

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

Н.А. Кащенко, Е.В. Попов, А.В. Чечин

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия

Нижегород
ННГАСУ
2012

ББК 26.8:32.81(я7)

К 31

УДК 91:681.3(07)

Рецензенты:

С. Н. Зудилин - доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой земледелия, почвоведения, агрохимии и земельного кадастра Самарской государственной сельскохозяйственной академии ;

В. П. Мазалов - кандидат технических наук, доцент кафедры геодезии и геоинформатики Государственного университета по землеустройству

Кашенко Н. А. Геоинформационные системы [Текст]: учебн. пос. для вузов / Н.А. Кашенко, Е.В. Попов, А.В. Чечин; Нижегород. гос. архитектур.- строит. ун-т – Н.Новгород: ННГАСУ, 2012. – 130 с. ISBN 978-5-87941-863-7

В учебном пособии представлены общие сведения о геоинформационных системах (ГИС), основные термины и понятия. Рассмотрены вопросы ввода/вывода данных, их оцифровки, способы представления пространственной и атрибутивной информации, приведены краткие характеристики основных ГИС, их преимущества и недостатки. Даны общие представления о программном обеспечении ГИС.

Основными целями настоящего учебного пособия являются ознакомление с основами геоинформационных технологий и обучение основным приемам подготовки исходной информации, ввода данных, создания и редактирования объектов.

Авторы выражают благодарность Панарину Р.В. за помощь при подготовке материалов.

Рекомендовано для студентов вузов, обучающихся по направлению «Землеустройство и кадастры». Учебное пособие может быть рекомендовано преподавателям вузов, а также студентам ИТ-специальностей и ряда специальностей инженерного профиля всех форм обучения.

ББК 26.8:32.81(я7)

ISBN 978-5-87941-863-7

© Коллектив авторов, 2012
© ННГАСУ, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Введение	6
Раздел 1. Геоинформационные системы и их классификация	8
1.1. Геоинформационные системы	9
1.2. Классификация ГИС	11
1.3. Подсистемы ГИС	13
1.4. История ГИС	15
Раздел 2. Растровая модель данных	23
2.1. Характеристики растровых моделей	24
2.2. Достоинства и недостатки растровых моделей	26
2.3. Методы сжатия растровых данных	26
Раздел 3. Векторная модель данных	31
3.1. Векторная модель данных	31
3.2. Пространственные предметы в ГИС	33
3.3. Векторные топологические модели	38
3.4. Сравнение растровой и векторной модели данных. Достоинства и недостатки	42
3.4.1. Точность координат	42
3.4.2. Представление территории и объектов местности	42
3.4.3. Хранение информации	43
Раздел 4. Ввод данных	46
4.1. Формы и устройства ввода данных	46
4.2. Ввод геоданных	51
4.3. Процедура векторизации	53
4.3.1. Регистрация растрового изображения	53
4.3.2. Создание слоёв	55
4.3.3. Векторизация	55
4.3.4. Сборка полигонов	56
4.3.5. Поиск и коррекция ошибок	57

4.3.6. Идентификация и ввод атрибутивных данных	58
4.4. Картографические проекции. Трансформация координат	59
4.4.1. Общие системы координат	59
4.4.2. Хранение координат в ГИС	61
4.4.3. Картографические проекции	61
4.4.4. Трансформация координат	63
Раздел 5. Атрибутивные базы данных	66
5.1. Основные элементы базы данных ГИС	66
5.2. Системы управления базами данных	68
5.3. Классификация БД	69
Раздел 6. Анализ и запросы в ГИС	74
6.1. Аналитические функции ГИС	74
6.2. Анализ объектов в ГИС	77
6.2.1. Анализ одного класса объектов	77
6.2.2. Анализ объектных пар	78
6.2.3. Анализ нескольких классов объектов	78
6.2.4. Формирование новых объектов	79
6.3. Типичные запросы	80
6.4. SQL-запросы	82
6.5. Оверлей. Пространственные запросы в ГИС	83
Раздел 7. Тематическое картографирование	87
7.1. Введение в тематическое картографирование	87
7.2. Качественный метод	88
7.3. Количественный метод	90
7.4. Картодиаграммы	91
7.5. Картографическая легенда	92
7.6. Библиотеки условных знаков и классификаторы	93
Раздел 8. Вывод данных	95
8.1. Формы и устройства вывода данных	95
8.2. Компоновка графического вывода	100

8.2.1. Типы выводимых данных	100
8.2.2. Картографическая основа	101
8.2.3. Общая графическая компоновка	102
8.2.4. Вывод карт на экране	103
8.2.5. Размещение надписей	103
Раздел 9. Поверхности в ГИС. Цифровая модель рельефа (ЦМР)	106
9.1. Виды цифровых моделей рельефа	107
9.2. Способы создания поверхностей в ГИС	111
9.3. Использование поверхностей при решении практических задач	113
Раздел 10. Автоматизация в ГИС	117
10.1. Макросы	117
10.2. Программные приложения	117
10.3. Основные элементы программного приложения (Application)	118
10.4. Структура программного приложения	121
10.5. Работа с графическими объектами и картой	121
10.6. Интерфейс пользователя	122
10.7. Программные компоненты	124
Заключение	126
Список литературы	128

ВВЕДЕНИЕ

Информатизация и развитие компьютерных технологий охватили все сферы жизни современного человека. В области современных технологий ведущую роль играют технологии, основанные на достижениях информатики, как комплекса наук и методов обработки, хранения, передачи информации. Не исключением является область обработки географической информации. Современная география и наука о Земле в основном полагаются на цифровые пространственные данные, полученные с помощью технологий дистанционного зондирования, обработанные и визуализированные с помощью специальных географических информационных систем (ГИС). В этой связи в информатике выделилось самостоятельное крупное направление – геоинформатика.

Геоинформатика известна как «наука о структуре и характере пространственной информации, ее извлечении, обработке и классификации, ее хранении, отображении и распространении, в том числе развитии инфраструктуры, необходимой для обеспечения оптимального использования этой информации» [12].

Наряду с понятием «Геоинформатика» часто используется также термин «Геоматика», который включает в себя геоинформатику. Геоматика в большей степени фокусируется на геодезии и межевании как науке о точном описании точек и линий, а также расстояний и углов между ними. Геоинформатика базируется на технологиях, поддерживающих процессы получения, анализа и визуализации пространственных данных.

Геоинформатика сочетает в себе ГИС для анализа и моделирования, разработки геопространственных баз данных, проектирование информационных систем, взаимодействие человека с компьютером и проводных и беспроводных сетевых технологий. Геоинформатика использует для анализа геоинформации вычисление и визуализацию географических данных.

Геоинформатика позволяет вывести на совершенно новый уровень развития многие отрасли деятельности, в том числе городское планирование и управление землепользованием, в автомобильных навигационных системах, здравоохранении,

местном и национальном управлении, экологическом моделировании и анализе, военном, транспортном сетевом планировании и управлении, сельском хозяйстве, метеорологии и мониторинге изменения климата, океанографии и моделировании атмосферных явлений, бизнес-планировании, архитектуре и археологической реконструкции, телекоммуникации, криминологии и борьбе с преступностью, в авиации и морском транспорте.

Важность пространственного анализа в оценке, мониторинге и моделировании различных вопросов и проблем, связанных с рациональным использованием природных ресурсов, признается во всем мире. Геоинформатика становится очень важной технологией для лиц, принимающих решения по широкому кругу вопросов в промышленности, коммерческом секторе, природоохранных ведомствах, местных и национальных органах власти, научно-исследовательских и академических кругах, национальных и межнациональных картографических организациях, международных организациях, Организации Объединенных Наций, аварийно-спасательных службах, здравоохранении и эпидемиологии, борьбе с преступностью, на транспорте, в отраслях информационных технологий, природоохранных органах управления, туристической отрасли, коммунальных предприятиях, при анализе рынка и электронной коммерции, разведки полезных ископаемых и т.д. Многие правительственные и неправительственные учреждения используют пространственные данные для управления своей повседневной деятельностью.

Раздел 1. ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Геоинформационные технологии и геоинформационные системы (ГИС) являются элементами всеобщей информатизации общества. Это заключается во внедрении ГИС и геоинформационных технологий в науку, производство, образование и применение в практической деятельности получаемой информации об окружающей реальности. Геоинформационные технологии являются новыми информационными технологиями, направленными на достижение различных целей, включая информатизацию производственно-управленческих процессов.

Геоинформационные системы (ГИС), являясь классом информационных систем, имеют свои особенности. Они построены с учетом закономерностей геоинформатики и методов, применяемых в этой науке. ГИС как интегрированные информационные системы предназначены для решения различных задач науки и производства на основе использования пространственно-локализованных данных об объектах и явлениях природы и общества. Геоинформационные технологии в свою очередь можно определить как совокупность программно-технологических средств получения новых видов информации об окружающем мире. Геоинформационные технологии предназначены для повышения эффективности: процессов управления, хранения и представления информации, обработки и поддержки принятия решений.

По своей сути ГИС относятся к классу автоматизированных информационных систем. Автоматизированной информационной системой (АИС) является организационно-техническая система, использующая автоматизированные информационные технологии в целях обучения, информационно-аналитического обеспечения научно-инженерных работ и процессов управления. С другой стороны, ГИС является интегрированной информационной системой. Интегрированные системы построены на принципах интеграции технологий различных систем. Они зачастую применяются настолько в разных областях, что их название не всегда определяет все их возможности и функции. По этой причине не следует связывать ГИС с решением задач только геодезии или географии. «Гео»

в названии геоинформационных систем и технологий определяет объект исследований, а не предметную область использования этих систем.

1.1. Геоинформационные системы

Геоинформационная система (ГИС) – это аппаратно-программный человеко-машинный комплекс, обеспечивающий сбор, обработку, отображение и распространение пространственно-координатных данных, интеграцию информации и знаний о территории для их эффективного использования при решении научных и прикладных задач, связанных с инвентаризацией, анализом, моделированием, прогнозированием, управлением окружающей средой и территориальной организацией общества [8].

Геоинформатика – это наука, технология и производственная деятельность по научному обоснованию, проектированию, созданию, эксплуатации и использованию географических информационных систем, по разработке геоинформационных технологий, по приложению ГИС для практических и научных целей. Геоинформатика является составной частью **геоматики**. Русский термин «геоинформатика» производный от терминов «гео» – от греч. γαια «земля» и «информатика» – иностранного заимствования, обозначающего научное направление, которое изучает теорию, методы и способы накопления, обработки и передачи данных, информации и знаний с помощью ЭВМ и других технических средств. Геоинформатика объединяет группу дисциплин, занимающихся различными аспектами применения и разработки вычислительных машин, куда обычно относят прикладную математику, **программирование, программное обеспечение, искусственный интеллект**, архитектуры ЭВМ и вычислительные сети [36].

Неотрывно с ГИС связаны геоинформационные технологии. Геоинформационные технологии можно определить как совокупность программно-технологических средств получения новых видов информации об окружающем мире. Геоинформационные технологии предназначены для повышения

эффективности: процессов управления, хранения и представления информации, обработки и поддержки принятия решений [37].

ГИС – это инструмент управления. Является общепризнанным, что географические данные составляют порядка 70 % объёма всей циркулирующей в ГИС информации [8]. ГИС позволяет принимать решения на основе географической информации. В отличие от других типов инструментов обработки информации ГИС понимает концепцию местоположения, так как базируется на информации, привязанной к координатам на карте, и позволяет представить её в графическом виде для интерпретации и принятия управленческих решений.

ГИС может использоваться для решения самых разнообразных аналитических задач, например: создание и распределение кадастровых кварталов, присвоение участкам новых кадастровых номеров в зависимости от их расположения и сопутствующей юридической информации.

В настоящее время ГИС используются местными властями, кадастровыми службами, Росреестром, агентствами по контролю за окружающей средой, службами быстрого реагирования и коммунального хозяйства, в сферах деловой активности и т.д.

