДЗ, получаемые во время съемки, а производные, формируемые в результате их обработки. Данные со спутников подвергаются предварительной цифровой обработке для устранения радиометрических и геометрических искажений, влияния атмосферы и т.д. Для улучшения визуального качества исходных изображений могут применяться процедуры для изменения яркости и контрастности, фильтрации для устранения шумов или подчеркивания контуров и мелких деталей. При использовании аэрофотоснимков следует обращать внимание на искажения, вызываемые углами наклонов снимков и рельефом местности, которые могут быть устранены в процессе *трасформирования или ортофототрансформирования*.

Вопросы для повторения и самоконтроля

1. Перечислите способы ввода данных.
2. Что такое дигитализация?
3. Что такое векторизация?
4. Назовите основные типы преобразования изображений?
5. Какие данные дистанционного зондирования используют в ГИС?

5 СТРУКТУРЫ И МОДЕЛИ ДАННЫХ

5.1 Отображение объектов реального мира в ГИС

5.2 Структуры данных

5.3 Модели данных

5.4 Форматы данных

5.5 Базы данных и управление ими

5.1 Отображение объектов реального мира в ГИС

Объекты реального мира, рассматриваемые в геоинформатике, отличаются *пространственными, временными и тематическими характеристиками*.

Пространственные характеристики определяют положение объекта в заранее определенной системе координат, основное требование к таким данным – точность.

Временные характеристики фиксируют время исследования объекта и важны для оценки изменений свойств объекта с течением времени. Основное требование к таким данным – актуальность, что означает возможность их использования для обработки, неактуальные данные – это устаревшие данные.

Тематические характеристики описывают разные свойства объекта, включая экономические, статистические, технические и другие свойства, основное требование – полнота.

Для представления пространственных объектов в ГИС используют *пространственные и атрибутивные типы данных*.

Пространственные данные – сведения, которые характеризуют местоположение объектов в пространстве относительно друг друга и их геометрию.

Пространственные объекты представляют с помощью следующих графических объектов: точки, линии, области и поверхности.

Описание объектов осуществляется путем указания координат объектов и составляющих их частей.

Точечные объекты – это такие объекты, каждый из которых расположен только в одной точке пространства, представленной парой координат X , Y . В зависимости от масштаба картографирования, в качестве таких объектов могут рассматриваться дерево, дом или город.

Линейные объекты, представлены как одномерные, имеющие одну размерность – длину, ширина объекта не выражается в данном масштабе или не существенна. Примеры таких объектов: реки, границы муниципальных округов, горизонтали рельефа.

Области (полигоны) – площадные объекты, представляются набором пар координат (X , Y) или набором объектов типа линия, представляющих собой за-

мкнутый контур. Такими объектами могут быть представлены территории, занимаемые определенным ландшафтом, городом или целым континентом.

Поверхность – при ее описании требуется добавление к площадным объектам значений высоты. Восстановление поверхностей осуществляется с помощью использования математических алгоритмов (интерполяции и аппроксимации) по исходному набору координат X, Y, Z .

Дополнительные непространственные данные об объектах образуют набор атрибутов.

Атрибутивные данные – это качественные или количественные характеристики пространственных объектов, выражающиеся, как правило, в алфавитно-цифровом виде.

Примеры таких данных: географическое название, видовой состав растительности, характеристики почв и т.п.

Природа пространственных и атрибутивных данных различна, соответственно различны и методы манипулирования (хранения, ввода, редактирования, поиска и анализа) для двух этих составляющих геоинформационной системы. Одна из основных идей, воплощенных в традиционных ГИС – это сохранение связи между пространственными и атрибутивными данными, при раздельном их хранении и, частично, раздельной обработке.

Общее цифровое описание пространственного объекта включает: наименование; указание местоположения; набор свойств; отношения с другими объектами. Наименованием объекта служит его географическое название (если оно есть), его условный код или **идентификатор**, присваиваемый пользователем или системой.

Однотипные объекты по пространственному и тематическому признакам объединяются в **слои цифровой карты**, которые рассматриваются как отдельные информационные единицы, при этом существует возможность совмещения всей имеющейся информации.

5.2 Структуры данных

Для представления пространственных данных в ГИС применяют **векторные и растровые структуры данных**.

Векторная структура – это представление пространственных объектов в виде набора координатных пар (векторов), описывающих геометрию объектов (рисунок 4).

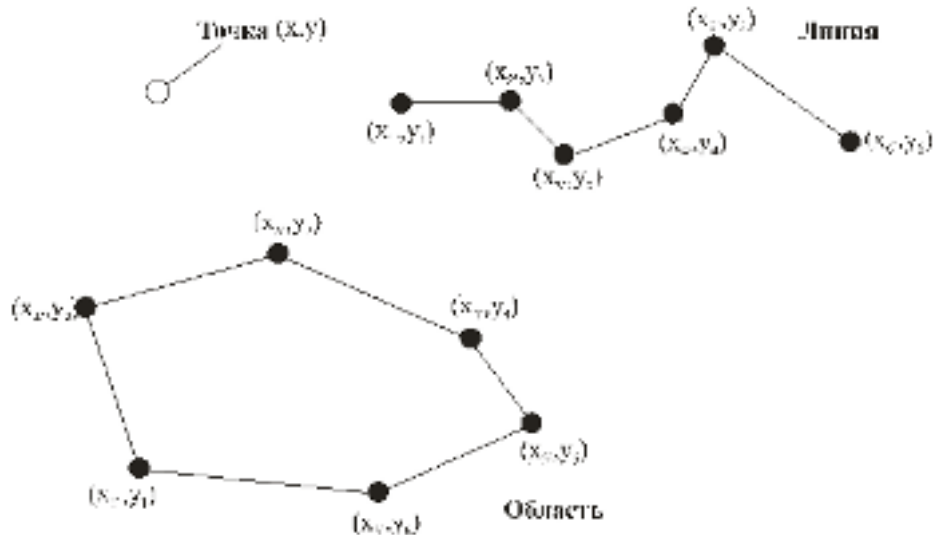


Рисунок 4 – Векторное представление пространственных данных

Растровая структура данных предполагает представления данных в виде двумерной сетки, каждая ячейка которой содержит только одно значение, характеризующее объект, соответствующий ячейке раstra на местности или на изображении. В качестве такой характеристики может быть код объекта (лес, луг и т.д.) высота или оптическая плотность (рисунок 5).

Точность растровых данных ограничивается размером ячейки. Такие структуры являются удобным средством анализа и визуализации разного рода информации.

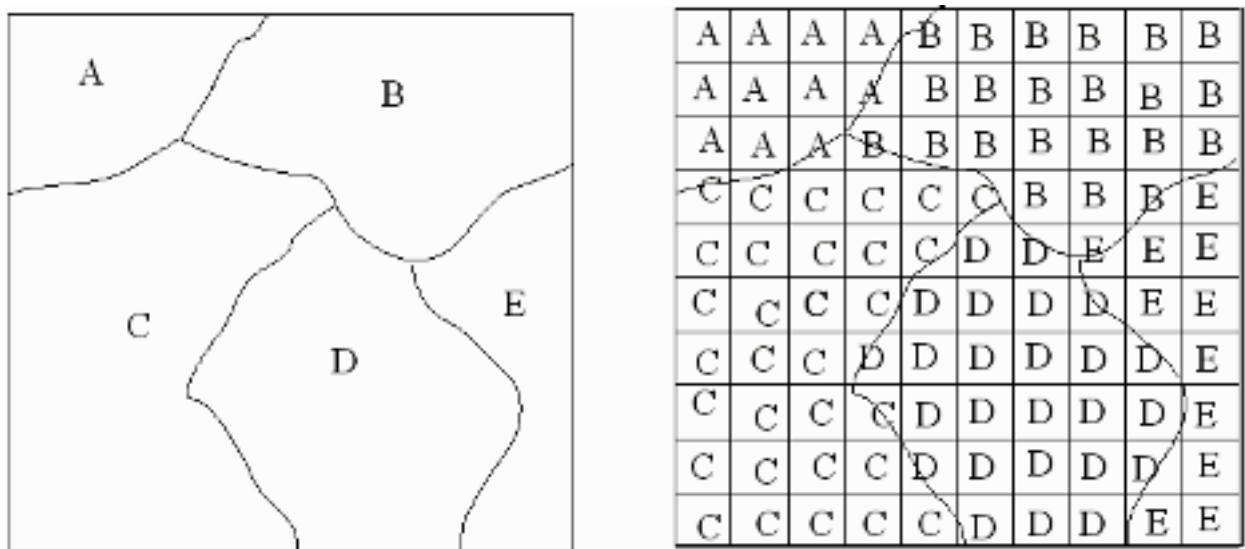


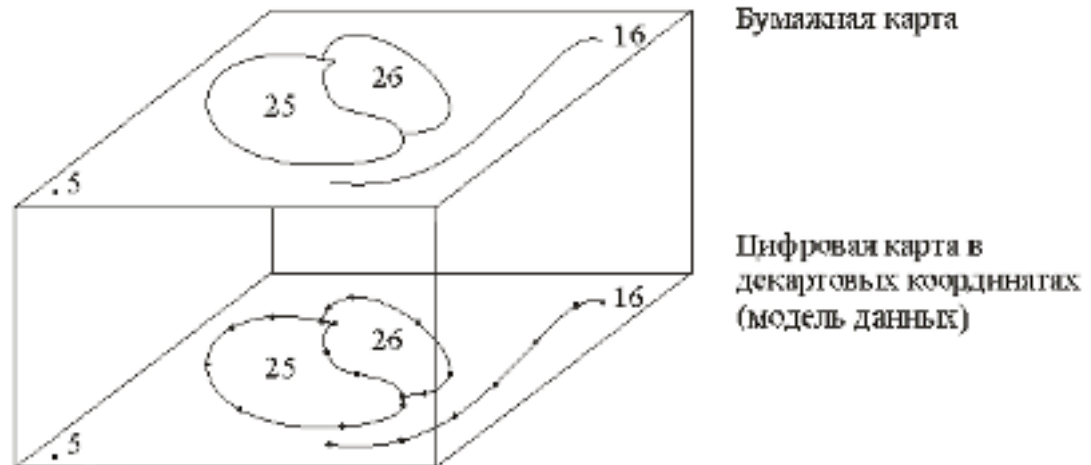
Рисунок 5 – Растровая структура данных.

Для реализации растровых и векторных структур разработаны различные модели данных.

5.3 Модели данных

Модели пространственных данных – логические правила для формализованного цифрового описания пространственных объектов.

Векторные модели данных. Существует несколько способов объединения векторных структур данных в векторную модель данных, позволяющую исследовать взаимосвязи между объектами одного слоя или между объектами разных слоев. Простейшей векторной моделью данных является «спагетти»- модель (рисунок 6). В этом случае переводится «один в один» графическое изображение карты.