Основной единицей в ГИС являются данные. Данные (лат. datum – акт) – совокупность фактов и сведений, представленных в каком-либо формализованном виде для их использования в науке и других сферах человеческой деятельности. Под данными в среде ГИС понимается информация, известная об объектах реального мира; результаты наблюдений и измерений этих объектов. Элемент данных содержит две главные компоненты: географические сведения, описывающие его местоположение в пространстве относительно других объектов (пространственные данные), и атрибутивные данные, которые описывают сущность, характеристики, переменные и значения (рис. 1.1).

Геоданные – это данные о предметах, формах территории и инфраструктурах на поверхности Земли, причем как существенный элемент в них должны присутствовать пространственные отношения (связи).

- специализированные ГИС – ориентированные на решение конкретной задачи в какой-либо предметной области;
- информационно-справочные – системы для домашнего и информационно-справочного пользования.

2. По архитектурному принципу построения:

- закрытые системы;
- открытые системы.

Закрытыми называются такие ГИС, которые не имеют возможностей расширения набора функций, позволяют выполнять только те операции с данными, которые однозначно определены на момент покупки. В случае незначительного изменения решаемой задачи такие системы часто оказываются неспособными их решать. В большинстве случаев закрытые системы вообще невозможно изменить, поэтому они имеют низкие цены и короткий жизненный цикл.

В отличие от закрытых открытые системы подразумевают открытость для пользователя, то есть возможность адаптации под его требования. Такие системы имеют специальные средства, обычно языки программирования, предназначенные для создания дополнительных приложений, т.е. нужных пользователю функций обработки данных. Возможность расширения открытых систем позволяет использовать их и при развитии решаемых задач в будущем. Эти системы обычно дороги, но имеют большой жизненный цикл.

3. По территориальному (пространственному) охвату:

- глобальные, или планетарные, ГИС (системы, предназначенные для анализа, решения и прогноза проблем на планетарном уровне);
- общенациональные (направленные на решение задач одного государства, нации);
- государственные (решение пограничных и межгосударственных задач);
- региональные (решение задач отдельных областей, регионов, штатов);
- локальные (решение задач малых городов, сел, поселков и т.д.).

4. По проблемной ориентации:

- экологические и природопользовательские;

- отраслевые (водных ресурсов, лесопользования, геологические, туризма и т.д.);
 - инженерные (проектирование сооружений);
 - имущественные (для обработки кадастровых данных);
 - инвентаризационные;
 - для тематического и статистического картографирования.
5. По тематике:
- социально-экономические;
 - кадастровые;
 - инвентаризационные;
 - туристические.
6. По способу организации пространственных данных:
- векторные (объекты описываются значениями координат);
 - растровые (объекты представляются в виде растрового изображения);
 - гибридные, или интегральные (совмещающие два вида данных).
7. По масштабу:
- мелкомасштабные;
 - среднемасштабные;
 - крупномасштабные.

1.3. Подсистемы ГИС

ГИС как любая система состоит из совокупности связанных между собой подсистем (рис. 1.2). Можно выделить 4 основных подсистемы [8]:

1. Подсистема обработки данных.

Подсистема обработки данных состоит из следующих элементов:

- получение данных – с карт, растровых изображений или в ходе полевых исследований;
- ввод данных – полученные данные необходимо ввести в цифровую базу данных, например отвекторизовать;

- хранение данных – необходимо решить вопросы: как часто данные используются, как их следует обновлять, являются ли они закрытыми, в каком формате происходит сохранение данных (для каждого программного обеспечения используется свой формат) и др.;

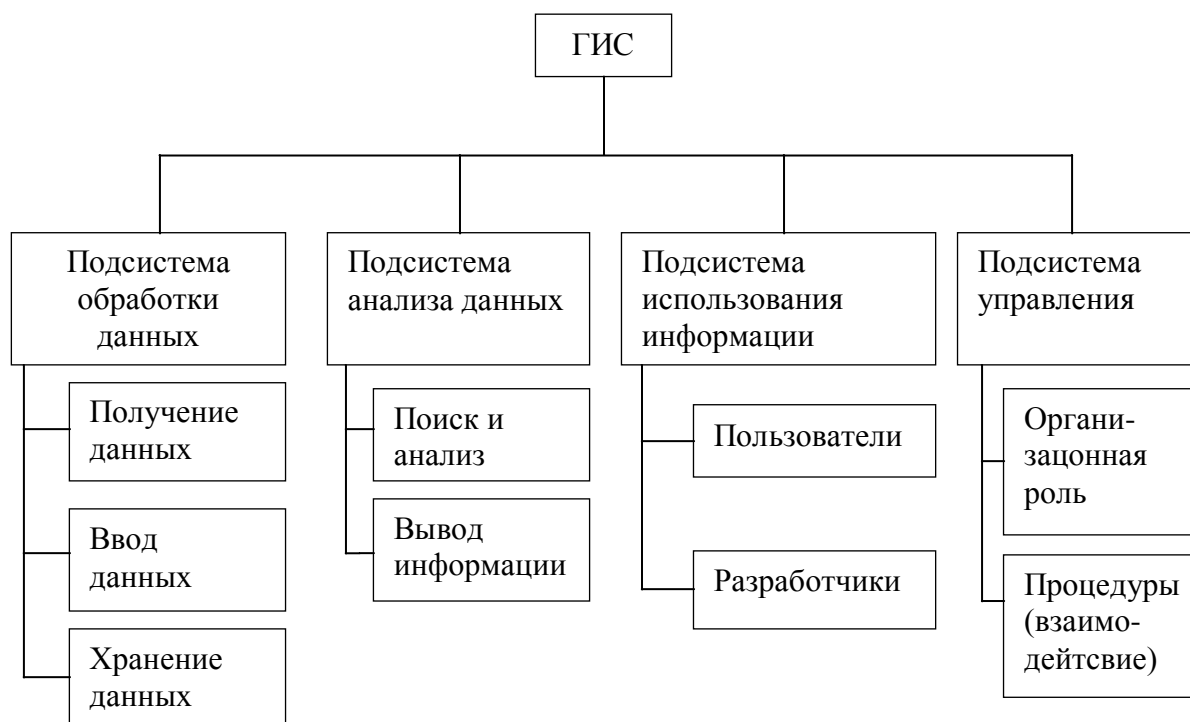


Рис. 1.2. Подсистемы ГИС

2. Подсистема анализа данных.

Подсистема анализа данных состоит из следующих элементов:

- поиск и анализ информации – от простых ответов на запросы до сложного статистического анализа, а также анализа больших массивов данных;
- вывод информации – как и куда должна выводиться информация (цифровые карты, планы), на экран, на бумажный носитель, выкладываться в интернет и т.п.

3. Подсистема использования информации.

Пользователями могут быть научные работники, специалисты по планированию, управляющий персонал и др. Необходимо наладить взаимодействие пользователей с разработчиками ГИС, чтобы функционал системы соответствовал задачам пользователей.

4. Подсистема управления.

В подсистеме управления можно выделить:

- Организационная роль – отдел ГИС обычно представляет собой отдельное подразделение в составе крупной организации (аналогично вычислительному центру в университетах); его основная задача – оказывать услуги по составлению баз пространственных данных и их анализу. В число сотрудников могут входить: системный программист, администратор базы данных, оператор системы, системный аналитик, операторы устройств ввода графической информации (например, обычно в штате центра ГИС в агентстве по управлению ресурсами насчитывается 5–7 человек).
- Процедуры взаимодействия – для эффективного функционирования системы необходимы тесные контакты группы ГИС и остальных сотрудников организации, для чего создаются необходимые процедуры взаимодействия, или регламенты.

1.4. История ГИС

Точное время зарождения геоинформационных систем достоверно неизвестно. Хотя один из первых удачных опытов использования «послойного» принципа совмещения и наложения пространственных данных с помощью согласованного набора карт (основной принцип ГИС) датируется XVIII веком. Французский картограф Луи-Александр Бертье (Louis-Alexandre Berthier) использовал прозрачные слои, накладываемые на базовую карту для показа перемещения войск в сражении под Йорктауном (Yorktown).

Появление географических информационных систем относят к началу 60-х годов прошлого века. Именно тогда сложились предпосылки и условия для информатизации и компьютеризации сфер деятельности, связанных с моделированием географического пространства и решением пространственных задач. За прошедшее время пройдено несколько этапов, позволивших создать самостоятельно функционирующую сферу геоинформационных технологий.

Основные достижения в геоинформационной картографии были достигнуты в США, Канаде и Европе.

В истории развития геоинформационных систем выделяют четыре основных периода (табл.1.1) [36, 16].

Таблица 1.1

Основные исторические периоды развития геоинформационных систем

I	Новаторский период <i>конец 1950-х – начало 1970-х гг.</i>	Исследование принципиальных возможностей, пограничных областей знаний и технологий, наработка эмпирического опыта, первые крупные проекты и теоретические работы.
II	Период государственных инициатив <i>начало 1970-х – начало 1980-х гг.</i>	Развитие крупных геоинформационных проектов, поддерживаемых государством, формирование государственных институтов в области ГИС, снижение роли и влияния отдельных исследователей и небольших групп.
III	Период коммерческого развития <i>начало 1980-х гг. – настоящее время</i>	Широкий рынок разнообразных программных средств, развитие настольных ГИС, расширение области их применения за счет интеграции с базами непространственных данных, появление сетевых приложений, появление значительного числа непрофессиональных пользователей, системы, поддерживающие индивидуальные наборы данных на отдельных компьютерах, открывают путь системам, поддерживающим корпоративные и распределенные базы геоданных.
IV	Пользовательский период <i>конец 1990-х гг. – настоящее время</i>	Повышенная конкуренция среди коммерческих производителей геоинформационных технологий услуг дает преимущества пользователям ГИС; доступность и «открытость» программных средств позволяет использовать и даже модифицировать программы; появление пользовательских «клубов», телеконференций, территориально разобщенных, но связанных единой тематикой пользовательских групп, возросшая потребность в геоданных, начало формирования мировой геоинформационной инфраструктуры.

I. Новаторский период (конец 1950-х – начало 1970-х гг.)

Первый период развивался на фоне успехов компьютерных технологий – появления электронных вычислительных машин (ЭВМ) в 50-х годах, цифрователей, плоттеров, графических дисплеев и других периферийных устройств в 60-х.

Первый крупный успех становления геоинформатики и ГИС – это разработка и создание Географической информационной системы Канады (Canada Geographic Information System, CGIS). CGIS является одним из примеров крупной универсальной

(по тем временам) региональной ГИС национального уровня. Начав свою историю в 60-х годах, эта крупномасштабная ГИС поддерживается и развивается по сей день.

Основателем CGIS считается Роджер Томлинсон (Roger Tomlinson), под руководством которого были разработаны и реализованы многие концептуальные и технологические решения [36].

Данная система создавалась для анализа данных инвентаризации земель Канады в области рационализации землепользования. Самой важной проблемой проекта являлось обеспечение эффективного ввода исходных картографических и тематических данных. Для этого разработчикам ГИС Канады потребовалось создать новую технологию, ранее нигде не применявшуюся, позволяющую оперировать отдельными слоями и делать картометрические измерения. Для ввода крупноформатных земельных планов было даже спроектировано и создано специальное сканирующее устройство – экспериментальный сканер.

Одним из важнейших результатов использования CGIS было создание карт масштаба 1:50 000. Выполнялось наложение и измерение площадей, ранее не использовавшиеся в геоинформатике, применялась абсолютная система координат.

В это же время работы шведской школы геоинформатики концентрировались вокруг ГИС земельно-учетной специализации, в частности Шведского земельного банка данных, предназначенного для автоматизации учета земельных участков (землевладений) и недвижимости. Основной целью проведенных работ являлось упорядочивание собранных материалов и облегчение процесса автоматизированного картографирования. Карты в основном строились в виде грубых алфавитно-цифровых распечаток-изображений, состоящих из букв и цифр, которые благодаря разной плотности создавали примитивный эффект полутоновых изображений.

II. Период государственных инициатив (*начало 1970-х – начало 1980 - х гг.*).

Этот период характеризуется большим количеством теоретических разработок, обобщения и критического анализа функционирующих ГИС.

Большое влияние в этот период оказывают теоретические работы в области географии и пространственных взаимосвязей, а также становление количественных методов в географии в США, Канаде, Англии, Швеции (работы У.Гаррисона (William

Garrison), Т.Хагерстранда (Torsten Hagerstrand), Г.Маккарти (Harold McCarty), Я.Макхарга (Ian McNarg).

В середине 70-х гг. в Швеции шла разработка и эксплуатация 12 информационных систем (ГИС или информационных систем, расширяемых до их уровня), сопровождающаяся как успешными достижениями, так и периодами кризисов.

В Канадской ГИС в эти годы успешно решались инвентаризационные задачи путем массового цифрования карт. Однако участие в их разработках научно-исследовательских коллективов, в том числе профессиональных географов Швеции, позволило заложить в их основу некоторые фундаментальные принципы, которые обеспечили их выход в сферы более универсальных областей применения.

Первый и главный шаг, который вывел ГИС из круга баз данных общего назначения, заключался во введении в число атрибутов объектов признака пространства (координат, иерархии административной принадлежности или др.).

Для 70-х годов XX в. характерно достаточно тесное взаимодействие методов и средств геоинформатики с автоматизированной картографией.

В Великобритании в 1964 году Д. Бикмором была создана первая автоматизированная картографическая система в экспериментальной картографической части Королевского колледжа искусств.

Национальное Бюро Переписей США (U.S. Census Bureau) разработало формат GBF-DIME (Geographic Base File, Dual Independent Map Encoding) для обработки и представления данных национальных переписей населения.

В этом формате впервые была реализована схема определения пространственных отношений между объектами, называемая топологией. Это нововведение было предложено математиком Бюро Джеймсом Корбеттом (James Corbett) и реализовано программистами Дональдом Куком (Donald Cooke) и Максфилдом (Maxfield). Таким образом была решена важная проблема, связанная с избыточностью данных при конвертировании напечатанных на бумаге карт в карты цифровые. Проблема заключалась в том, что в те времена каждое пересечение улиц (часто в городах США

улицы образуют решетчатую систему – сетку), вводилось восемь раз. Позже формат GBF-DIME трансформировался в TIGER [18].

Создание, государственная поддержка и обновление GBF-DIME-файлов стимулировали также развитие экспериментальных работ в области ГИС, основанных на использовании баз данных по уличным сетям.

В течение 70-х годов в формате GBF-DIME были созданы карты для всех городов США. Эту технологию и в настоящее время использует множество современных ГИС.

III. Период коммерческого развития (*начало 1980-х – начало 1990-х гг.*).

В 80-е годы наступает период интенсивного развития ГИС, к середине 80-х годов их число приближается к 500. Динамично развивается геоинформационная индустрия, что связано с развивающимися возможностями вычислительных средств, а позже персональных ЭВМ. Создание ГИС стало доступно не только хорошо финансируемым организациям (типа министерства обороны), но и для небольших компаний, образовательных и муниципальных учреждений и даже для частных лиц.

В эти годы начинают разрабатываться и продаваться коммерческие ГИС-программы. Одним из ярких примеров этого периода может стать появление наиболее популярного в мире программного обеспечения ARC/INFO (в настоящее время — ArcInfo) в Институте изучения систем окружающей среды (ESRI Inc, США) [36].

Насыщение рынка программных средств для ГИС, в особенности предназначенных для персональных компьютеров, резко увеличило область применения ГИС-технологий. Геоинформационные технологии проникают во все новые сферы науки, производственной деятельности и образования. Существенно раздвигается круг решаемых задач, осваиваются принципиально новые источники массовых данных для ГИС: данные дистанционного зондирования, включая материалы спутников серии Ландсат, а позднее Spot, данные глобальных систем позиционирования (навигации).

IV. Пользовательский период *(конец 1990-х гг. – настоящее время)*

В период 90-х годов применение ГИС из стадии экспериментов начинает переходить в сферу практического использования, причем не в отдельных пунктах, а по всему фронту научных, практических и управленческих областей. Идет процесс существенного пересмотра учебных программ по геоинформатике, а также совершенствование подготовки кадров пользователей ГИС. Все больше проектов стало выполняться не на персональных компьютерах, а на рабочих станциях с широким использованием компьютерных сетей.

Интенсивно велись работы в области моделирования: активно стала внедряться теория фракталов, катастроф, хаоса в географии и особенно применение нейронных сетей для многомерных классификаций и прогнозирования — задач, традиционно важных для всех географических наук.

На этом этапе продолжалось и продолжается в настоящее время интенсивное развитие геоинформационных систем. В области теории совершенствуются фундаментальные понятия, происходит «интеллектуализация» ГИС, обращение к объектно-ориентированным моделям в ГИС, совершенствование систем управления базами пространственных данных и знаний, разветвленных пользовательских систем и сетевых структур, а также интегрированных ГИС. Все большее внимание стало уделяться интеллектуальному анализу данных.

Совершенствуются способы картографической визуализации в ГИС. Даже традиционные бумажные карты, имеющие самое широкое распространение и применение, стали претерпевать определенные изменения. Они становятся «рельефными», пригодными для визуального и компьютерного считывания, переносятся на другие основы: материю, пластик, что позволяет, например, работать на пластиковых контурных картах в школе, используя их многократно и для разных целей, и т. д. Подавляющее большинство карт преобразуется в цифровые модели, а их тематические наборы или слои начинают преобразовываться в электронные атласы, изготавливаемые по индивидуальному «заказу». Традиционными становятся голографические изображения и карты в области «виртуальной реальности».

Очень многочисленными стали примеры интеграции ГИС и Интернет, вплоть до того, что ряд ученых стали называть этот период эпохой Интернет-ГИС.

В настоящее время обозначился новый технологический виток в спирали развития геоинформатики, который готовит ее к новому применению в начавшемся столетии. Это прежде всего мобильные ГИС, интеллектуализация систем, интеграция новых модулей, разработки сценариев развития и т.п.

К сожалению, Россия и бывший СССР не участвовали в мировом процессе развития геоинформационных технологий вплоть до середины 1980-х годов. В России до конца 80-х ГИС разрабатывались Министерством обороны и поэтому были закрытыми [16].

Первые исследования в области геоинформационных технологий в бывшем Советском Союзе были начаты в 80-е годы и, в основном, были связаны с адаптацией зарубежного (западного) опыта. Исследования проводили Институт географии и Дальневосточный научный центр АН СССР, Московский (кафедра картографии и геоинформатики), Казанский, Тобольский, Тартуский и Харьковский университеты. В этот период (середина и вторая половина 80-х годов XX века) были разработаны первые автоматизированные системы картографирования (например, АКС МГУ), осуществлялись исследования пространственного анализа, картографо-математического моделирования, тематического картографирования и их автоматизации.

Первые программные ГИС-пакеты на территории бывшего Советского Союза были разработаны уже после его распада в 90-е годы XX в. Среди них самым известным является пакет GeoDraw / Географ, созданный в 1992 г. в Центре геоинформационных исследований Института географии Российской академии наук (РАН) [36, 26].

Кроме GeoDraw / Географ, в Российской Федерации разработан ряд программных ГИС-пакетов. Самыми известными являются пакеты «Панорама» (Топографическая служба Вооруженных Сил РФ), «Парк» (ООО «Ланек», г. Москва), CSI-MAP (компания «КСИ-технология», г. Санкт-Петербург), Sinteks ABRIS (компания «Трисофт», г. Москва), ObjectLand (ЗАТ «Радом-Т», г. Таганрог) и «Ингео» (компания «Интегро», г. Уфа). Однако большая часть рынка программного ГИС-обеспечения в Российской Федерации представлена продукцией западных фирм – ESRI, Intergraph,

MapInfo, Autodesk и др. С середины 90-х гг. в России начался ГИС-бум, который отчасти продолжается и в настоящее время [36, 26].

Следует также отметить тенденцию, охватившую все информационные системы – появление систем с открытым исходным кодом (Open Source), в основном бесплатных, позволяющих пользователю привлекать программистов и самостоятельно дорабатывать ГИС под свои задачи. Можно выделить два основных источника появления открытых систем: разработанные в университетах системы и платные продукты, ставшие бесплатными и открытыми через какое-то время. Открытые системы распространяются под специальными лицензиями, например GPL, LGPL и др. Может иметься ограничение на коммерческое использование.

Вопросы:

1. Что такое ГИС?
2. Что такое геоинформатика?
3. Что такое геоинформационные технологии?
4. Что такое геоданные?
5. Виды классификации ГИС.
6. Какие ГИС бывают по функциональным возможностям?
7. Какие существуют подсистемы ГИС?
8. Когда появились первые геоинформационные системы?
9. На какие периоды можно разделить историю становления геоинформатики?

РАЗДЕЛ 2. РАСТРОВАЯ МОДЕЛЬ ДАННЫХ

Растровые ГИС появились раньше векторных – в конце 60-х годов – и продолжают повсеместно использоваться до настоящего времени.

Растровые модели используются для представления различных типов тематической картографической информации — отражения почвенно-растительного покрова, геолого-геоморфологических характеристик землепользования и т. п. Такие модели удобно использовать для выявления различных взаимосвязей, и часто они являются основными при создании географических информационных систем.

Растровая модель данных - это цифровое представление пространственных объектов в виде совокупности ячеек растра (пикселей) с присвоенными им значениями класса объектов. При этом каждой ячейке растровой модели соответствует одинаковый по размерам, но разный по характеристикам участок поверхности объекта (цвет, плотность). Пространство в таком случае отображается через цепочки соединенных ячеек, представленных, в свою очередь, линиями (рис. 2.1). Положение элементов (пикселей) определяется номером их столбца и строки в единой позиционной матрице [8].

Пиксели (от английского pixel, сокращение от picture element — элемент изображения) обычно представляют собой прямоугольники или квадраты, реже используются шестиугольники или треугольники.

В растровых системах есть два способа включения атрибутивной информации об объектах. Первым, наиболее простым способом, является присваивание значения атрибута каждой ячейке растра. В этом случае каждой ячейке на карте можно присвоить только одно значение атрибута. Второй способ состоит в связывании каждой ячейки растра с базой данных. Этот подход уменьшает объем хранимых данных и может обеспечивать связь с другими структурами данных, которые также используют СУБД для хранения и поиска данных [26].

Для создания растровой тематической карты собираются данные об определенной теме в форме двумерного массива ячеек, где каждая ячейка представляет атрибут отдельной темы. Такой двумерный массив называется

покрытием (темой, слоем). Покрытия используют для представления различных типов тематических данных (землепользование, растительность, тип почвы, поверхностная геология, гидрология и т.д.). Чаще всего для каждой дополнительной темы создается отдельное покрытие. Можно совместить эти покрытия, что позволит адекватно моделировать все необходимые характеристики области изучения.

Растровая модель является оптимальной для работы с непрерывными свойствами объектов.