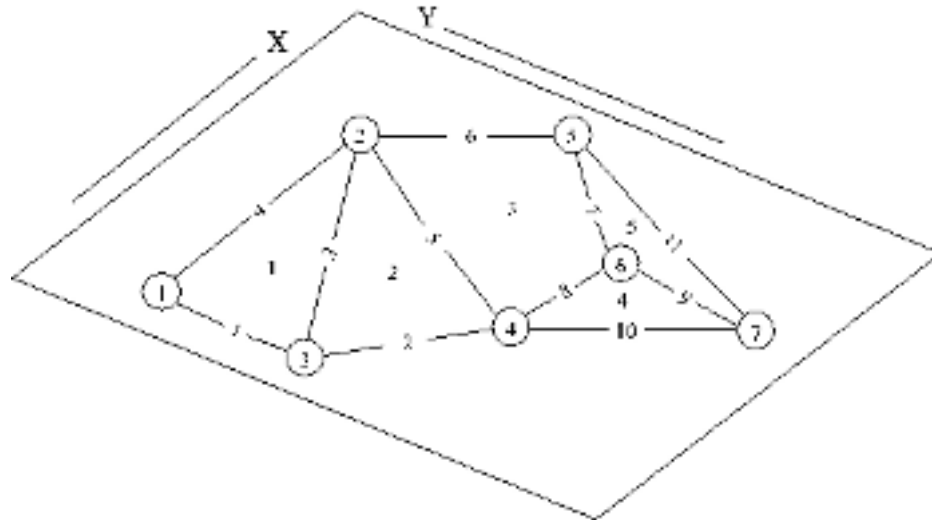


Объект	номер	Положение
Точка	5	Одна пара координат (x,y)
Линия	16	Набор пар координат (x,y)
Область	25	Набор пар координат (x,y), первая и последняя совпадают

Рисунок 6 – «Спагетти»-модель

В этой модели не содержится описания отношений между объектами, каждый геометрический объект хранится отдельно и не связан с другими, например общая граница объектов 25 и 26 записывается дважды, хотя с помощью одинакового набора координат. Все отношения между объектами должны вычисляться независимо, что затрудняет анализ данных и увеличивает объем хранимой информации.

Векторные *топологические модели* (рисунок 7) содержат сведения о соседстве, близости объектов и другие, характеристики взаимного расположения векторных объектов.



Файл узлов			Файл областей	
Номер дуги	Координата X	Координата Y	Номера областей	Список дуг
1	19	6	1	1, 4, 3
2	15	15	2	2, 3, 5
3	27	13	3	5, 6, 7, 8
4	24	19		

Файл дуг				
Номер дуги	Правый полигон	Левый полигон	Начальный узел	Конечный узел
1	1	0	3	1
2	2	0	4	3
3	2	1	3	2
4	1	0	1	2
5	3	2	4	2
6	3	0	2	5

Рисунок 7. Векторная топологическая модель данных.

Топологическая информация описывается набором узлов и дуг. Узел – это пересечение двух или более дуг, и его номер используется для ссылки на любую дугу, которой он принадлежит. Каждая дуга начинается и заканчивается либо в точке пересечения с другой дугой, либо в узле, не принадлежащем другим дугам. Дуги образуются последовательностью отрезков, соединённых промежуточными точками. В этом случае каждая линия имеет два набора чисел: пары координат промежуточных точек и номера узлов. Кроме того, каждая дуга имеет свой идентификационный номер, который используется для указания того, какие узлы представляют её начало и конец.

Разработаны и другие модификации векторных моделей, в частности, существуют специальные векторные модели для представления моделей поверхностей, которые будут рассмотрены далее.

Растровые модели используются в двух случаях. В первом случае – для хранения исходных изображений местности. Во втором случае, для хранения тематических слоев, когда пользователей интересуют не отдельные пространственные объекты, а набор точек пространства, имеющих различные характеристики (высотные отметки или глубины, влажность почв и т.д.), для оперативного анализа или визуализации.

В растровых моделях данных в качестве атомарной модели используется двухмерный элемент пространства – ячейка, или пиксель. Упорядоченная совокупность атомарных моделей образует растр, который, в свою очередь, является моделью карты или геообъекта.

Для растровых моделей существует ряд характеристик.

1 Разрешение – минимальный линейный размер наименьшего участка пространства (поверхности), отображаемый одним пикселем. Более высоким разрешением обладает растр с меньшим размером ячеек.

2 Значение – элемент информации, хранящийся в элементе растра (пикселе). Тип значения может быть целым, действительным, комплексным, символьным.

3 Зона – соседствующие друг с другом ячейки, имеющие одинаковые значения.

4 Положение – упорядоченная пара координат (номер строки и номер столбца), которые однозначно определяют положение каждого элемента отображаемого пространства в растре.

Достоинствами растровых моделей является следующее:

- растр не требует предварительного знакомства с явлениями, данные собираются с равномерно расположенной сети точек, что позволяет в дальнейшем на основе статистических методов обработки получать объективные характеристики исследуемых объектов;

- растровые данные проще обрабатывать по параллельным алгоритмам;

- некоторые задачи, например создание буферной зоны, проще решать в растровом виде.

Наиболее часто растровые модели применяют при обработке данных дистанционного зондирования.

Недостатки растровых моделей:

- наряду с полезной информацией может попадать и избыточная (в том числе и бесполезная) информация;
- большой объём данных.

Для уменьшения объёма данных применяют алгоритмы сжатия. Наибольшую степень сжатия дают алгоритмы сжатия с потерями, но эти алгоритмы можно использовать только при визуальном анализе данных.

Растровые модели делятся на:

- регулярные;
- нерегулярные;
- вложенные (рекурсивные или иерархические) мозаики.

Существует несколько способов хранения и адресации значений отдельных ячеек растра, и их атрибутов, названий слоев и легенд.

При использовании растровых моделей актуальным является вопрос сжатия растровых данных, для которого разработаны методы группового кодирования, блочного кодирования, цепочного кодирования и представления в виде квадродерева.

5.4 Форматы данных

Форматы данных определяют способ хранения информации на жестком диске, а также механизм ее обработки. Модели данных и форматы данных определенным способом взаимосвязаны.

Существует большое количество форматов данных. Можно отметить, что во многих ГИС поддерживаются основные форматы хранения растровых данных (TIFF, JPEG, GIF, BMP, WMF, PCX), а также GeoSpot, GeoTIFF, позволяющие передавать информацию о привязке растрового изображения к реальным географическим координатам, и MrSID - для сжатия информации. Наиболее распространенным среди векторных форматов является - DXF.

Все системы поддерживают обмен пространственной информацией (экспорт и импорт) со многими ГИС и САПР через основные обменные форматы: SHP, E00, GEN (ESRI), VEC (IDRISI), MIF (MapInfo Corp.), DWG, DXF (Autodesk), WMF (Microsoft), DGN (Bentley). Только некоторые, в основном отечественные системы, поддерживают российские обменные форматы – F1M (Роскартография), SXF (Военно-топографическая служба).

Довольно часто для эффективной реализации одних компьютерных операций предпочитают векторный формат, а для других растровый. Поэтому, в некоторых системах реализуются возможности манипулирования данными в том и в другом формате, и функции преобразования векторного в растровый, и наоборот, растрового в векторный форматы.

5.5 Базы данных и управление ими

Совокупность цифровых данных о пространственных объектах образует множество пространственных данных и составляет содержание баз данных.

База данных (БД) – совокупность данных организованных по определенным правилам, устанавливающим общие принципы описания, хранения и манипулирования данными.

Создание БД и обращение к ней (по запросам) осуществляется с помощью системы управления базами данных (СУБД).

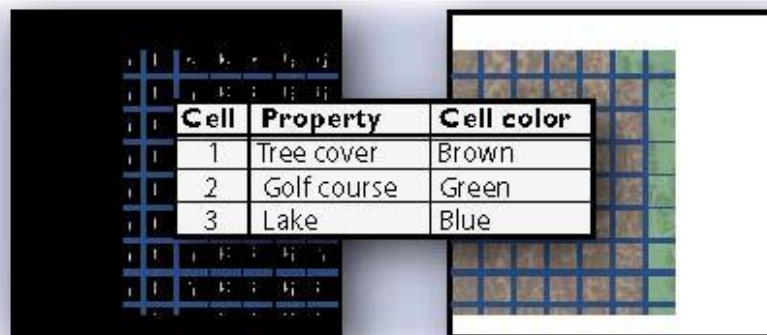
Создавая дизайн базы геоданных ГИС, пользователи определяют, как будут представляться разные пространственные объекты. Например, земельные участки обычно представляются как полигоны, улицы - как центральные линии, скважины - как точки, и т.д. Эти объекты группируются в классы объектов, в которых каждый набор имеет единое географическое представление.

Каждый набор данных ГИС дает пространственное представление какого-то аспекта окружающего мира, включая:

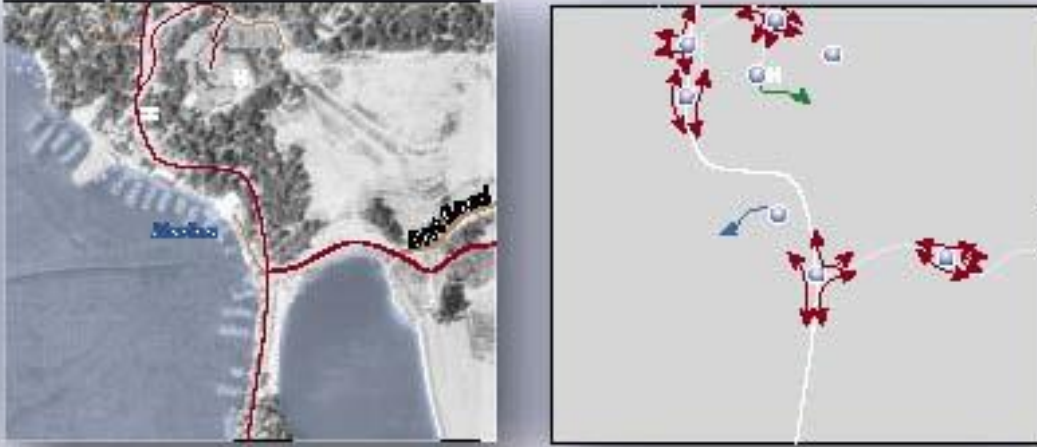
- Упорядоченные наборы векторных объектов (наборы точек, линий и полигонов)



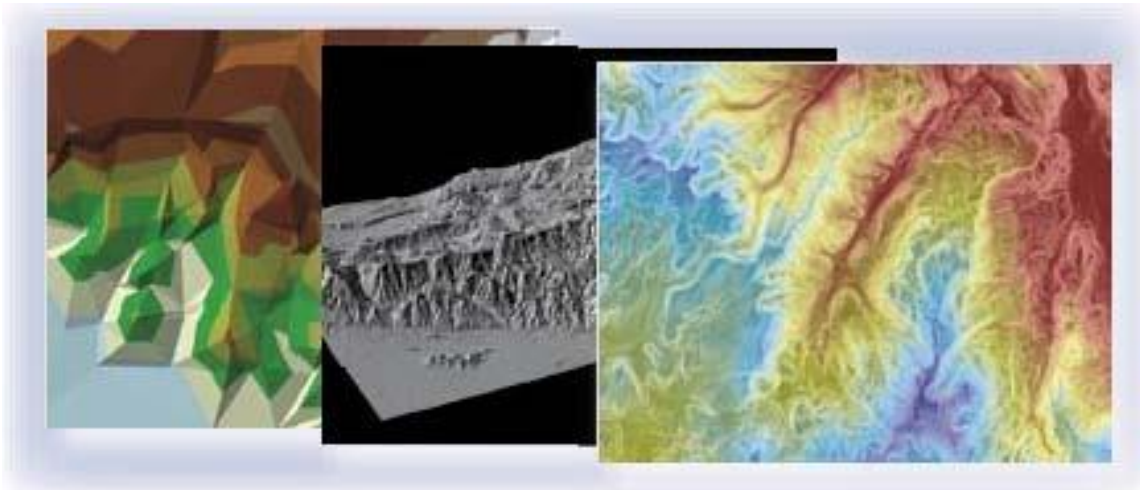
- Наборы растровых данных, такие как цифровые модели рельефа или изображения



- Пространственные сети

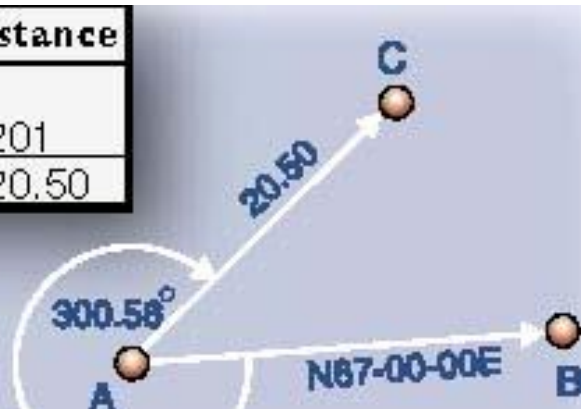


- Топография местности и другие поверхности

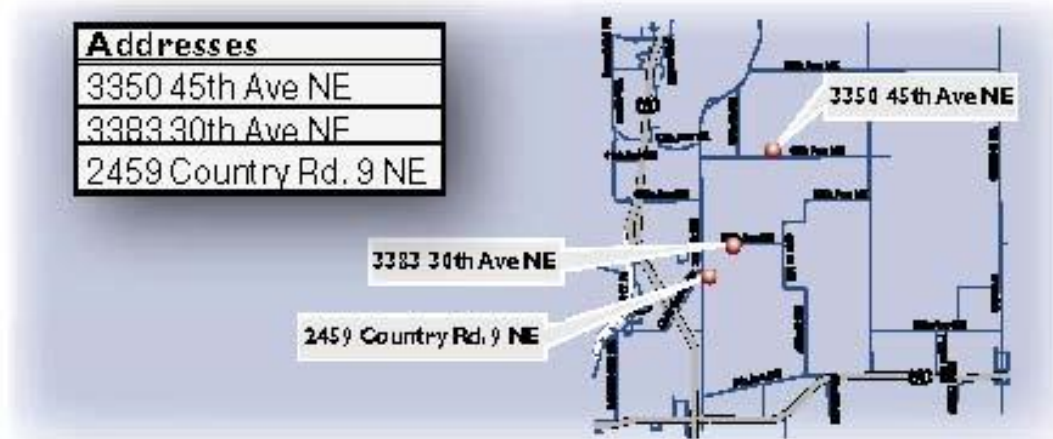


- Наборы данных геодезической съемки

From point	To Point	Type	Direction	Distance
A	B	Direction	N87E	-
A	C	Angle	300.56	201
A	C	Distance	-	20.50



- Прочие типы данных, такие как адреса, названия мест, картографическая информация



Логическая структура элементов базы данных определяется выбранной моделью БД. Наиболее распространенными моделями БД являются *иерархические, сетевые и реляционные и объектно-ориентированные*.

Иерархические модели представляют древовидную структуру, в этом случае каждая запись связана только с одной записью, находящейся на более высоком уровне.

Такая система хорошо иллюстрируется системой классификации растений и животных. Примером может также служить структура хранения информации на дисках ПК. Главное понятие такой модели уровень. Количество уровней и их состав зависит от принятой при создании БД классификации. Доступ к любой из этих записей осуществляется путем прохода по строго определенной цепочке узлов. При такой структуре легко осуществлять поиск нужных данных, но если изначально описание неполное, или не предусмотрен какой либо критерий поиска, то он становится невозможным. Для достаточно простых задач такая система эффективна, но она практически непригодна для использования в сложных системах с оперативной обработкой запросов.

Сетевые модели были призваны устранить некоторые из недостатков иерархических моделей. В сетевой модели каждая запись в каждом узле сети может быть связана с несколькими другими узлами. Записи, входящие в состав сетевой структуры, содержат в себе указатели, определяющие местоположение других записей, связанных с ними. Такая модель позволяет ускорить доступ к данным, но изменение структуры базы требует значительных усилий и времени.

Реляционные модели собирают данные в унифицированные *таблицы*. Таблице присваивается уникальное имя внутри БД. Каждый столбец - это поле, имеющее имя, соответствующее содержащемуся в нем атрибуту. Каждая строка в таблице соответствует записи в файле. Одно и тоже поле может присутство-

вать в нескольких таблицах. Так как строки в таблице не упорядочены, то определяется один или несколько столбцов, значения которых однозначно идентифицируют каждую строку. Такой столбец называется первичным ключом. Взаимосвязь таблиц поддерживается внешними ключами. Манипулирование данными осуществляется при помощи операций, порождающих таблицы. Пользователь может легко заносить в базу новые данные, комбинировать таблицы, выбирая отдельные поля и записи, и формировать новые таблицы для отображения на экране.

Объектно-ориентированные модели применяют, если геометрия определенного объекта способна охватывать несколько слоев, атрибуты таких объектов могут наследоваться, для их обработки применяют специфические методы.

Для обработки данных, размещенных в таблицах необходимы дополнительные сведения о данных, их называют метаданными.

Метаданные – данные о данных: каталоги, справочники, реестры и иные формы описания наборов цифровых данных.

Вопросы для повторения и самоконтроля

1. Назовите основные характеристики объектов реального мира.
2. Что такое пространственные данные?
3. Что такое атрибутивные данные?
4. Назовите основные структуры данных в ГИС.
5. Какие существуют модели данных в ГИС?
6. Какие существуют форматы данных в ГИС?
7. Что такое база данных?
8. Что такое системы управления базами данных (СУБД)?

6 ВЕКТОРНЫЕ МОДЕЛИ ДАННЫХ. ТОПОЛОГИЯ

ТОПОЛОГИЯ (от греч. *topos* – место) – раздел математики, изучающий топологические свойства фигур, т.е. свойства, не изменяющиеся при любых деформациях, производимых без разрывов и «склеиваний» (точнее, при взаимно-однозначных и непрерывных отображениях). Примерами топологических свойств фигур является размерность, число кривых, ограничивающих данную область, и т.д. Так, окружность, эллипс, контур квадрата имеют одни и те же топологические свойства, т.к. эти линии могут быть преобразованы одна в другую описанным выше способом; в то же время кольцо и круг обладают различными топологическими свойствами: круг ограничен одним контуром, а кольцо – двумя.

В сильно упрощенной форме под топологией понимают математическую науку, изучающую свойства объектов (и их отношения), которые сохраняются при непрерывных деформациях и преобразованиях. Такие «устойчивые» свой-

ства, в противоположность метрическим (последние, естественно, меняются при деформациях), называются топологическими.

Например, когда человек работает с картой, но не пользуется при этом измерительными инструментами, то в первую очередь он замечает и анализирует топологические соотношения между его элементами: река впадает в море, дороги образуют перекресток, участок, покрытый лесом, граничит с участком, непокрытым лесом.

Абсолютно нетопологических карт не бывает. В картографии работать с системой, в которой полностью отсутствует топология, практически невозможно вследствие крайней неэффективности деятельности оператора; ему придётся непрерывно бороться с «рассыпающимся» изображением при выполнении различных операций редактирования.

Различают следующие типы топологических отношений:

1) Необъектные топологии:

– («внутриобъектные» и «межобъектные») линейно-узловые топологические отношения. «Объект» в линейно-узловых и в объектных моделях – это несколько различные понятия, поэтому здесь термины приведены в скобках.

2) Объектные топологии:

- внутриобъектные топологические отношения;
- межобъектные топологические отношения:
- узловые топологические отношения;
- межобъектные топологические отношения в пределах одного слоя;
- межслойные топологические отношения между объектами;
- топологические межобъектные ресурсные связи.

3) Концептуальные топологические отношения (отношения между классами объектов, а не между экземплярами).

4) Псевдотопология.

Рассмотрим разные типы топологических отношений подробнее.

Необъектные топологии. Линейно-узловая топология. В цифровой картографии «объектность» отражает то, что цифровая карта состоит из более или менее чётко выделяемых на территории относительно автономных объектов. Главная особенность линейно-узловой топологии – огромная роль границ, на основе которых строится всё остальное. «Объекты» здесь структуры несамостоятельные и даже не имеют своей автономной формы. Все контура в этой модели данных могут пересекаться друг с другом только в своих концевых точках. В каждой точке пространства может существовать только один полигон, границами которого являются ближайшая замкнутая последовательность контуров (рисунок 8).

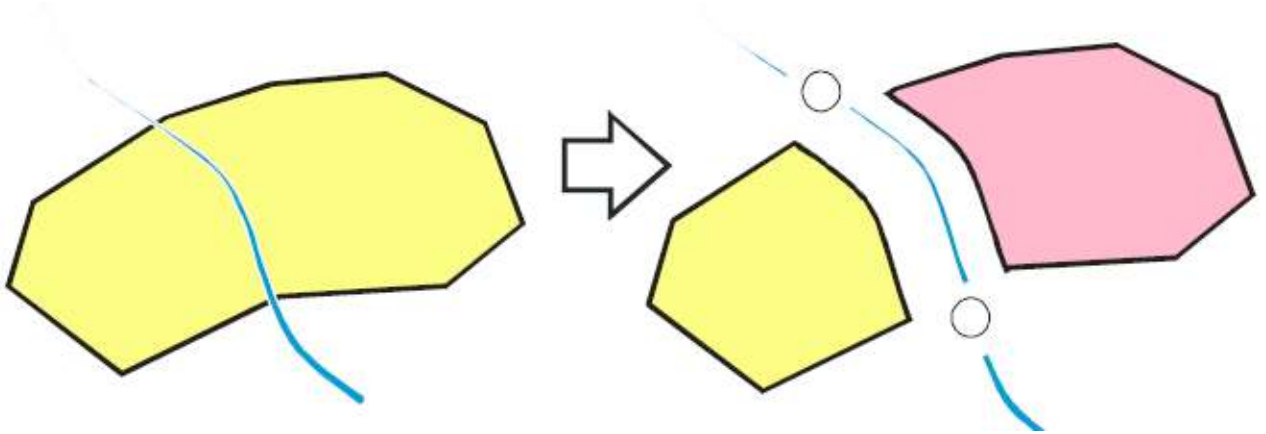


Рисунок 8 – Декомпозиция объектов в линейно-узловой модели данных.

Один из вариантов структуры данных в линейно-узловой модели (другое название – цепочно-узловая структура) приведён на рисунке 9.

Кроме глобального списка обобществлённых точек (узлов) имеется глобальный список обобществлённых линий. Следовательно, в самих структурах полигонов теперь хранятся только ссылки на описатели линий (рёбер), из которых состоит полигон. На общее ребро двух полигонов может быть много ссылок – ровно столько, сколько полигонов граничит между собой этим ребром. Структура, кодирующая линию, не содержит координат граничных точек, а имеет только ссылки на значения с координатами из глобального списка точек.

Линейно-узловая топология – это достаточно эффективная для пространственного анализа модель данных, но она не может эффективно работать с динамическими объектными картами. Её также нельзя использовать для объектного моделирования.

Внутриобъектные топологические отношения. Уже из названия следует, что главным понятием в такой модели данных являются некие ОБЪЕКТЫ. Практически сразу разработчик определяет, что они должны быть:

- а) точечными (символы);
- б) линейными (связанная последовательность отрезков прямой);
- в) площадными (замкнутая полилиния).

Таким образом, в объектной модели данных первичен объект, который по определению сам по себе является целостным и топологичным. Объект не распадается, поскольку каждый тип объекта создаётся своей специфической операцией.

Объектная модель данных может решать задачи паспортизации объектов, изображённых на карте, и статистической обработки семантических данных с целью построения различных диаграмм.

Для множества кадастровых задач объектную модель данных с одной лишь внутриобъектной топологией использовать нерационально.