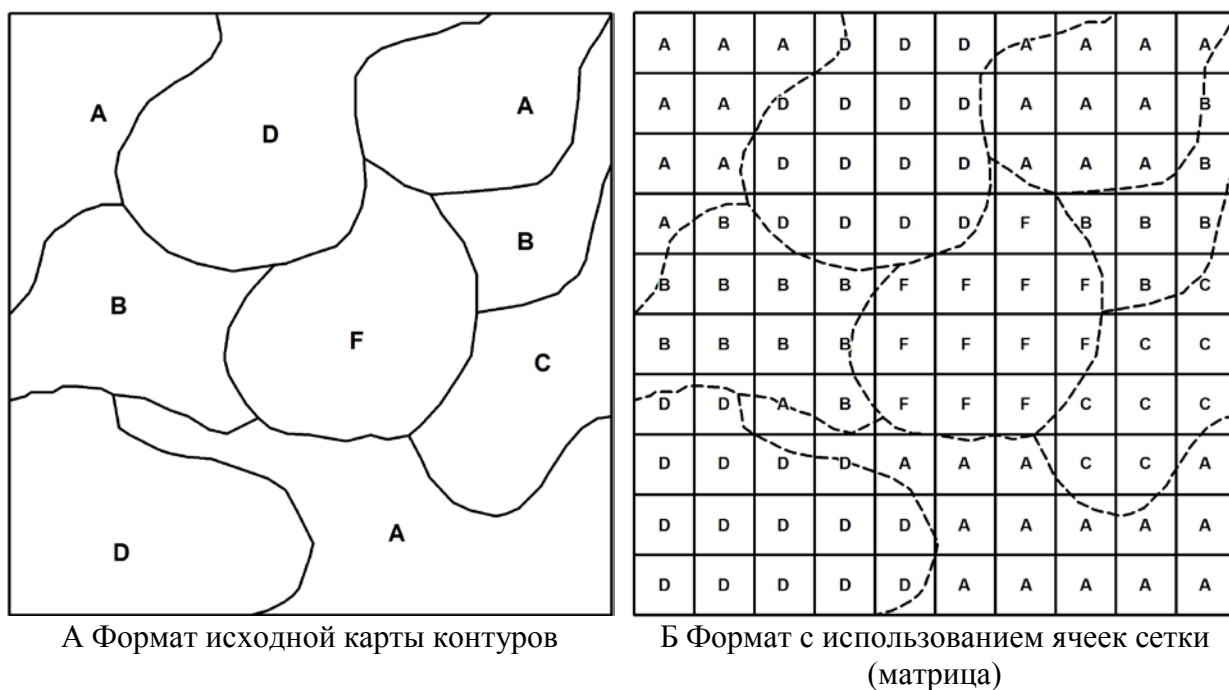


Рис. 2.1. Растровая модель данных

2.1. Характеристики растровых моделей

Для растровых моделей существует ряд характеристик: разрешение, значение, ориентация, зона, положение.

Разрешение – минимальный линейный размер наименьшего участка пространства (поверхности), отображаемый одним пикселем. Разрешение измеряется в единицах dpi (dot's per inch – точек на дюйм) и указывает, сколько пикселей располагается в одном дюйме изображения. Соответственно чем выше разрешение, тем качественнее и информативнее изображение. Однако с увеличением разрешения увеличивается и объем памяти, занимаемой файлом

растрового изображения. В ГИС обычно используются растровые изображения, разрешение которых лежит в диапазоне 100–400 dpi (исключением могут быть аэро- и космоснимки). Более высоким разрешением обладает растр с меньшим размером ячеек.

Значение – элемент информации, хранящейся в элементе растра. Ячейки одной зоны (или района) растра имеют одинаковое значение. Каждый элемент растра или каждая ячейка должны иметь лишь одно значение. Часто это не совсем корректно, т.к. граница двух типов почв, например, может проходить через центр элемента растра. В таких случаях элементу дается значение, характеризующее большую часть ячейки или ее центральную точку. Ряд систем позволяет иметь несколько значений для одного элемента растра, с указанием их пространственной доли в ячейке.

Существуют различные типы значений растровой модели: целые числа, действительные (десятичные) значения, буквенные значения.

Положение обычно задается упорядоченной парой координат (номер строки и номер столбца), которые однозначно определяют положение каждого элемента отображаемого пространства в растре.

Для определения местоположения в системе координат обычно задается координата для левого нижнего/верхнего угла матрицы (растра) и линейный размер одной ячейки. Затем выполняется вычисление координаты любого пикселя по его положению на растре.

Ориентация – угол между направлением на север и положением колонок растра.

Зона – объединение соседствующих друг с другом ячеек, имеющих одинаковые значения. Зоной могут быть отдельные объекты, геологические тела, элементы гидрографии и т.п.

Для указания всех зон с одним и тем же значением используют понятие класс зон. Зоны могут присутствовать не во всех слоях изображения. Основные характеристики зоны – ее значение и положение.

Таким образом, зная разрешение, ориентацию и положение, можно без труда вычислить положение любого элемента растра в пространстве.

Многие ГИС используют растровые изображения в качестве фундаментального слоя для векторных слоев, что также повышает наглядность изображения.

2.2. Достоинства и недостатки растровых моделей

Основное преимущество растровой модели – это слияние позиционной и смысловой информации в единой позиционной матрице, положение элементов (пикселей) которой определяется номером их столбца и строки. Значение элемента является непосредственным показателем смысловой нагрузки. С каждым смысловым значением элемента может быть связан неограниченный по длине набор атрибутов.

Растровая модель достаточно проста для сбора и обработки данных (данные собираются с равномерно расположенной сетью точек, матричная алгебра хорошо поддается программированию).

Наиболее часто растровые модели применяются при представлении и обработке данных дистанционного зондирования Земли (аэро- и космоснимков).

В растровых форматах точность привязки в большинстве случаев, составляет $1/2$ ширины и высоты пикселя, т.к. не ясно, к какой части растра следует относить координаты какого-либо объекта.

Существенным недостатком растровых моделей следует считать использование большего объема памяти компьютера для хранения и обработки данных. Эта проблема частично решается путем хранения не полного (целого) растрового фрагмента, а его сжатой копии (архива).

2.3. Методы сжатия растровых данных

Первый метод сжатия растровых данных называется групповым кодированием. Когда-то растровые данные вводились в ГИС с помощью пронумерованной прозрачной сетки, которая накладывалась на кодируемую карту.

Каждая ячейка имела численное значение, соответствующее данным карты, которые вводились (обычно с клавиатуры) в компьютер. Например, для карты

размером 100×100 ячеек потребуется ввести 10 000 чисел. В каждой строке существуют длинные цепочки одинаковых чисел. Для экономии места при записи на диск могут использоваться два разных способа:

1) в строку последовательно вводят значение атрибута и номер конечного столбца группы с одинаковыми атрибутами (рис. 2.2);

2) данные вводятся парой чисел: первое обозначает длину группы, второе – значение, например, массив

0000111

0001111

0000111

0011111

будет вводиться как: 4 0 3 1 3 0 4 1 4 0 3 1 2 0 5 1

Таким образом, в данном случае вместо 28 необходимо только 16 элементов данных, экономия составляет 43 %, однако на практике она бывает гораздо большей.

Метод цепочечного кодирования (рис. 2.3) основан на прокладывании цепи ячеек растра вдоль границы области с одинаковыми значениями. Указываются координаты (X, Y) начала, значение ячеек для всей области, а затем вектора направлений, показывающие, куда двигаться дальше, где повернуть и как далеко идти. Обычно векторы описываются количеством ячеек и направлением в виде чисел 0,1,2,3, соответствующих движению вверх, вниз, вправо и влево [16].

Другие два подхода к сжатию растровой информации ориентированы на квадратные матрицы. Первый, называемый блочным кодированием, является модификацией группового кодирования. Вместо указания начальной и конечной точек и значения ячеек выбирается квадратная группа ячеек растра и назначается начальная точка – центр или угол, берется значение ячейки и указывается ширина квадрата ячеек. Это, в сущности, двухмерное групповое кодирование. Таким образом может быть записана каждая квадратная группа ячеек, включая и отдельные ячейки, с минимальным количеством чисел.

Конечно, если покрытие имеет очень мало больших квадратных групп ячеек, этот метод не даст значительного выигрыша в объеме памяти. Но в таком случае и групповое кодирование может быть неэффективно, когда количество длинных

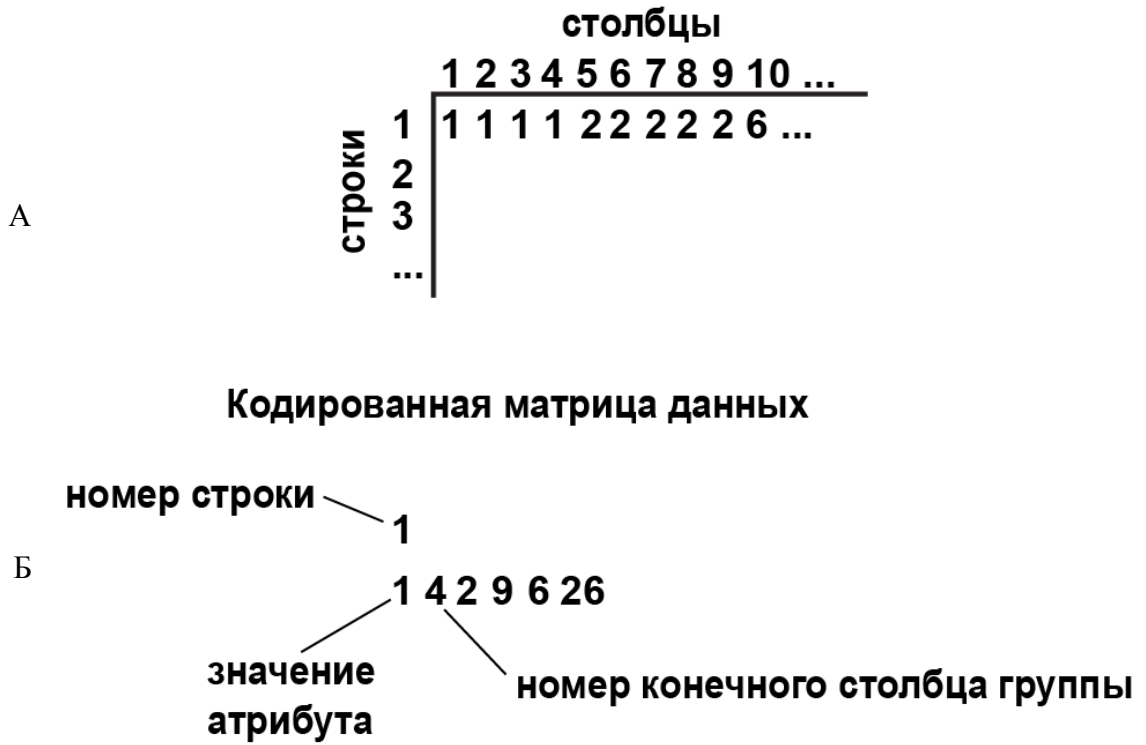


Рис. 2.2. Групповое кодирование

А – исходная матрица данных; Б – кодированная матрица данных

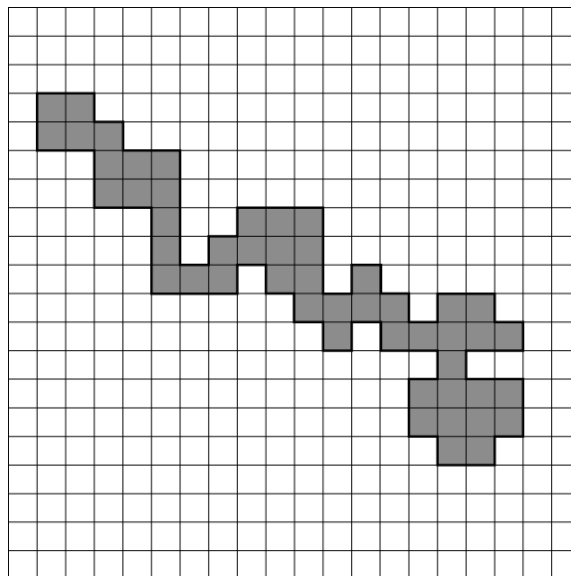


Рис. 2.3. Принцип цепочечного кодирования растровых данных

цепочек одной величины не велико. Но все же большинство геологических карт имеют достаточно большое количество таких групп, поэтому блочное кодирование очень эффективно.