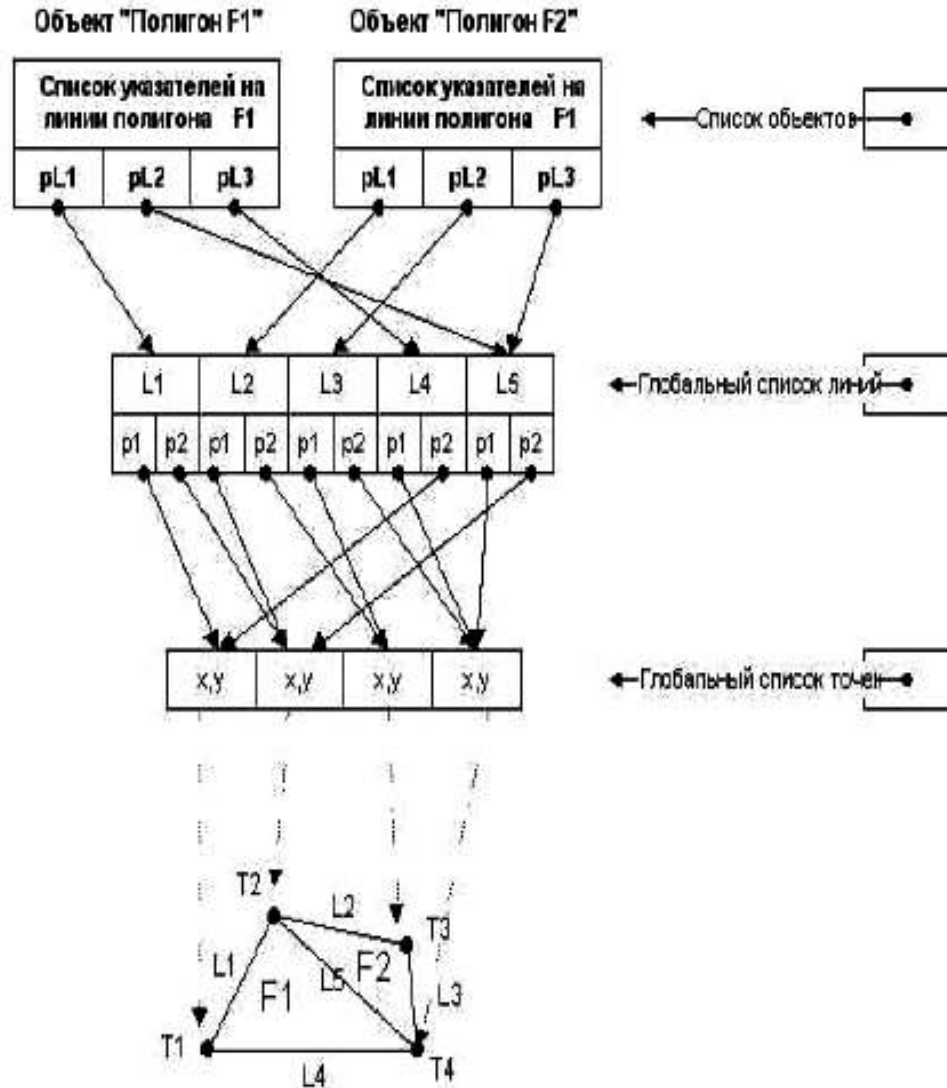


Рисунок 9 – Структура данных в линейно-узловой модели

На рисунке 10 показана внутренняя структура объектной модели данных для рагмента карты, где изображены два полигональных объекта (треугольники) с одной общей гранью. Каждый объект в памяти компьютера содержит непосредственно в относящейся к нему структуре данных все координаты (x,y) вершин.

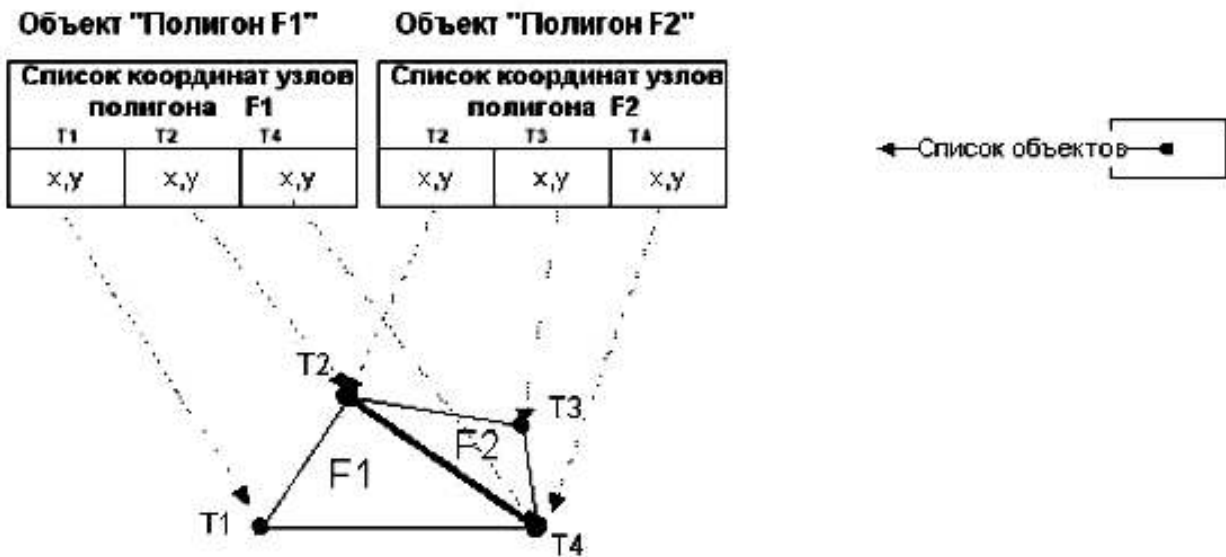


Рисунок 10 – Структура данных объектной ГИС

Межобъектные топологические отношения. Узловая топология. Узловая топология является простейшим видом межобъектных топологических отношений.

Все точки, которые есть на карте (безотносительно, каким объектам они принадлежат), собраны в один гигантский список, а каждый объект содержит в своей индивидуальной структуре данных только ссылки на те точки из этого списка, которые обозначают его вершины (рисунок 11).

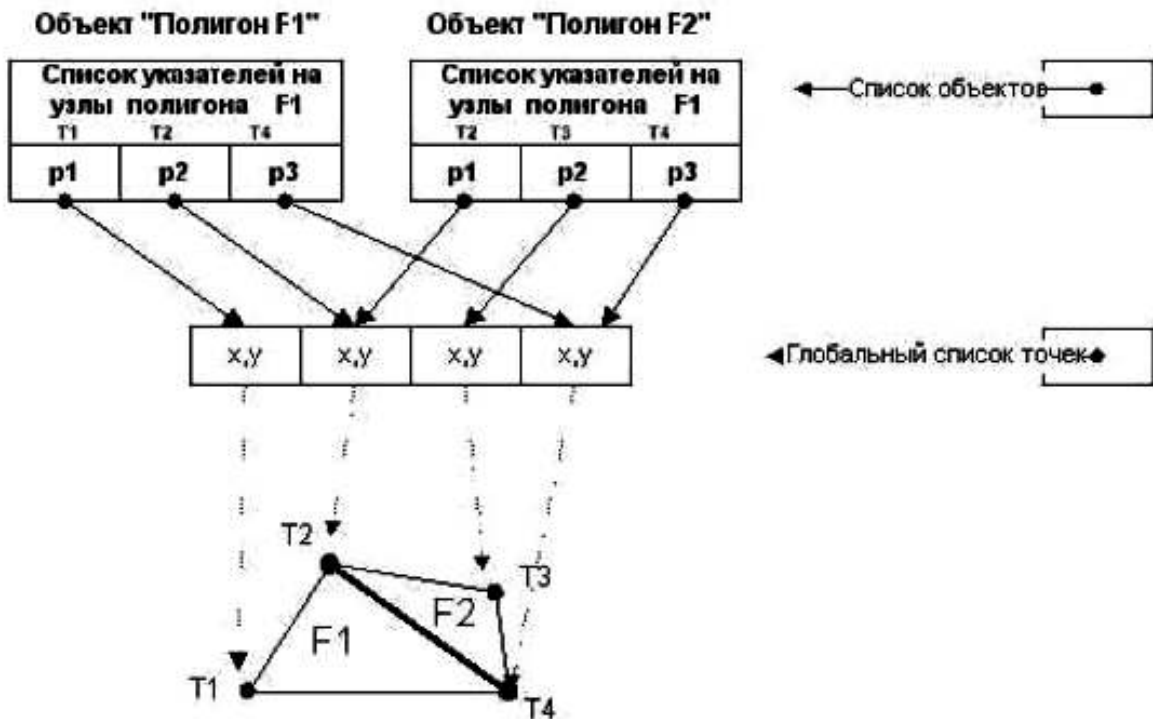


Рисунок 11 – Структура данных с узловой топологией

Единый глобальный список координат точек позволяет сэкономить на дублях координат точек, т.к. этих дублей теперь нет. Есть всегда только один экземпляр координат каждой точки. Ссылки во внутренних структурах объектов, относящиеся к вершинам, могут адресоваться к этим общим точкам одновременно из нескольких полигонов-соседей (на карте).

Однако обобществленный список точек для всех объектов лишил объекты структурной автономности, и теперь при перемещении всего объекта или его части приходится проверять, не имеет ли объект общих точек с другими объектами.

Топологические межобъектные отношения. Модель данных объектная, но с возможностью установления любых необходимых топологических и потоковых связей между объектами. На рисунке 12 приведена внутренняя структура двух расположенных рядом простых полигональных объектов. Однако теперь она дополнена таблицей, в которой зарегистрированы топологические отношения между объектами (за счёт ссылок на их топологически связанные части).

При объединении топологического и объектного подходов цифровая карта приобретает все свойства и топологических, и объектных цифровых карт, рассматриваемых в «чистом» виде, и, кроме того, дополнительно может реализовать то, что указанные структуры на сегодня реализовать не могут.

Объектно-топологическая ГИС позволяет реализовать любые другие типы топологических и нетопологических отношений. Для этого она должна только заполнять поле «тип отношения» в таблице отношений и реализовывать соответствующие операции. Так можно охватить и традиционные топоотношения, и концептуальные топоотношения, и динамические топоотношения, и топологические ресурсные связи.

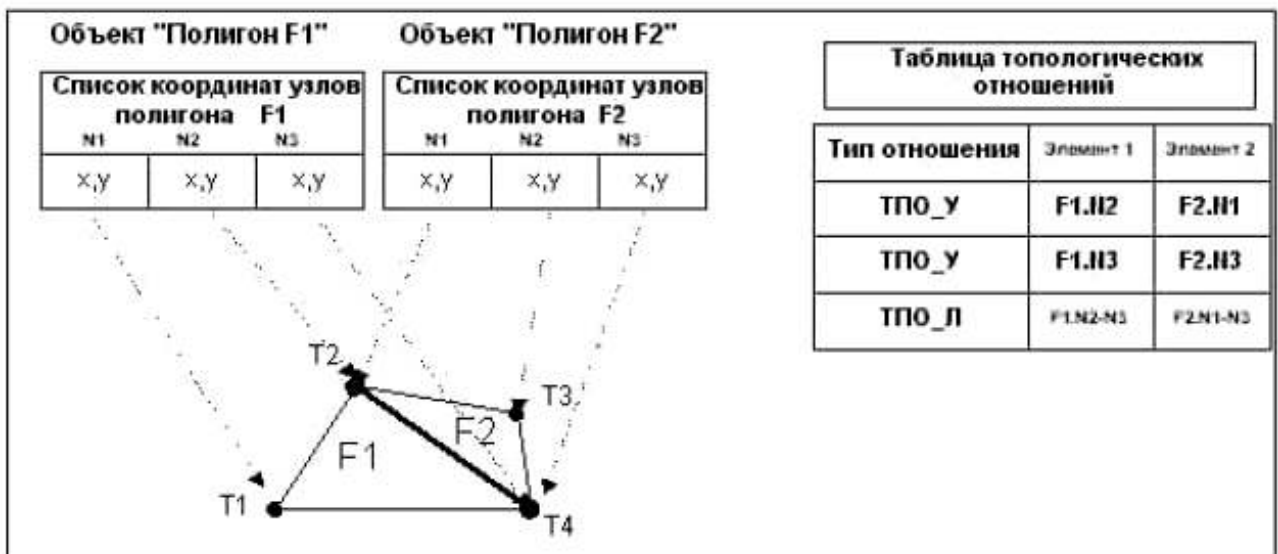


Рисунок 12 – Структура данных объектно-топологической ГИС

Объектно-топологическая ГИС позволяет создавать карты как в соответствии с нетопологическим объектным подходом (если не создавать топологические связи), так с установкой традиционных топологических пространственных отношений между объектами.