Квадродерево несколько сложнее. Как и блочное кодирование, квадродерево основано на квадратных группах ячеек растра, но в данном случае вся карта последовательно делится на квадраты с одинаковым значением атрибута внутри. Вначале квадрат размером со всю карту делится на четыре квадранта (СЗ, СВ, ЮЗ, ЮВ). Если один из них однороден (т.е. содержит ячейки с одним и тем же значением), то этот квадрант записывается и больше не участвует в делении. Каждый оставшийся квадрант опять делится на четыре квадранта, опять СЗ, СВ, ЮЗ, ЮВ. Опять каждый квадрант проверяется на однородность. Все однородные квадранты записываются, и каждый из оставшихся делится далее и проверяется, пока вся карта не будет записана как множество квадратных групп ячеек, каждая с одинаковым значением атрибута внутри. Мельчайшим квадрантом является одна ячейка растра (рис. 2.4) [8].

Системы, основанные на квадродереве, называются системами с переменным разрешением, так как они могут оперировать на любом уровне деления квадродерева. Пользователи могут решать, какой уровень разрешения нужен для их расчетов. Кроме того, благодаря высокой степени компрессии данных этого метода, в одной системе могут храниться очень большие базы данных.

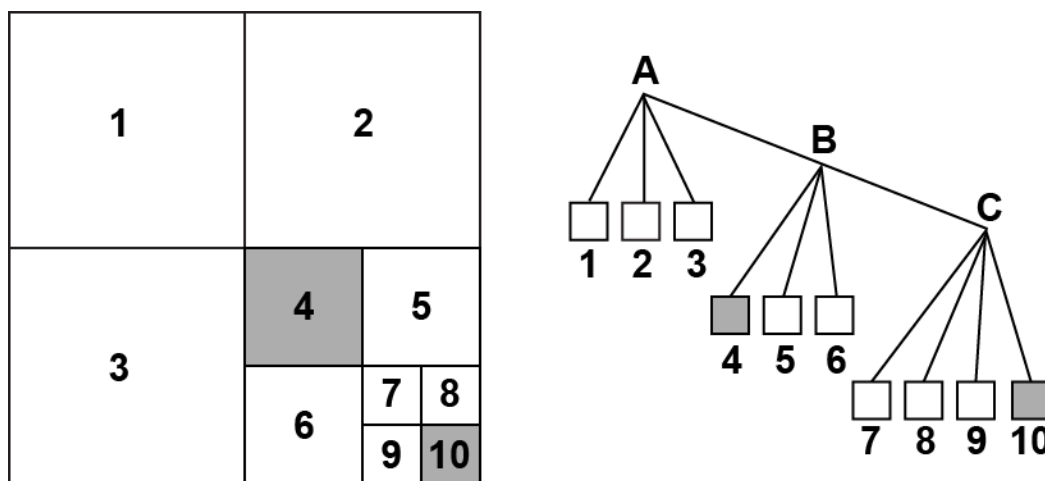


Рис. 2.4. Метод сжатия растровых данных «квадродерево»

Вопросы:

1. Что является минимальной единицей растровой модели?
2. Каковы основные характеристики растровой модели?
3. Какими показателями характеризуется пространственная зона?
4. Перечислите существующие методы сжатия растровых моделей.
5. В чем заключается основная суть группового кодирования растровых моделей?

РАЗДЕЛ 3. ВЕКТОРНАЯ МОДЕЛЬ ДАННЫХ

3.1. Векторная модель данных

Векторные модели исторически связаны с устройствами цифрования карт – цифрователями (дигитайзерами) с ручным обводом объектов. При этом генерируется поток пар плановых координат при движении курсора по планшету.

Векторное представление или векторная модель данных – это цифровое представление точечных, линейных и полигональных объектов в виде набора координатных пар. В основном используются двухмерные модели (2D), хотя для отдельных задач применяются трехмерные ГИС (в данном разделе не рассматриваются).

Векторные модели позволяют представлять точечные объекты с помощью пары координат (X и Y) координатного пространства, линии – определенной последовательностью пар координат их вершин, области – замкнутой последовательностью соединенных линий, начальная и конечная точки которой совпадают (рис. 3.1).

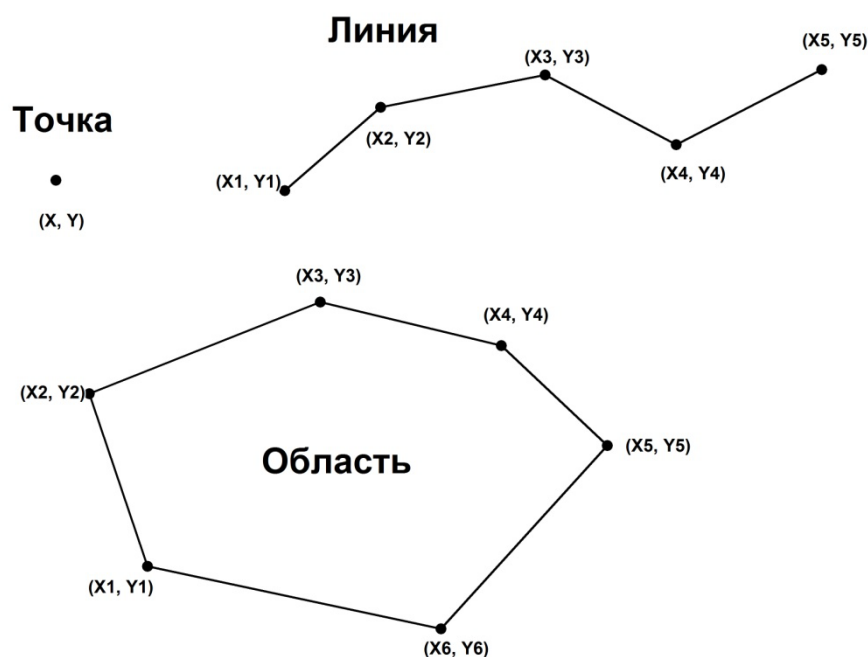


Рис. 3.1. Векторное представление графики

В векторных структурах данных линия состоит двух или более пар координат. Для одного отрезка достаточно двух пар координат, дающих положение и ориентацию в пространстве. Более сложные полилинии состоят из некоторого числа отрезков/сегментов, каждый из которых начинается и заканчивается парой координат. Для кривых линий может использоваться приближенное изображение с помощью большого числа коротких прямых сегментов. Чем короче сегменты, тем более точно они представляют сложную линию (рис. 3.2). Таким образом, хотя векторные структуры данных лучше представляют положения объектов в пространстве, они не абсолютно точны и являются приближенным изображением географического пространства.

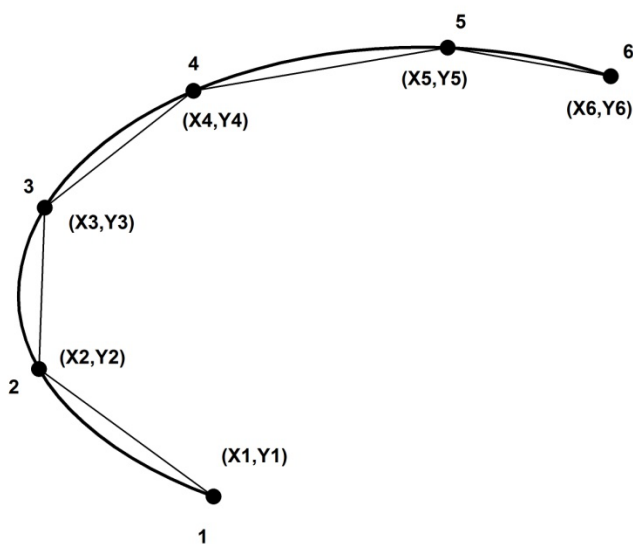


Рис. 3.2. Представление криволинейного объекта набором линейных отрезков

Именно с представлениями линейных объектов в виде последовательности образующих их точек связано понятие о векторном формате представления: любая кривая может быть описана с заданной точностью совокупностью отрезков прямых – сегментов или векторов.

В отличие от растровой модели, где значение атрибута присваивается каждой ячейке, векторная структура данных отражает только геометрию картографических объектов, которые связаны с отдельной атрибутивной базой данных.

Векторные представления пространственных объектов занимают в памяти ЭВМ значительно меньше места, чем растровые.

3.2. Пространственные предметы в ГИС

В ГИС используются понятия объекта и предмета [8].

Объект – это интересующее нас явление действительности, которое является последним в ряду подразделения однотипных явлении. Например, город можно считать объектом, составные части, на которые можно разделить город, уже не будут являться городами, они будут районами, кварталами и т.п. А лесной массив, например, можно подразделить на более мелкие массивы.

Предмет – это цифровое представление всего объекта или его части. Способ цифрового представления явления зависит от масштаба исследования, его задач и других факторов. Например, географически город может быть представлен в виде точки, если рассматриваемая территория имеет масштабы материка. Если речь идет о базе географических данных области, тот же город может быть представлен ареалом.

Примитив – точка, полилиния, полигон в векторной цифровой карте. Является самой простой единицей для задания графического отображения в ГИС. Для задания примитивов требуется только численные значения его параметров (координат).

Объекты и явления в ГИС могут быть представлены в виде [8]:

0-мерных – предметы, имеющие местоположение в пространстве, но не имеющие длины – точка;

1-мерных – предметы, имеющие длину. Состоят из двух и более 0-мерных предметов – линия;

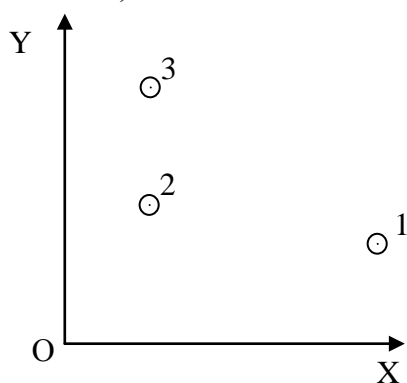
2-мерных – предметы, имеющие длину и ширину. Ограничены, по крайней мере, тремя 1-мерными предметами (отрезками) – полигон;

3-мерных – предметы, имеющие длину, ширину и высоту (или глубину). Ограничены, по крайней мере, четырьмя 2-мерными предметами – объем.

Рассмотрим основные предметы более подробно:

1. Точечные примитивы – простейший тип пространственного объекта, обозначает местоположение, описывается двумя координатами. Точки являются 0- мерными предметами. Выбор объектов, которые будут представлены в виде точек, зависит от масштаба карты или исследования. Например, на крупномасштабной карте точками

показываются отдельные строения, а на мелкомасштабной карте точки обозначают города. Координаты каждой точки можно хранить в виде двух дополнительных атрибутов. Информацию о наборе точек можно представить в виде развернутой таблицы атрибутов. Каждая строка соответствует точке – в ней собрана вся информация о данной точке. Каждый столбец – это признак. Два столбца отведены для данных о координатах. На рис. 3.3 представлено, как будут выглядеть точечные данные и их представление в ГИС (в таблице указаны лишь координаты объектов).

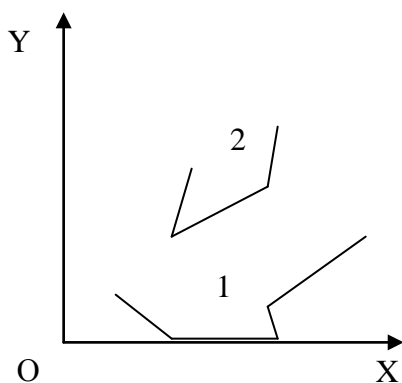


Кодирование точечных объектов

ID	X	Y
1	248,79	31,54
2	50,67	100,34
3	163,32	190,67

Рис. 3.3. Представление точечных данных и их описание

2. Линейные примитивы (полилинии) – тип пространственных объектов, которые не имеют ширины (в заданном масштабе карты). Линейные объекты – 1-мерные, характеризуются только длиной (протяженностью) отображаемого объекта. Линейные примитивы могут представляться как отдельным отрезком, ломаной линией или сетью, так и объединением нескольких линий, содержащих точки пересечений. На рис. 3.4 представлено отображение линейных объектов в ГИС.