Межслойные топологические отношения между объектами. Межслойные топоотношения – это топологические пространственные отношения между объектами разных типов, которые обычно регистрируются в разных слоях карты.

Без этого нельзя моделировать физические процессы в коммуникациях. Объекты слоя «водопроводные трубы» не удаётся соединить с объектами слоя кирпичных домов, объектам слоя водоисточников, электрических подстанций и т.д.

Топологические межобъектные ресурсные связи. Традиционное манипулирование термином «топоотношения» позволяет манипулировать только статическими бинарными отношениями соседства, вложенности, примыкания к границе и т.п.

Однако для анализа не только пространственного распределения некоторых характеристик, но и движения ресурсных потоков через объекты, которые нарисованы на карте, необходимо понятие топологических пространственных ресурсных связей.

Топологические пространственные ресурсные связи (ТПС) – это такие пространственные топологические отношения, которые кроме обозначения пространственных топоотношений несут дополнительную функциональную «нагрузку» – отражают расположение в пространстве реальных физических каналов передачи вещественных, энергетических и информационных ресурсов через границы объектов, отражаемых на цифровой карте. Другими словами, ТПС отражают ресурсные потоки на территории города и являются основой, например, для представления топологии моделей сетевых коммуникаций, в которых протекают физические процессы. ТПС устанавливаются, разрываются или преобразуются в топологические пространственные отношения (ТПО) либо явным образом самим оператором, либо динамически моделирующими программами, работающими среде ГИС.

Концептуальные топологические отношения. В объектно-ориентированных системах мы имеем дело не только с экземплярами объектов, но и с их классами, причем эти классы связаны в многоуровневые конструкции путем реализации механизма наследования свойств.

Для объектно-ориентированных ГИС можно ввести понятие **концептуальных топологических отношений (КТО)**, распространяющих топологические отношения на классы объектов. В пределе, когда осуществляется переход от класса (т.е. множества однотипных объектов) к их экземплярам, **КТО** вырождаются в традиционные топологические отношения. **КТО** образуют многоуровне-

вую систему, поскольку определяют связи между классами, также образующими многоуровневые конструкции.

КТО представляют собой систему «разрешительных» или «запретительных» отношений между классами объектов, например объекты класса «здания» не могут накладываться на объекты классов «лес» или «река», объект класса «энергетическая подстанция» должен быть топологически связан с объектом соответствующей кабельной сети (рисунок 13).

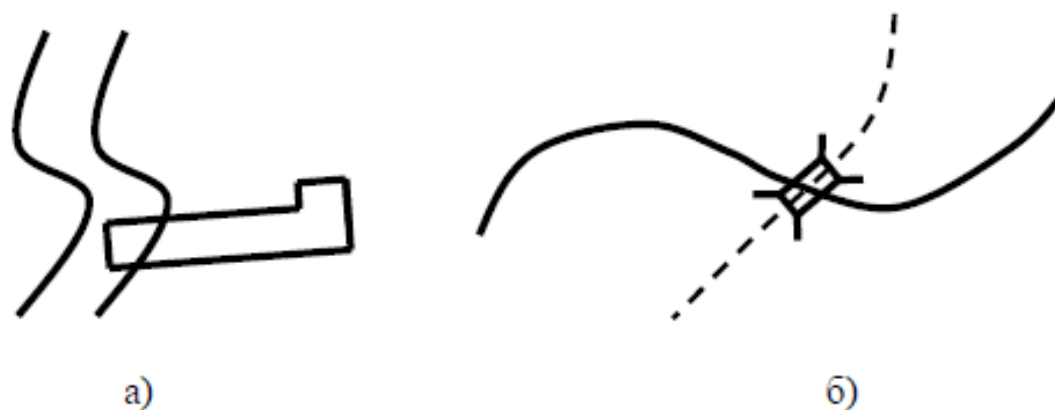


Рисунок 13 – Примеры концептуальных топологических отношений

- а) Недопустимые отношения. Объект класса «здания» не может пересекаться с объектом класса «реки»;*
- б) Допустимые отношения. Объект класса «дороги» может пересекать объект класса «реки» при наличии в точке пересечения объекта класса «мосты».*

Задание подобных отношений между классами позволяют ГИС непрерывно следить за действиями пользователя и давать ему рекомендации непосредственно в процессе создания электронной карты.

Наряду с **КТО** в ГИС могут устанавливаться логические отношения между объектами и классами объектов, которые не имеют отношения к пространственным связям.

Псевдотопология. Виртуальная или процедурная топология – это использование топологических свойств пространства и анализа взаиморасположения группы объектов для формирования временной (внутренней) топологической конструкции, образуемой этими объектами.

Многие операции, требующие обработки топологии, на самом деле локальные, т.е. проводятся не над всей картой, а над её фрагментом. Поэтому топологию нужно будет построить перед аналитической или редактирующей операцией только для того участка, где требуется провести анализ. Такое построение топологии называется построением традиционной пространственной топологии «на лету».

Большинство операций, требующих наличие топологических структур, могут быть реализованы процедурно.

У методов виртуальной топологии есть существенное методологическое ограничение.

Так, процедурным путём в общем случае нельзя навести топологические ресурсные связи между объектами, поскольку этот вид топологии (ТПС) определяется не только пространственной составляющей, и для получения ТПС недостаточно только анализа взаимного пространственного расположения объектов. Они связаны в соответствии со схемой ресурсных потоков.

Вопросы для повторения и самоконтроля

1. Дайте определение топологии.
2. Какие существуют топологические отношения?
3. Что такое линейно-узловые топологические отношения?
4. Что такое внутриобъектные топологические отношения?
5. Что такое межобъектные топологические отношения?
6. Что такое узловые топологические отношения?
7. Что такое межобъектные топологические отношения в пределах одного слоя и межслойные топологические отношения между объектами?
8. Что такое топологические межобъектные ресурсные связи?
9. Что такое концептуальные топологические отношения?
10. Дайте определение псевдотопологии.

7 АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

7.1 Задачи пространственного анализа

7.2 Основные функции пространственного анализа данных

7.3 Анализ пространственного распределения объектов

7.1 Задачи пространственного анализа

К средствам пространственного анализа относятся различные процедуры манипулирования пространственными и атрибутивными данными, выполняемые при обработке запросов пользователя. (Например, операции наложения графических объектов, средства анализа сетевых структур или выделения объектов по заданным признакам).

Для каждого ГИС-пакета характерен свой набор средств пространственного анализа, обеспечивающий решение специфических задач пользователя, в тоже время можно выделить ряд основных функций, свойственных практически каждому ГИС-пакету. Это, прежде всего, организация выбора и объединения объектов в соответствии с заданными условиями, реализация операций вычислительной геометрии, анализ наложений, построение буферных зон, сетевой анализ.

7.2 Основные функции пространственного анализа данных

Выбор объектов по запросу: самой простой формой запроса является получение характеристик объекта указанного курсором на экране и обратная операция, когда изображаются объекты с заданными атрибутами. Более сложные запросы позволяют выбирать объекты по нескольким признакам, например по признаку удаленности одних объектов от других, совпадающие объекты, но расположенные в разных слоях и т. д.

Для выбора данных в соответствии с определенными условиями используются SQL- запросы. Для выполнения запросов разной сложности реализованы возможности использования при составлении запросов математических и статистических функций, а также географических операторов, позволяющих выбирать объекты на основании их взаимного расположения в пространстве (например, находится ли анализируемый объект внутри другого объекта или пересекается с ним).

Обобщение данных может проводиться по равенству значений определенного атрибута, в частности для зонирования территории. Еще один способ группировки – объединение объектов одного тематического слоя в соответствии с их размещением внутри полигональных объектов других тематических слоев.

Геометрические функции: к ним относят расчеты геометрических характеристик объектов или их взаимного положения в пространстве, при этом используются формулы аналитической геометрии на плоскости и в пространстве. Так для площадных объектов вычисляются занимаемые ими площади или периметры границ, для линейных - длины, а также расстояния между объектами и т.д.

Оверлейные операции (топологическое наложение слоев) являются одними из самых распространенных и эффективных средств. В результате наложения двух тематических слоев образуется другой дополнительный слой в виде графической композиции исходных слоев. Учитывая, что анализируемые объекты могут относиться к разным типам (точка, линия, полигон), возможны разные формы анализа: точка на точку, точка на полигон и т.д. Наиболее часто анализируется совмещение полигонов.

Построение буферных зон. Одним из средств анализа близости объектов является построение буферных зон. Буферные зоны – это районы (полигоны), граница которых отстоит на заданном расстоянии от границы исходного объекта. Границы таких зон вычисляются на основе анализа соответствующих атрибутивных характеристик. При этом ширина буферной зоны может быть как постоянной, так и переменной. Например, буферная зона вокруг источника электромагнитного излучения, будет иметь форму круга, а зона загрязнения от дымовой трубы завода с учетом розы ветров будет иметь форму близкую к эллипсу.

Сетевой анализ позволяет пользователю проанализировать пространственные сети связанных линейных объектов (дороги, ЛЭП и т. д.). Обычно сетевой анализ служит для задач определения ближайшего, наиболее выгодного пу-

ти, определения уровня нагрузки на сеть, определение адреса объекта или маршрута по заданному адресу и другие задачи.

7.3 Анализ пространственного распределения объектов.

Анализ пространственного распределения объектов. Фактически во многих случаях необходимо знать не только объем пространства, занимаемый объектами, но и расположение объектов в пространстве, которое может характеризоваться количеством объектов в определенной области, например, распределение численности населения. Наиболее распространены методы анализа **распределения точечных объектов**. Мерой точечного распределения служит плотность. Она определяется как результат деления числа точек на значение площади территории, на которой они расположены. Кроме плотности распределения можно оценить форму распределения. Точечные распределения встречаются в одном из четырех возможных вариантов: равномерном (если число точек в каждой малой подобласти такое же, как и в любой другой подобласти), регулярном (если точки, разделённые одинаковыми интервалами по всей области, расположены в узлах сетки), случайном, кластерном (если точки собраны в тесные группы).

Точечные распределения могут описываться не только количеством точек в пределах подобластей. Часто анализируются локальные отношения внутри пар точек. Вычисление этого статистического показателя включает определение среднего расстояния до ближайшей соседней точки среди всех возможных пар ближайших точек. Данный метод позволяет оценить меру разреженности точек в распределении.

Распределение линий также оценивается по плотности. Обычно вычисления выполняются для сравнения разных географических областей, например по густоте гидрографической сети. Линии могут также оцениваться по близости и возможным пересечениям. Другими важными характеристиками являются ориентация, направленность и связанность.

Анализ **распределения полигонов** подобен анализу распределения точек, однако при оценке плотности определяют не количество полигонов на единицу площади, а относительную долю площади, занимаемой полигоном.

Вопросы для повторения и самоконтроля

1. Назовите основные задачи пространственного анализа.
2. Назовите основные функции пространственного анализа данных.
3. Как происходит Анализ пространственного распределения объектов?

8 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ

8.1 Поверхность и цифровая модель

8.2 Источники данных для формирования ЦМР

8.3 Интерполяции

8.1 Поверхность и цифровая модель

Основой для представления данных о земной поверхности являются цифровые модели рельефа.

Поверхности – это объекты, которые чаще всего представляются значениями высоты Z , распределенными по области, определенной координатами X и Y .

Цифровые модели рельефа (ЦМР) используют для компьютерного представления земных поверхностей.

ЦМР – средство цифрового представления рельефа земной поверхности.

Построение ЦМР требует определённой формы представления исходных данных (набора координат точек X, Y, Z) и способа их структурного описания, позволяющего восстанавливать поверхность путем интерполяции или аппроксимации исходных данных.

8.2 Источники данных для формирования ЦМР

Исходные данные для формирования ЦМР могут быть получены по картам – цифрованием горизонталей, по стереопарам снимков, а также в результате геодезических измерений или лазерного сканирования местности. Наиболее распространен первый способ, т.к. сбор по стереопарам снимков отличается трудоемкостью и требует специфического программного обеспечения, но в то же время позволяет обеспечить желаемую степень детальности представления земной поверхности. Лазерное сканирование перспективный современный метод, пока достаточно дорогой.

8.3 Интерполяции

Построение ЦМР требует определенной *структуры данных*, а исходные точки могут быть по разному распределены в пространстве. Сбор данных может осуществляться по точкам регулярной сетки, по структурным линиям рельефа или хаотично. Первичные данные с помощью тех или иных операций приводят к одному из наиболее распространенных в ГИС структур для представления поверхностей: GRID, TIN или TGRID.

TIN (Triangulated Irregular Network) – нерегулярная триангуляционная сеть, система неперекрывающихся треугольников. Вершинами треугольников являются исходные опорные точки. Рельеф в этом случае представляется многогранной поверхностью, каждая грань которой описывается либо линейной

функцией (полиэдральная модель), либо полиномиальной поверхностью, коэффициенты которой определяются по значениям в вершинах граней треугольников. Для получения модели поверхности нужно соединить пары точек ребрами определенным способом, называемым триангуляцией Делоне (рисунок 14).

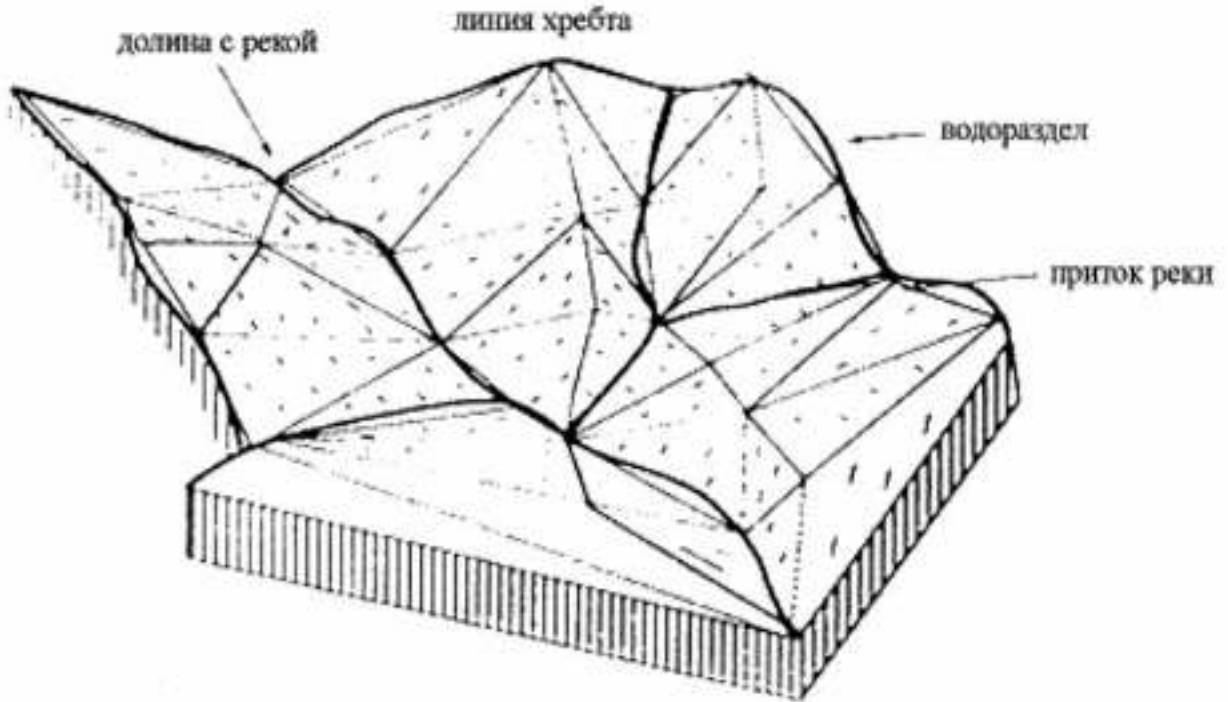


Рисунок 14 – TIN модель.

Триангуляция Делоне в приложении к двумерному пространству формулируется следующим образом: система взаимосвязанных не перекрывающихся треугольников имеет наименьший периметр, если ни одна из вершин не попадает внутрь ни одной из окружностей, описанных вокруг образованных треугольников (рисунок 15).

Образовавшиеся треугольники максимально приближаются к равносторонним. Каждая из сторон образовавшихся треугольников из противоположной вершины видна под максимальным углом из всех возможных точек соответствующей полуплоскости. Интерполяция выполняется по образованным ребрам.

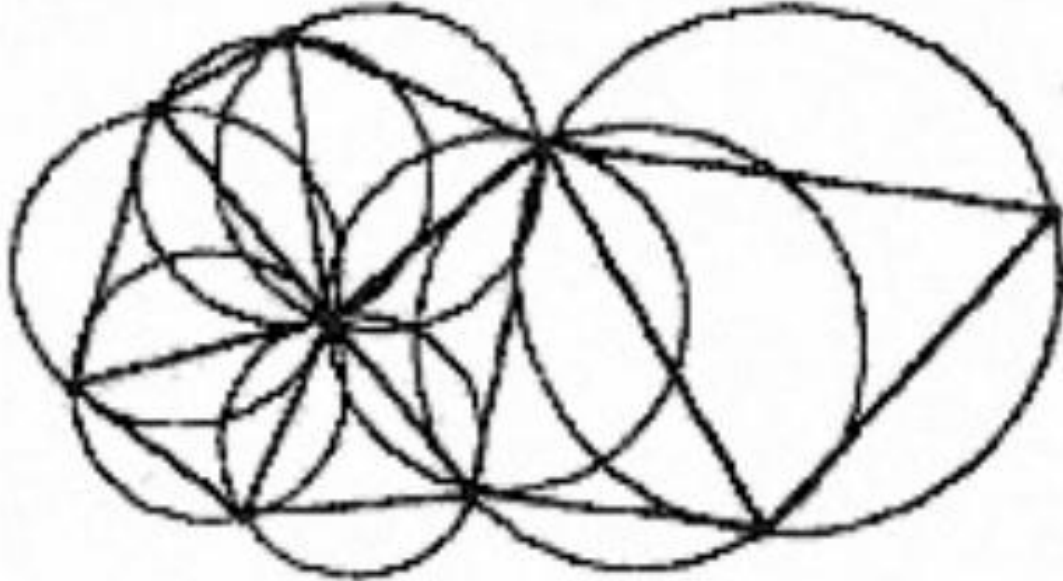


Рисунок 15 – Триангуляция Делоне

Отличительной особенностью и преимуществом триангуляционной модели является то, что в ней нет преобразований исходных данных. С одной стороны, это не дает использовать такие модели для детального анализа, но с другой стороны, исследователь всегда знает, что в этой модели нет привнесенных ошибок, которыми грешат модели, полученные при использовании других методов интерполяции. Это самый быстрый метод интерполяции. Однако, если в ранних версиях большинства ГИС триангуляционный метод был основным, то сегодня большое распространение получили модели в виде регулярной матрицы значений высот.

GRID – модель, представляет собой регулярную матрицу значений высот, полученную при интерполяции исходных данных. Для каждой ячейки матрицы высота вычисляется на основе интерполяции. Фактически это сетка, размеры которой задаются в соответствии с требованиями точности конкретной решаемой задачи. Регулярная сетка соответствует земной поверхности, а не изображению (рисунок 16).

TGRID (triangulated grid) – модель, сочетающая в себе элементы моделей TIN и GRID. Такие модели имеют свои преимущества, например, позволяют использовать дополнительные данные для описания сложных форм рельефа (обрывы, скальные выступы).

Восстановление поверхностей реализуется на основе интерполяции исходных данных.

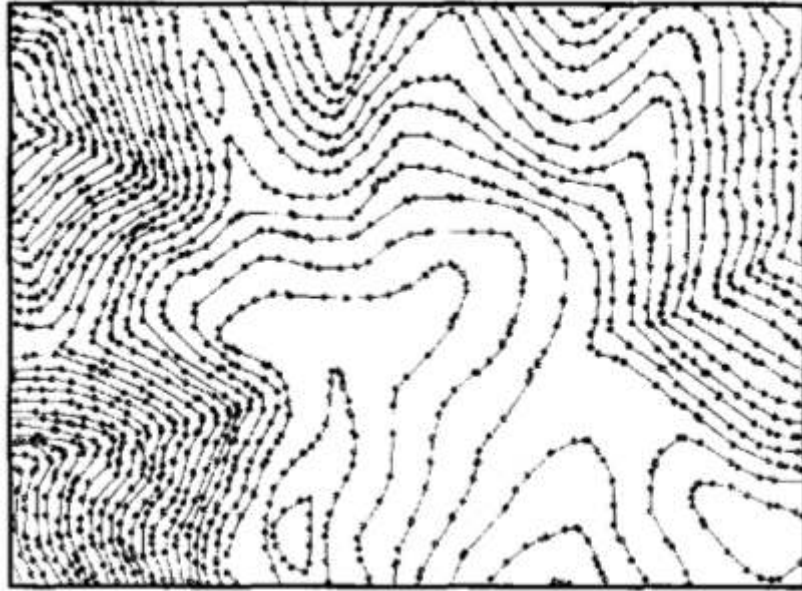


Рисунок 16 – Плотность точек в модели GRID

Интерполяция – восстановление функции на заданном интервале по известным ее значениям конечного множества точек, принадлежащих этому интервалу.

В настоящее время известны десятки методов интерполяции поверхностей, **наиболее распространенные:**

- **линейная интерполяция;**
- **метод обратных взвешенных расстояний, кригинг;**
- **сплайн-интерполяция;**
- **тренд-интерполяция.**

Кригинг. Метод интерполяции, который основан на использовании методов математической статистики. В его реализации применяется идея регионализованной переменной, т.е. переменной, которая изменяется от места к месту с некоторой видимой непрерывностью, поэтому не может моделироваться только одним математическим уравнением. Поверхность рассматривается в виде трех независимых величин. Первая - тренд, характеризует изменение поверхности в определенном направлении. Далее предполагается, что имеются небольшие отклонения от общей тенденции, вроде маленьких пиков и впадин, которые являются случайными, но все же связанными друг с другом пространственно.

Случайный шум (например, валуны). С каждой из трех переменных надо оперировать в отдельности. Тренд оценивается с использованием математического уравнения, которое наиболее близко представляет общее изменение поверхности, во многом подобно поверхности тренда.