Кодирование линейных объектов

ID	№ вершины	X	Y
1	1	15,5	45,6
	2	90,56	25,4
	3	170,8	25,4
	4	150,6	37,78
	5	238,89	100,76
2	1	120,43	180,9
	2	100,01	105,6
	3	150,76	156,98
	4	278,43	199,43

Рис. 3.4. Представление линейных объектов в ГИС

3. Полигоны (ареалы) – тип пространственных объектов, которые имеют длину и ширину. Полигоны – 2-мерные. Границы могут определяться естественными явлениями, например берегом озера. На рис. 3.5 отражено представление полигонов в ГИС.



Рис. 3.5. Представление площадных объектов (полигонов) в ГИС

Пространственное покрытие полигонов делится на 2 типа:

1. Объекты и явления представляют собой обособленные полигоны, возможно перекрывающиеся. Каждое местоположение может находиться внутри любого числа объектов или не входить ни в один из них. Например, территории лесных гарей. Полигоны не покрывают все пространство.
2. Любое местоположение находится внутри только одного объекта. Полигоны покрывают все пространство, каждая граница, за исключением внешних границ картографируемой территории, разделяет два и только два ареала. Полигоны не могут перекрываться. Любой слой первого типа может быть преобразован в слой второго типа, при этом каждый полученный полигон будет характеризоваться определенным количеством атрибутов в зависимости от числа пожаров – там, где не было пожаров, не будет и атрибутов.

Для полигонов существуют такие понятия, как «дыры» и «острова». Часто в ареалах имеются «дыры» – ареалы других атрибутов, полностью включенные в их пределы. Необходимо, чтобы база данных правильно воспринимала такие ситуации.

Это обеспечено не во всех программах ГИС. Могут быть очень сложные случаи, например:

- лесной массив представляет собой «дыру» на землях сельхозугодий;
- озеро в лесу – это «дыра» в пределах лесного массива;
- на озере есть островки, которые являются «дырами» в пределах озера.

3. Надписи – специальные примитивы, которые обозначаются координатой точки привязки надписи, углом поворота, текстом и шрифтом. Надписи используются для лучшей читаемости отображенной территории. На рис. 3.6 – предметное отображение надписей.

В ряде ГИС надписи представлены только в виде текстовых меток к существующим объектам (точечным, линейным, площадным).

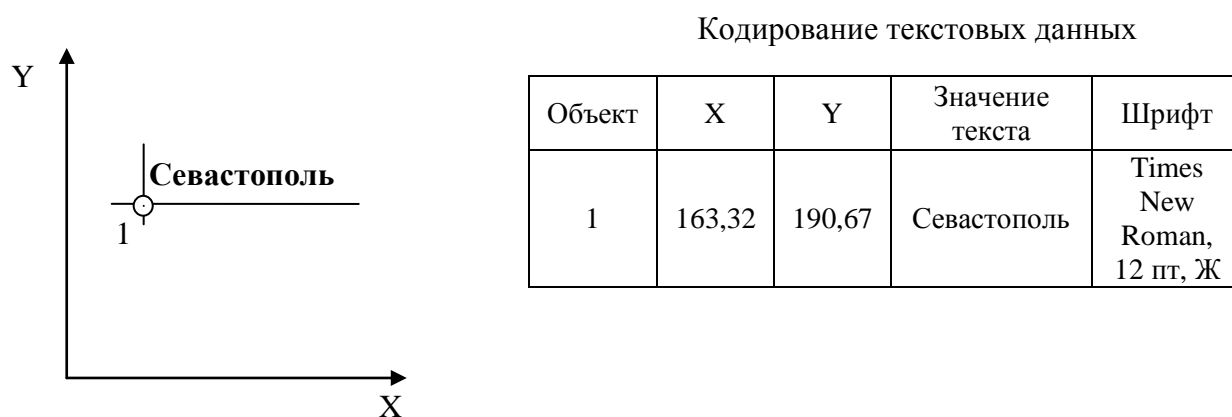


Рис. 3.6. Отображение надписей в ГИС

Линейные объекты - сети

К линейным примитивам относятся объекты-сети [8]:

- инфраструктурные;
- транспортные – автодороги, железные дороги;
- коммунальные – газ, электроэнергия, телефон, вода;
- воздушного транспорта;
- природные;
- русла рек.

Характерные свойства сетей. Любая сеть состоит из:

- узлов-соединений, концов обособленных линий;
- звеньев-цепей в модели базы данных.

Валентность узла определяется количеством звеньев в нем:

- концы обособленных линий «одновалентны»;
- для уличных сетей наиболее характерны четырехвалентные узлы;
- в гидрографии чаще всего встречаются трехвалентные узлы.

Есть особый вид сетей – древовидные. В древовидной сети каждая пара узлов имеет лишь одно соединение, не допускаются петли и замкнутые контуры. Большая часть речных сетей древовидны.

Каждое звено сети может содержать атрибуты, для различных видов сетей характерны различные атрибуты. Пример атрибутов звена:

- направление движения, интенсивность движения, протяженность, количество полос, время пути вдоль звена.

Как и звенья, узлы сети могут содержать свои атрибутивные данные. Примеры атрибутов узла: наличие светофора, наличие перехода, названия пересекающихся улиц.

Некоторые атрибуты (например, названия пересекающихся улиц) связывают один тип объектов с другим (узлы со звеньями). Некоторые атрибуты характеризуют только участки звеньев сети. Например, часть звена железной дороги между двумя соединениями может проходить внутри тоннеля, часть звена автодороги между двумя соединениями может нуждаться в текущем ремонте дорожного полотна.

Во многих ГИС для включения таких атрибутов в сеть необходимо разбиение существующих звеньев и создание новых узлов (псевдоузлов). Например, звено улицы разрывается на месте стоящего здания, его атрибуты присваиваются новому (двухвалентному) узлу. Такое требование может привести к появлению недопустимо большого числа звеньев и двухвалентных узлов. Количество звеньев возросло бы на несколько порядков, если бы потребовалось создать новые узлы в местах мостов.

Сети могут использоваться как системы адресации (например, уличная сеть). Сопоставление адресов – это процесс определения местоположения здания на уличной сети. Например, если известно, что в данный квартал входят дома с

номера от 100 до 198, то дом №124 будет, вероятно, находиться на расстоянии $1/4$ длины этого звена. Точки можно размещать в сети по данным о номере звена и о расстоянии от его начала – это удобнее, чем использовать координаты точки (x,y) , поскольку такие данные непосредственно указывают положение точки в сети. Подобный подход позволяет решить проблему присвоения атрибутов отдельным участкам звеньев. Такие объекты (здания, тоннели) хранятся в отдельных таблицах, с сетью они увязаны путем указания номера звена и расстояния от его начала.

Для точечных объектов необходимо указать одно расстояние, для протяженных объектов (тоннели) – два (для начальной и конечной точек). При необходимости ГИС может рассчитать координаты (x,y) этих объектов. При таком подходе нет нужды постоянно дробить звенья.

3.3. Векторные топологические модели

Топология (от греч. *topos* - место) – раздел математики, изучающий топологические свойства фигур (т.е. свойства, не изменяющиеся при любых деформациях, производимых без разрывов и склеиваний) и топологические отношения между ними (совпадение, пересечение, касание, нахождение внутри или вне и т.п.), часть которых используется в векторных топологических моделях (данных).

Выделяют два основных представления векторной модели пространственных данных: нетопологическое и топологическое [8].

Нетопологическое векторное представление – это векторное представление пространственных объектов в виде набора координатных пар с описанием только геометрии точечных, линейных и полигональных объектов. Векторные нетопологические модели (еще их называют «спагетти») описывают объекты без их взаимосвязи между собой. Если одна линейная граница является границей для нескольких объектов, например, река и граница сельхозугодья, то она описывается для каждого объекта отдельно. В результате на каком-то из этапов обработки (например, изменили границу одного объекта и забыли поменять границу второго и т.п.) эти границы могут перестать совпадать.

Топологическое векторное представление – это представление пространственных объектов, учитывающее не только геометрию объектов, но и их взаимные отношения в пространстве.

Векторная топологическая модель обязана своим происхождением задаче описания контурных объектов. Ее называют также линейно-узловой моделью. Именно эта модель позволяет описывать контурные объекты в виде множества трех элементов: узлов/точек, полилиний и собственно полигонов.

С ней связаны особые термины, отражающие ее структуру. Главные ее элементы (примитивы) [16]:

- вершина (промежуточная точка полилинии);
- сегмент (линейный сегмент, отрезок прямой, ребро);
- узел (начальная и конечная вершина полилинии);
- полилиния (дуга, линейный объект);
- полигон (область, ареал, полигональный объект, многоугольник, контур, контурный объект).

Полигон может иметь «дыру» – внутренний дополнительный полигон. Нужно учитывать, что не все ГИС корректно обрабатывают «дыры» и правильно рассчитывают площади.

Узлы в топологической модели бывают трех видов:

- нормальный узел, объединяет 3 и более сегментов;
- псевдоузел (фиктивный узел), объединяет 2 сегмента, как правило, отражает начало и конец замкнутой полилинии, начало и конец полигона, соединение двух полилиний.
- висячий узел, к нему подходит только 1 сегмент, при создании полигональной топологии является индикатором ошибки.

Валентностью узла называется количество сегментов, подходящих к узлу, например псевдоузел является 2-валентным.

На рис. 3.7 приведен пример векторного топологического представления. Узлы 2, 5, 7, 9 являются нормальными, узлы 1, 3, 4, 6, 14 являются псевдоузлами. Вершины полилиний: 8, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18 и 19 (перечисленные ранее

узлы также являются вершинами). Полилинии (дуги): (1–2), (2–3), (3–4), (4–5), (5–6), (6–7), (7–1), (7–8–9), (9–10–11–5), (9–12–13–2), (14–15–16–17–18–19–14).

Полигоны А, В, С и D («дыра», для описания которой вводится псевдоузел 14) [8].

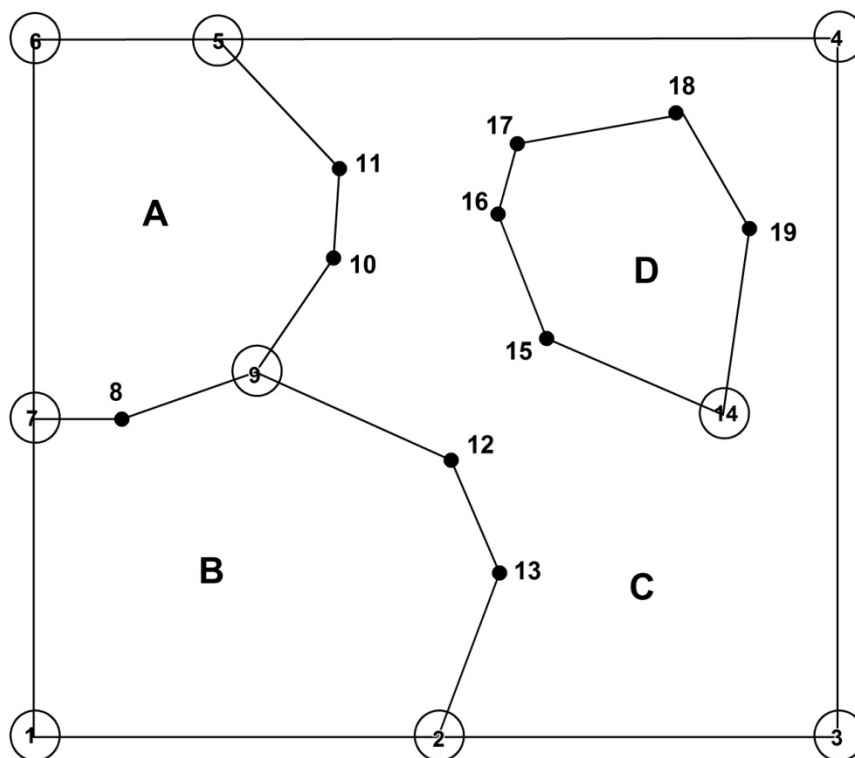


Рис.3.7. Пример векторной топологической модели

Таким образом, в топологической модели объекты содержат дополнительную информацию о пространственных взаимоотношениях.