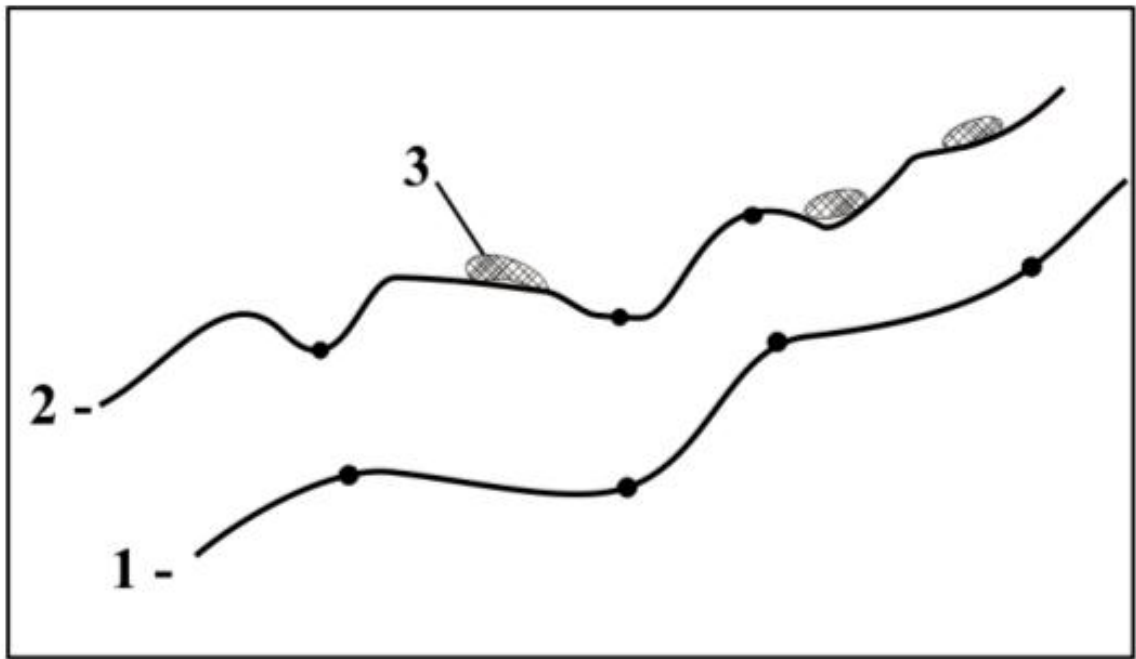


Рисунок 17 – Элементы кригинга:

1 - тренд, 2 - случайные, но пространственно связанные высотные колебания, 3 - случайный шум.

Ожидаемое изменение высоты измеряется по вариограмме, на которой по горизонтальной оси откладывается расстояние между отсчетами, а на вертикальной - полудисперсия. Полудисперсия определяется как половина дисперсии между значениями высоты исходных точек и высот соседних точек. Затем через точки данных проводится кривая наилучшего приближения. Дисперсия в какой-то момент достигает максимума и остается постоянной (выявляется предельный радиус корреляции).

Метод обратных взвешенных расстояний. Этот метод основан на предположении, что чем ближе друг к другу находятся исходные точки, тем ближе их значения. Для точного описания топографии набор точек, по которым будет осуществляться интерполяция, необходимо выбирать в некоторой окрестности определяемой точки, так как они оказывают наибольшее влияние на ее высоту. Это достигается следующим образом. Вводится максимальный радиус поиска или количество точек, ближайших по расстоянию от начальной (определяемой) точки. Затем значению высоты в каждой выбранной точке задается вес, вычисляемый в зависимости от квадрата расстояния до определяемой точки. Этим достигается, чтобы более близкие точки вносили больший вклад в определение интерполируемой высоты по сравнению с более удаленными точками.

Тренд интерполяция. В некоторых случаях исследователя интересуют общие тенденции поверхности, которые характеризуются поверхностью тренда.

Аналогично методу обратных взвешенных расстояний для поверхности тренда используется набор точек в пределах заданной окрестности. В пределах каждой окрестности строится поверхность наилучшего приближения на основе математических уравнений, таких как полиномы или сплайны.

Поверхности тренда могут быть плоскими, показывая общую тенденцию или более сложными. Тип используемого уравнения или степень полинома определяет величину волнистости поверхности. Например, поверхность тренда первого порядка будет выглядеть как плоскость, пересекающая под некоторым углом всю поверхность. Если поверхность имеет один изгиб, то такую поверхность называют поверхностью тренда второго порядка.

Сплай-интерполяция. Возможность описания сложных поверхностей с помощью полиномов невысоких степеней определяется тем, что при сплайн-интерполяции вся территория разбивается на небольшие непересекающиеся участки. Аппроксимация полиномами осуществляется отдельно для каждого участка. Обычно используют полином третьей степени - кубический сплайн. Затем строится общая функция «склейки» на всю область, с заданием условия непрерывности на границах участков и непрерывности первых и вторых частных производных, т.е. обеспечивается гладкость склеивания полиномов.

Сглаживание сплайн-функциями особенно удобно при моделировании поверхностей, осложненных разрывными нарушениями, и позволяет избежать искажения типа «краевых эффектов».

Вопросы для повторения и самоконтроля

1. Дайте определения поверхностям.
2. Что такое цифровые модели рельефа (ЦМР)?
3. Основные модели ЦМР.
4. Назовите основные методы интерполяции.
5. Что такое линейная интерполяция?
6. Охарактеризуйте метод обратных взвешенных расстояний.
7. Что такое кригинг?
8. Что такое сплайн-интерполяция?
9. Что такое тренд-интерполяция?

9 ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА

9.1 Основные процессы

9.2 Требования к точности выполнения процессов

9.3 Использование ЦМР

9.1 Основные процессы

Основными процессами построения ЦМР по картам являются:

1) **Преобразование исходных карт в растровые изображения, т.е. сканирование.** При сканировании важным является выбор разрешения получаемого изображения, излишне высокое разрешение требует больших объемов памяти для хранения исходной информации, в тоже время разрешение должно обеспечить необходимую точность сбора информации, которая определяется целями формирования ЦМР.

2) **Монтаж растровых фрагментов.** Монтаж или «сшивка» - это стыковка нескольких изображений произвольной формы в одно таким образом, чтобы границы между исходными изображениями были незаметны. При монтаже осуществляется геопривязка растровых данных. В ГИС имеются различные модули для решения этой задачи.

3) **Векторизация растрового изображения.** Векторизация, или дигитализация горизонталей может выполняться в ручном, полуавтоматическом и автоматическом режимах. Для различных ГИС разработаны отдельные модули, реализующие эту задачу в автоматических режимах, например, Map Edit.

4) **Формирование ЦМР.** ЦМР создается на основе методов интерполяции и может быть представлена в разных форматах.

5) **Визуализация результатов.** ЦМР обеспечивает визуализацию информации о поверхностях в разных формах.

9.2 Требования к точности выполнения процессов

В общем случае можно сказать, что чем больше исходных точек, тем более точной будет интерполяция и тем с большей вероятностью построенная модель поверхности будет адекватно отображать земную поверхность. Однако, существует предел числу точек (дискретности), поскольку для любой поверхности излишнее количество точек обычно не улучшает существенно качество результата, но лишь увеличивает объем данных и время вычислений. В некоторых случаях избыточные данные в отдельных областях могут приводить к неравномерному представлению поверхности и, следовательно, неодинаковой точности. Другими словами, большее число точек не всегда повышает точность.

Конечно, чем сложнее поверхность, тем больше исходных точек требуется. А для сложных объектов, таких как впадины и долины рек, требуются дополни-

тельные точки, чтобы гарантировать представление с достаточной детальностью. Особая проблема интерполяции точек на границе исследуемых областей, например, граница листа карты. В этом случае следует для интерполяции использовать большую область перекрытия соседних листов.

9.3 Использование ЦМР

Цифровые модели рельефа (ЦМР) важны для решения целого ряда прикладных экологических задач. Для прогнозирования чрезвычайных ситуаций, например наводнений, оценки степени изменения ландшафтов и т.д.. По результатам анализа ЦМР средствами ГИС получают карты углов наклона (уклонов) местности и экспозиций склонов, формируют продольные и поперечные профили по заданному направлению, выполняют оценку зон видимости с намеченных точек обзора и др. Для отображения ЦМР используют разные формы.

Вопросы для повторения и самоконтроля

1. Охарактеризуйте основные процессы построения ЦМР по картам.
2. Перечислите требования к точности выполнения процессов.
3. Для чего необходимы цифровые модели рельефа?

10 МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ВИЗУАЛИЗАЦИИ

10.1 Электронные карты и атласы

10.2 Картографические способы отображения результатов анализа данных

10.3 Трехмерная визуализация

10.1 Электронные карты и атласы

Визуализация (графическое воспроизведение, отображение) – генерация изображений, в том числе и картографических, и иной графики на устройствах отображения (преимущественно на мониторе) на основе преобразования исходных цифровых данных с помощью специальных алгоритмов.

Наиболее компактными и привычным способом представления географической информации остаются карты.

Электронная карта (ЭК) – картографическое изображение, визуализированное на мониторе, на основе цифровых карт или баз данных ГИС.

Электронный атлас (ЭА) – система визуализации в форме электронных карт, электронное картографическое произведение, функционально подобное электронной карте. Поддерживаются программным обеспечением типа картографических браузеров, обеспечивающих покадровый просмотр растровых изображений карт, картографических визуализаторов, систем настольного кар-

тографирования. Помимо картографического изображения и легенд электронные атласы обычно включают обширные текстовые комментарии, табличные данные, а мультимедийные электронные атласы – анимацию, видеоряды и звуковое сопровождение.

Таблицы и графики, включающие различные характеристики объектов (атрибуты) или их соотношения, могут использоваться как самостоятельные или дополнительные к другим средствам визуализации.

Анимации применяют для показа динамических процессов, т.е. последовательный показ рисованных статичных изображений (кадров), в результате чего создается иллюзия непрерывной смены изображений.

10.2 Картографические способы отображения результатов анализа данных

Для отображения результатов анализа данных в ГИС реализованы ряд способов, которые применяют при создании тематических карт.

Способ размерных символов (значков) – анализируемые характеристики объектов отображаются специальными символами, размер которых передаёт количественную информацию, а форма и цвет качественную информацию.

Способ качественного или (количественного фона) – в этом случае группируются данные с близкими значениями и созданным группам присваиваются определенные цвета, типы символов или линий.

Точечный способ – изобразительным средством является множество точек одинакового размера, каждая из которых имеет определенное значение количественного показателя.

Столбчатые и круговые локализованные диаграммы – позволяют отобразить соотношение нескольких характеристик, при этом диаграммы имеют географическую привязку (например, в точке размещения поста наблюдений показывают соотношение загрязняющих веществ).

Способ изолиний – один из широко распространённых способов отображения различных показателей. С их помощью формируют карты изогипс (топографические и гипсометрические), карты изотерм, изобар, изокоррелят и др. С помощью изолиний выделяются территории, которые характеризуются одинаковыми свойствами (температурами, давлением, осадками, одновременностью наступления событий, равной величиной аномалий, равными скоростями тектонических движений и др.).

При этом **различают две группы изолиний**: истинные изолинии (характеризуют непрерывное изменение какого-либо показателя, к ним относятся горизонтали) и псевдоизолинии, отображающие данные, имеющие статистическую природу (например, дискретные значения от источников выбросов). Для представления изолиний применяют разные изобразительные средства: линии раз-

ных типов, толщины и цвета, послойная цветовая окраска фона (либо штриховка) промежутков между изолиниями.

10.3 Трехмерная визуализация

Трехмерное изображение поверхности (3D-поверхность) – средство цифрового объемного представления поверхностей в виде проволочных диаграмм, при этом используются различные типы проекции, при этом изображение можно поворачивать и наклонять, используя простой графический интерфейс.

Для отображения рельефа по данным ЦМР могут быть сформированы растровые изображения.

Растровая поверхность (изображение) - формируется по Grid-модели, при этом каждому пикселю присваивается значение, пропорциональное высоте соответствующей ячейки сетки.

Теневой рельеф (аналитическая отмывка рельефа) - растровое отображение ЦМР, при формировании которого кроме высоты каждого участка сетки Grid-модели, учитывается освещенность склонов.

Реализованы возможности совмещения 3D - поверхностей с другими тематическими слоями. Для достижения реалистичности отображения объектов местности 3D-поверхности совмещаются с картографическими или ортоизображениями.

Виртуальная модель местности (ВММ) - модель местности, содержащая информацию о рельефе земной поверхности, ее спектральных яркостях и объектах, расположенных на данной территории, предназначена для интерактивной визуализации. ВММ позволяет обеспечить эффект присутствия на местности, может быть отображена в виде трехмерной статической сцены (3D-вид) или в режиме имитации полета над местностью, когда наблюдатель находится в точке с заданными координатами.

Вопросы для повторения и самоконтроля

1. Дайте определение визуализации.
2. Что такое электронные карты?
3. Что такое электронные атласы?
4. Перечислите картографические способы отображения результатов анализа данных.
5. Что такое трехмерное изображение поверхности?

11 ЭТАПЫ И ПРАВИЛА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИС

Применение ГИС для решения различных задач, в разных организационных схемах и с разными требованиями, обуславливает разные подходы к процессу проектирования ГИС.

Выделяют пять основных этапов процесса проектирования ГИС.

1 Анализ системы принятия решений. Процесс начинается с определения всех типов решений, для принятия которых требуется информация. Должны быть учтены потребности каждого уровня и функциональной сферы.

2 Анализ информационных требований. Определяется, какой тип информации нужен для принятия каждого решения.

3 Агрегирование решений, т.е. группировка задач, в которых для принятия решений требуется одна и та же или значительно перекрывающаяся информация.

4 Проектирование процесса обработки информации. На данном этапе разрабатывается реальная система сбора, хранения, передачи и модификации информации. Должны быть учтены возможности персонала по использованию вычислительной техники.

5 Проектирование и контроль над системой. Важнейший этап – это создание и воплощение системы. Оценивается работоспособность системы с разных позиций, при необходимости осуществляется корректировка. Любая система будет иметь недостатки, и поэтому её необходимо делать гибкой и приспособляемой.

Геоинформационные технологии призваны автоматизировать многие трудоёмкие операции, ранее требовавшие больших временных, энергетических, психологических и других затрат от человека. Однако разные этапы технологической цепочки поддаются большей или меньшей автоматизации, что в значительной степени может зависеть от правильной постановки исходных задач.

Прежде всего, это формулирование требований к используемым информационным продуктам и выходным материалам, получаемым в результате обработки. Сюда можно отнести требования к распечатке карт, таблиц, списков, документов; к поиску документов и т.д. В результате должен быть создан документ с условным названием «Общий список входных данных».

Следующий шаг – определение приоритетов, очередности создания и основных параметров (территориального охвата, функционального охвата и объёма данных) создаваемой системы. Далее устанавливают требования к используемым данным с учётом максимальных возможностей их применения.

Вопросы для повторения и самоконтроля

1. Охарактеризуйте основные этапы процесса проектирования ГИС.
2. Геоинформационные технологии и области их применения.

12 КРАТКИЙ ОБЗОР ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В РОССИИ

В России используются ГИС, как профессионального уровня, так и специализированные. Программные продукты формируются на основе модульного принципа. Обычно выделяют базовый модуль и модули расширения (или приложения). В базовом модуле содержатся функции, реализующие основные операции ГИС, в том числе программная поддержка устройств ввода-вывода, экспорт и импорт данных и т.д. Следует отметить, что программные продукты разных фирм имеют много общего, так как производители вынуждены заимствовать друг у друга те или иные технологические разработки. В настоящее время на рынке представлено около 20 хорошо известных ГИС-пакетов, которые можно отнести к полнофункциональным.

Характеризуя свойства полнофункциональных ГИС можно отметить их общие черты. Все системы работают на платформе Windows.

Все системы поддерживают обмен пространственной информацией (экспорт и импорт) со многими ГИС и САПР через основные обменные форматы.

Еще более однородными являются возможности по работе с атрибутивной информацией. Большинство систем обеспечивают работу со всеми основными СУБД через драйверы ODBC, BDE. Первой в ряду поддерживаемых или используемых СУБД стоит Oracle.

В преобладающем большинстве случаев современные полнофункциональные ГИС позволяют расширять свои возможности. Основным способом расширения возможностей является программирование на языках высокого уровня (MS Visual Basic, MS Visual C++, Borland Delphi, Borland C++ Builder) с подключением DLL и OCX-библиотек (ActiveX). Естественно имеются и исключения. Такие системы как MapInfo Professional используют Map Basic, а системы AricView GIS - Avenue.

Наиболее распространенными зарубежными системами по разным причинам являются ArcView GIS, MapInfo Professional, MicroStation/J. Аналогичный перечень отечественных систем возглавляют ГеоГраф, Панорама (Карта 2000), ПАРК, GeoLink.

Коротко охарактеризуем наиболее распространенные программные продукты, отмечая особенности и области применения.

ArcGIS ArcInfo (разработчик фирма ESRI, США). Полнофункциональная ГИС, состоящая из двух независимо устанавливаемых программных пакетов – ArcInfo Workstation и ArcInfo Desktop. Первый состоит из трех базовых модулей: ArcMap – отображение, редактирование и анализ данных, ArcCatalog – доступ к данным и управление ими, ArcToolbox – инструмент расширенного пространственного анализа, управление проекциями и конвертацией данных. Дополнительные модули обеспечивают решение следующих задач:

- Arc COGO – набор средств и функций для работы с геодезическими данными;
- Arc GRID – имеет мощный набор средств анализа и управления непрерывно распределенными числовыми и качественными признаками, представляемыми в виде регулярных моделей, а также моделирования сложных процессов;
- ARC TIN – предназначен для моделирования топографических поверхностей;
- Arc NETWORK – для моделирования и анализа топологически связанных объектов в виде пространственных сетей, оценки и управление ресурсами, распределенными по сетям, и процессами в таких сетях.

ArcInfo обеспечивает создание геоинформационных систем, создание и ведение земельных, лесных, геологических и других кадастров, проектирование транспортных сетей, оценку природных ресурсов.

ArcGIS ArcView (разработчик фирма ESRI, США). Настольная ГИС, которая предоставляет пользователю средства выбора и просмотра разнообразных геоданных, их редактирования, анализа и вывода (бизнес, наука, образование, управление, социология, демография, экология, транспорт, городское хозяйство).

Все продукты ArcGis могут использовать дополнительные модули для решения специализированных задач пространственного анализа:

- ArcGIS Spatial Analyst – программный модуль для работы с растровыми поверхностями. Позволяет анализировать характеристики поверхности, а также интерполировать пространственно распределенные данные для визуализации и анализа процессов;
- ArcGis 3D Analyst – программа для создания, визуализации и анализа трехмерных объектов и поверхностей;
- ArcGIS Geostatistical Analyst – новый модуль для интерполяции поверхностей на основе статистического анализа пространственно распределенных данных;
- ArcView поддерживает реляционные СУБД, имеет развитую деловую графику (форма просмотра, табличная форма, форма диаграмм, создание макета), предусматривает создание профессионально оформленной картографической информации и разработку собственных приложений.

MapInfo Professional (разработка фирмы MapInfo Corp.США), одна из самых распространенных настольных ГИС в России. MapInfo специально спроектирован для обработки и анализа информации, имеющей адресную или пространственную привязку.

В MapInfo реализованы:

- поиск географических объектов;
- работа с базами данных;
- геометрические функции: расчеты площадей, длин, периметров, объемов, заключенных между поверхностями;

- построение буферных зон вокруг любого объекта или группы объектов;
- расширенный язык запросов SQL, запросы основываются на выражениях, осуществляют объединение, отображают доступные поля, позволяют делать подзапросы, объединения из нескольких таблиц и географические объединения.
- компьютерный дизайн и подготовку к изданию картографических документов.

ГеоГраф (разработка Центра информационных исследований Института географии РАН, Россия). Дает возможность создавать электронные тематические атласы и композиции карт на основе слоев цифровых карт и связанных с ними таблиц атрибутивных данных. Основные возможности ГеоГраф следующие:

- создание пространственных объектов в виде косметических слоев с привязкой к ним таблиц атрибутивных данных;
- подсистема управления атрибутивными данными, включая подсоединение таблиц, редактирование, выборку, сортировку, запросы по образцу и т.д.
- электронное тематическое картографирование и др.

Панорама (Россия) Построение и обработка цифровых и электронных карт, ведение картографической и атрибутивной баз данных.

Отдельно следует выделить профессиональные многофункциональные инструментальные ГИС, обеспечивающие возможность непосредственной обработки данных ДЗ. К ним относятся ERDAS IMAGINE, ERMapper и др.

ER Mapper (разработка ER Mapper) Обработка больших объёмов фотограмметрической информации, тематическое картографирование (геофизика, природные ресурсы, лесное хозяйство). Точность, печать карт, визуализация трёхмерного изображения, библиотека алгоритмов.

ERDAS IMAGINE (разработка Leica) – программный пакет, разработанный специально для обработки и анализа данных дистанционного зондирования, предоставляет полный набор инструментов для анализа данных из любого источника и представление результатов в различных формах – от печатных карт до трехмерных моделей. ERDAS IMAGINE построен по модульному принципу в виде базовых комплектов – IMAGINE Essential, IMAGINE Advantage и IMAGINE Professional.

В ERDAS IMAGINE реализованы:

- широкие возможности по визуализации и импорту данных (поддерживает более 100 форматов);
- геометрическая коррекция;
- улучшающие преобразования и ГИС-анализ;
- дешифрирование снимков;
- инструменты обработки изображений и построение алгоритмов пространственных вычислений;
- создание карт.

Вопросы для повторения и самоконтроля

1. Какие отечественные программные средства, применяемые в ГИС вам известны?
2. Дайте их краткие характеристики.
3. Какие программные средства зарубежного производства, применяемые в ГИС вам известны? Дайте их краткие характеристики.

ЛИТЕРАТУРА

- 1) Беленков, О.В. Обмен пространственными данными / О.В. Беленков // Информационный бюллетень ГИС-ассоциации. – 1996. – № 3(5) – С. 36.
- 2) Берлянт, А.М. Картография: учебник для вузов / А.М. Берлянт. – Москва: Аспект Пресс, 2001.– 336 с.
- 3) Геоинформационное картографирование. Метаданные электронных карт. Состав и содержание / Государственный стандарт Российской Федерации (ГОСТ Р 51353–99). – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2000.
- 4) Капралов, Е.Г. Основы геоинформатики: учеб. пособие для студ. вузов / Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарёв, В.С. Тикунов и др. – Москва: Издательский центр «Академия», 2004.
- 5) Кошкарёв, А.В. Форматы и стандарты цифровой пространственной информации / А.В. Кошкарёв, А.Д. Сорокин // ГИС-обозрение. – 1995. – Весна. – С. 40–45.

Калинин Александр Александрович
кандидат технических наук, доцент

Бондаренко Анатолий Михайлович
доктор технических наук, профессор

Строгий Борис Николаевич
кандидат технических наук, доцент

Семенцов Михаил Николаевич
кандидат технических наук, доцент

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ **Курс лекций**

Учебное пособие

Редактор Н.А. Гончарова

Подписано в печать 27.10.2014.
Формат 60×84/16. Усл. п. л. 3,4. Тираж 20 экз. Заказ № 100.

РО и ОП Азово-Черноморского инженерного института
ФГБОУ ВПО «Донской государственный аграрный университет»
в г. Зернограде
347740, Зерноград, Ростовской области, ул. Советская, 15.

А.А. Калинин, А.М. Бондаренко, Б.Н. Строгий, М.Н. Семенцов

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Курс лекций

Учебное пособие