Например, линейные объекты – дорожная сеть – кроме информации о типе дороги и качестве покрытия, может показывать также возможное направление движения. Эта информация должна быть присвоена каждому отрезку, чтобы сообщить пользователю, что движение может продолжаться вдоль каждого отрезка до изменения атрибутов, возможно до того момента, когда двухсторонняя улица станет односторонней. Другие коды, связывающие эти отрезки, могут включать информацию об узлах, которые их соединяют. Узел, например, может иметь знак остановки, светофор или знак запрета разворота. Все эти дополнительные атрибуты должны быть определены по всей сети, чтобы моделировать реальные отношения.

Полигоны (или области) создаются путем соединения полилинии в замкнутую петлю, в которой первая пара координат первого сегмента является одновременно

и последней парой координат последнего сегмента. Как с точками и полилиниями, так и с полигонами связывается файл, содержащий атрибуты этих объектов. Связь между позиционной частью и атрибутикой устанавливается и поддерживается через идентификатор объекта.

Ряд ГИС позволяет указывать топологические взаимосвязи не только внутри слоя, но и между слоями. Например, при перемещении вершины в слое зданий должны автоматически перемещаться связанные с ними вершины в слое ограждений (ГИС ИнГео, ArcGis версии 8 и выше и др.).

Точечные объекты также могут участвовать в векторной топологической модели, например в топологической связи с узлом/вершиной полилинии.

Векторная топологическая модель используется при операции сборки полигонов, когда границы полигонов получают из замкнутых полилиний.

Таким образом, топологическое векторное представление данных отличается от нетопологического наличием возможности получения списка взаимоотношений между пространственными объектами, графическими примитивами без изменения хранимых координат для этих объектов.

При работе с топологической моделью необходимо выполнять подготовку геометрических данных для построения топологии. Данные, хранимые в системе, не предусматривающей поддержки топологии, не могут быть надежно преобразованы в топологические данные другой ГИС по автоматическому алгоритму.

Топологические характеристики должны вычисляться в ходе количественных преобразований моделей объектов ГИС, а затем храниться в базе данных совместно с координатными данными.

3.4. Сравнение растровой и векторной модели данных.

Достоинства и недостатки

3.4.1. Точность координат

В растровой модели точность координат ограничивается размером ячейки – пикселя. В большинстве случаев неясно, относятся ли координаты к центральной точке ячейки или к одному из ее углов.

В векторной модели координаты могут кодироваться с любой степенью точности и ограничивается только возможностями метода внутреннего представления координат. Обычно для представления используется 8 или 16 десятичных знаков (одинарная или двойная точность).

3.4.2. Представление территории и объектов местности

Растровые ГИС используют более простой (для машины) метод: вся отображаемая территория состоит из набора пикселей с определенными значениями, из которых складываются пространственные объекты. Такие объекты нельзя передвигать или удалять, не затрагивая карту в целом.

При моделировании пространства в растровом формате основные сложности связаны с тем, что пространственные объекты могут быть представлены с большой точностью только за счет уменьшения размера пикселя, что ведет к увеличению объемов занимаемой ими памяти. В случае, если размер пикселя является слишком крупным, могут быть утеряны многие детали представляемых объектов.

Растровая модель широко используется при непосредственной обработке и анализе цифровых изображений, полученных по данным дистанционного зондирования Земли, а также для решения многих прикладных задач, в частности мониторинга состояния окружающей среды.

Также растр является идеальной формой для представления пространственных градиентов.

Векторные ГИС используют более сложный для машины, но более удобный для человека метод. В векторной модели данных пространственные объекты представляются в виде графических примитивов. Точечные объекты представляются как пары пространственных координат, линии — как строки координатных пар, а

области — как замкнутые линии, образующие полигоны. Соответствующие цифровые векторные изображения могут быть легко масштабированы и трансформированы к любой картографической проекции. Объекты в векторной модели можно выделять, перемещать, удалять, то есть поступать с ними так же, как с реальными объектами [25].

Векторные модели с помощью дискретных наборов данных (линий, полигонов) отображают непрерывные объекты или явления. При этом векторное представление позволяет отразить большую пространственную изменчивость, чем растровое, что обусловлено более четким показом границ. Векторный формат хорошо подходит для представления пространственных объектов сложной формы.

3.4.3. Хранение информации

Основное преимущество растровой модели состоит в слиянии графической и атрибутивной информации в единую регулярную структуру с прямой адресацией каждого пикселя.

Пространственное разрешение растра представляет собой размер пикселя на поверхности Земли. При разрешении в 100 м квадратная область со стороной 100 км требует растра 1000 x 1000, или 10^6 пикселей. При использовании 1 байта на пиксель такое растровое изображение будет занимать 100 Мб. Это достаточно большой объем, и требования к памяти возрастают экспоненциально с ростом разрешения, поэтому в растровых моделях применяются алгоритмы сжатия [34, 26].

В векторной модели хранение атрибутивной и графической информации осуществляется отдельно. Атрибутивная информация хранится в специальных базах данных, управляемых СУБД [33].

Представление пространственной информации в векторном формате требует меньше объема памяти (в 100–1000 раз), чем в растровом.

При использовании векторного формата легко может быть реализовано графическое отображение пространственных объектов в зависимости от связанных с ними атрибутов; например линии могут отображаться с разной толщиной, а полигоны — с заливкой разного цвета и типа.

К основным недостаткам растровой модели следует отнести следующее:

- занимают большие объемы памяти;

- трудно редактируются (невозможно редактировать отдельные объекты без изменения всей поверхности);
- имеют ограничение в выборе форматов при выводе на печать;
- процедура перевода данных из растровой модели в векторную является очень трудозатратой.

Основным недостатком векторных моделей является то, что они хорошо применимы только для работы с объектами, которые имеют четкие границы. В случае «плавной» смены признаков объектов (например, на карте растительности или типов почв) точность векторной модели является условной.

Основное назначение растровых моделей – отображение непрерывной поверхности. Иными словами, если векторная модель дает информацию о том, где расположен тот или иной объект, то растровая модель – о том, что расположено в той или иной точке. Основные характеристики сравнения растровых и векторных моделей представлены в табл. 3.1 [32]. В настоящее время некорректно четко разделять векторные и растровые ГИС. Растровые ГИС используют в работе векторные данные, векторные ГИС умеют обрабатывать растры. Примером векторных ГИС могут служить MapInfo, ArcView, ArcGIS, Панорама ГИС-карта, и пр. Примеры растровых ГИС – это ERDAS Imagine, IDRISI, ILWIS.

Таблица 3.1

Основные характеристики сравнения растровых и векторных моделей

Показатели	Растровая модель	Векторная модель
Сбор данных	быстрый	медленный
Объем данных	большой	маленький
Манипулирование графическими элементами	среднее	хорошее
Структура данных	простая	сложная
Масштабируемость	средняя	высокая
Геометрическая точность	низкая	высокая
Возможности анализа на сетях	слабые	хорошие
Избыточность (объем данных)	низкая	высокая
Передача непрерывных свойств	высокая	средняя
Передача дискретных объектов	низкая	высокая
Возможности анализа перекрытия областей	хорошие	средние
Геометрическая генерализация	простая	сложная
Легкость создания	высокая	средняя

Вопросы:

1. Что представляет собой векторная модель данных?
2. Отличия топологической модели данных от нетопологической.
3. В чем отличие объекта от предмета в ГИС?
4. Перечислите и приведите примеры пространственных объектов для каждой группы 0-мерных, 1-мерных, 2-мерных типов предметов.
5. Представление линейных объектов в ГИС.
6. Представление площадных объектов в ГИС.
7. Сравните растровую и векторную модель данных.

РАЗДЕЛ 4. ВВОД ДАННЫХ

4.1. Формы и устройства ввода данных

Человек взаимодействует с ГИС посредством устройств ввода-вывода (input-output devices). Прогресс в области информационных технологий вообще достигается не только благодаря возрастающей скорости процессоров и емкости запоминающих устройств, но также за счет совершенствования устройств ввода и вывода данных. Устройства ввода-вывода называются также периферийными устройствами (peripheral devices). Различают следующие формы ввода данных:

- с помощью устройств ввода изображений (дигитайзеры, сканеры),
- с помощью специальных устройств ввода графической информации (мышь, курсор, перо),
- с помощью устройств ввода атрибутивной информации (клавиатура),
- преобразование из других цифровых источников (GPS-приемники, приборы автоматизированной съемки и др.).

На ранних этапах формирования геоинформационных проектов ввод данных осуществлялся с помощью дигитайзеров (рис.4.1.).



Рис. 4.1. Дигитайзер

Бумажную карту закрепляли на планшете, выполняли регистрацию системы координат. Затем выполняли векторизацию – обвод необходимых контуров

специальным манипулятором (типа мыши). Каждый новый обводимый контур появляется на экране компьютера (векторный вид). Положение манипулятора при его движении по поверхности графического планшета определяется компьютером и переводится в координаты (x,y) . Обычно на курсоре есть кнопки управления, что позволяет контролировать систему, не перенося внимания с графического планшета на терминал ЭВМ.

Первые устройства ввода графической информации, созданные приблизительно в 1965 г., представляли собой стеклянные столы с подсветкой. Магнитное поле, создаваемое курсором, улавливалось с помощью механического рычага, расположенного под столом. Перемещения рычага кодировались, вычислялись соответствующие координаты, которые и отправлялись в главный процессор. Более современные планшеты имели вмонтированную сеть проводов для создания магнитного поля, которое улавливалось курсором. Обычно точность не меньше 0,1 мм, что превосходит точность, с которой оператор средней квалификации совмещает курсор с объектом и соответствует точности масштаба бумажной карты [35].

Сейчас операции по переводу графической информации чаще всего выполняются по отсканированному изображению (по так называемой растровой подложке). Для получения растрового изображения используют специальные устройства – сканеры.

Сканеры позволяют вводить растровое изображение карты в компьютер без вмешательства человека. Для ввода цветных карт и снимков следует использовать цветные сканеры, для панхроматических снимков и топографических карт достаточно черно-белых сканеров.

Основные характеристики сканеров – оптическое разрешение, скорость сканирования и стабильность. Для офисных работ обычно используются достаточно быстрые сканеры с невысоким разрешением (300 точек на дюйм). Возможности калибровки обычно отсутствуют. Эти устройства могут использоваться для ввода карт и снимков дистанционного зондирования, когда требования точности позволяют это [25].

Сканеры делятся на ручные и настольные. Настольные сканеры в свою очередь представлены планшетными, барабанными и рулонными (с протяжкой листа) сканерами. Барабанные и рулонные сканеры могут быть настольными, если они предназначены для широкоформатного сканирования.

Ручной сканер является, по сути, оптической головкой планшетного сканера, и пользователю приходится самому двигать ее по поверхности оригинала (рис.4.2.). Для ввода графической информации в ГИС не пригоден.



Рис. 4.2. Виды ручных сканеров

Планшетные сканеры представляют собой планшет (отсюда и его название) с прижимной крышкой, которая нужна для защиты стекла от царапин и грязи и для прижатия изображения к стеклу для лучшего сканирования (рис.4.3.). Под крышкой сканера находится прозрачное стекло, на которое кладется оригинал, и под которым перемещается лампа и устройство оптического считывания.



Рис.4.3. Планшетный сканер

Планшетный сканер является лучшим для сканирования картографической информации, так как дает меньше всего искажений. При выборе сканера следует обратить внимание на то, чтобы стекло сканера находилось на уровне верха

сканера, иначе не удастся вплотную приложить твердые картографические планшеты, что приведет к недопустимым искажениям.

Для преобразования картографических источников большого размера используются широкоформатные настольные сканеры.

В *барабанных сканерах* оригинал закрепляется на круглом барабане, вдоль которого под прямым углом к направлению вращения перемещается головка считывания (рис. 4.4.). Таким образом записывается каждое положение на карте, даже если графические объекты там отсутствуют. Барабанные сканеры могут давать как монохромное, так и цветное изображение. В последнем случае каждый из основных цветов должен сканироваться по отдельности. Разрешающая способность барабанных сканеров может достигать 12000 dpi; динамический диапазон — более 4,0D; глубина цвета — до 48 бит. Эти устройства могут обеспечить высокую точность сканирования очень больших оригиналов. Барабанные сканеры используются, в основном, в типографиях, где требуется получить высококачественные изображения для последующей печати плакатов больших форматов или изображений с высокой детализацией.

Сканировать картографические изображения на твердой основе барабанным сканером невозможно.

Рулонные сканеры с протяжкой листа действуют подобно факсовому аппарату, т.е. в них двигается не головка считывания, а сам оригинал, как в пишущей машинке (рис. 4.5.). Эти устройства обладают точностью, меньшей, чем планшетные сканеры, но зато позволяют сканировать очень длинные оригиналы и имеют более низкую стоимость. Такие сканеры могут дать искажения картографического материала. При сканировании материалов на твердой основе часто возникают искажения из-за неравномерного перемещения планшета.

Таким образом, лучшим устройством ввода картографических данных в ГИС является планшетный сканер, у которого стекло находится на уровне верхней поверхности сканера. Затем идет рулонный широкоформатный сканер. Точность сканирования обычных картографических материалов должна соответствовать

точности масштаба, составляющей 0,1 мм на бумаге. Поэтому разрешения сканера в 300 DPI вполне достаточно.



Рис.4.4. Барабанный сканер



Рис.4.5. Рулонный широкоформатный сканер

Перед сканированием необходимо выяснить, по каким точкам будет в дальнейшем выполняться регистрация картографического изображения к нужной системе координат. В случае отсутствия таких точек, рекомендуется их нанести на основу перед сканированием, например в виде перекрестий координатной сетки, карандашом (линейкой Дробышева, или сколоть с другой сетки).

4.2. Ввод геоданных

Если карта должна храниться в векторной модели данных, то после сканирования растровое изображение должно быть векторизовано.

Существующие модели ГИС позволяют выполнять векторизацию в трех режимах:

1. автоматическом;
2. полуавтоматическом (или интерактивном);
3. ручном.

Автоматическая векторизация существенно сокращает время, затрачиваемое на оцифровку растровых изображений. В этом режиме вся карта переводится из растра в векторный формат без участия оператора. После автоматической векторизации выполняется проверка и корректировка полученных материалов.

Программы автоматической векторизации входят, как правило, в состав мощных профессиональных комплексов и применимы для работы с растрами малой сложности и с расчлененными картографическими материалами (карты, разделенные на отдельные листы по цвету изображений – рельеф, гидрография, антропогенные объекты и контуры растительности, заливка площадей растительности и пр.): ProVec, Easy Trace, Win Topo и др.

Полуавтоматическая, или интерактивная векторизация (трассирование) применяется в тех случаях, когда требуется контроль над процессом векторизации или нужно векторизовать небольшую часть изображения.

С помощью специальных программ оператор создает векторную карту в диалоговом режиме. С помощью курсора задается начальная точка и направление трассирования, после чего автоматически строится центральная линия от начальной точки до конца растровой линии, если по пути не встретится площадной объект или точка пересечения с другой линией. Если центральная линия попадает в точку пересечения, то трассировщик останавливается и ждет, пока оператор снова

укажет направление, в котором нужно продолжить трассирование. После векторизации выполняется проверка и корректировка полученных материалов.

Интерактивная векторизация реализована в специальных программах – векторизаторах – и выгодна при работе с растровыми изображениями средней и малой сложности: GeoVec, Easy Trace, MapEdit и др.

Ручная оцифровка позволяет оператору осуществлять непрерывный контроль над процессом векторизации, задавая с помощью курсора положение каждой вершины центральной линии. Ручная оцифровка используется для векторизации растровых изображений плохого качества, изображений, содержащих сразу нескольких тематических слоев, а также при наличии сложных видов линий. В процессе векторизации оператор выполняет необходимые стыковки между объектами и их границами. По завершению векторизации выполняется контроль и корректура топологии.

Ручная векторизация реализована практически во всех ГИС-программах и применима для работы с растрами любой загруженности и качества.

Если создаваемая векторная карта формируется из нескольких планшетов (растров), то возможны два способа векторизации:

1. Попланшетная векторизация. Для каждого растра создается отдельная векторная карта в единой системе координат. Затем полученные векторные карты сшиваются, объекты по линии сшивки объединяются, если это требуется.
2. Векторизация в едином растровом поле. Создается единое растровое поле посредством одновременной привязки всех растровых карт в единой системе координат. При этом, как правило, физически растры не объединяются. Затем производится векторизация по всему полю без разделения объектов по границам растровых карт. При таком способе векторизации легче обнаружить ошибки сканирования и нестыковки между планшетами до начала работ. [26]

4.3. Процедура векторизации

В процессе векторизации (цифрования) происходит перевод исходных картографических материалов на твердой основе в цифровую форму. Рассмотрим векторизацию в ручном режиме.

4.3.1. Регистрация растрового изображения

Исходное растровое изображение представляет собой набор пикселей, не имеющих пространственной привязки. Поэтому на этапе ввода растровые изображения необходимо зарегистрировать – выполнить позиционную привязку к системе координат. Для регистрации (трансформации, позиционирования) изображения предварительно должны быть определены точки, координаты которых известны (так называемые ТИК-и, точки известных координат).

Регистрация растрового изображения возможна двумя методами. В первом координаты контрольных точек вводятся пользователем с клавиатуры, во втором – они определяются по существующей цифровой карте.

Первый метод регистрации обычно применяется, когда необходимо векторизовать растровое изображение, для которого отсутствует векторный аналог, т.е. при создании новой карты. При таком подходе необходимо сначала определить координаты точек карты, которые будут использоваться в качестве контрольных. Контрольные точки помогают связывать земные координаты с положением объектов на растровом изображении. В идеале контрольные точки должны задаваться в каждом углу растрового изображения, что повышает точность регистрации раstra. Число необходимых контрольных точек зависит от типа проекции изображения, от искажений картографических материалов, а также от выбранного метода трансформации.

Второй метод регистрации растровых изображений основан на вводе координат контрольных точек векторного изображения путем их выбора из существующей цифровой карты. Этот подход применяется, когда необходимо привязать растровое изображение к уже существующей в электронном виде векторной карте, т.е. при обновлении существующей карты. В этом случае

необходимо предварительное опознание и идентификация контрольных точек на растровом изображении и на его векторном оригинале.

Чаще всего в качестве опорных точек используются узлы сетки координат. Преимуществом их использования является то, что они не подвержены генерализации, достаточно легко читаются и имеют известные координаты.

Использование других опорных точек требуется, если на карте нет координатной сетки, при печати произошло смещение красок и существует сдвиг сетки относительно объектов, напечатанных другой краской, или расположение узлов не обеспечивает должного покрытия территории.

1. Точки пересечения могут быть представлены перекрестками дорог, пересечениями административных границ и т.п. К преимуществам использования данного типа опорных точек можно отнести универсальность, так как появляется возможность работать с картой, территория которой лишь частично покрыта узлами координатной сетки, либо не имеет сетки вовсе. К недостаткам можно отнести возможную потерю точности, которая происходит в основном из-за генерализации. Например, при составлении карт часто объединяются мелкие группы объектов в одну. Так, при впадении реки в море устье, состоящее из многих рукавов, рисуется одной линией, но то, что было взято за основу, определить не представляется возможным. В результате возникает ситуация, когда точка пересечения реки и береговой линии на разных картах имеет различные географические координаты и соответственно не является репрезентативной для преобразований. При анализе выбранных опорных точек надо также внимательно следить и за нарушениями взаимного расположения объектов на картах. Например, могут встретиться ситуации, подобные следующей: на одной из карт, подлежащих трансформации, река впадает в море севернее города, а на другой — южнее этого же города. В результате точка пересечения реки и береговой линии, выбранная в качестве опорной, внесет значительные искажения в преобразование.

2. Точечные объекты. В большинстве случаев в качестве опорных точек используются точки населенных пунктов, иногда — отметки высот, реже

геодезические пункты, так как на мелкомасштабных картах они встречаются довольно редко.

3. Прочие объекты. Иногда встречаются ситуации, когда требуется объединить пространственные данные с разных карт, а четко определенных опорных точек нет, например надо «посадить» тематическую карту, в которой, кроме тематической нагрузки, присутствует только береговая линия, на имеющуюся основу. В подобных случаях можно использовать «нечеткие» опорные точки, например характерные точки береговой линии, внутренних водоемов и т. п., однако точность последующего преобразования остается неопределенной и падает в зависимости от величины различия масштабов используемых карт.

Точность преобразования определяется по отклонению координат опорных точек (узлы картографической или километровой сетки, перекрестия планшета) от заданных (теоретических) значений.

В общем случае для хорошо выполненных карт, т.е. для карт, где отсутствуют ошибки составления, средняя квадратичная ошибка контрольных точек после преобразования «проекция — трансформирование плоскости» колеблется в пределах 0,1 — 0,4 мм и достигает до 1,5 — 2,0 мм в случае использования «нечетких» опорных точек [16].

Информация о регистрации хранится в специальном табличном файле. Для устранения ошибок, допущенных при регистрации растрового изображения, необходимо использовать режим изменения положения контрольных точек или количества контрольных точек.

4.3.2. Создание слоев

Необходимые слои создаются в соответствии с проектируемой структурой данных. Рекомендуется для каждого типа геометрии создавать отдельный слой, например, слой линейных объектов гидрографии и слой площадных объектов гидрографии.

4.3.3. Векторизация

Векторизация (оцифровка) выполняется методом обвода объектов по растру. Делается активным (редактируемым) нужный слой, выбирается инструмент

векторизации (точка, полилиния,..) и обводятся объекты. Для создания корректной топологической модели, в процессе векторизации выполняются необходимые стыковки (snap): к узлу, к дуге, к вершине, к узлу другого слоя, к дуге другого слоя, к вершине другого слоя, захват участка дуги и т.п.

4.3.4. Сборка полигонов

В целях создания корректной топологической модели векторных данных площадные объекты получают методом сбора из линейных границ. Особенно это важно, когда полигоны имеют много общих границ – если их обводить повторно, то обязательно будут ошибки. Вначале оцифровываются границы будущих полигонов в виде полилиний с необходимыми стыковками. Выполняется поиск ошибок оцифровки (висячие узлы и т.п.) и корректура полилиний.

Затем выполняется сборка полигонов. Полигоны, как правило, сохраняются в отдельном площадном слое. Полигон состоит из центроида (точки внутри) и полилиний, образующих замкнутую границу. Центроиды могут создаваться либо автоматически в процессе сборки полигонов, либо вручную в процессе векторизации в отдельном точечном слое (как правило, это делается для привязки и ввода атрибутов в процессе оцифровки). Для каждого полигона необходим только один центроид. В связи с этим возможно возникновение ошибок двух типов: отсутствующие центроиды и лишние центроиды (рис.4.6).

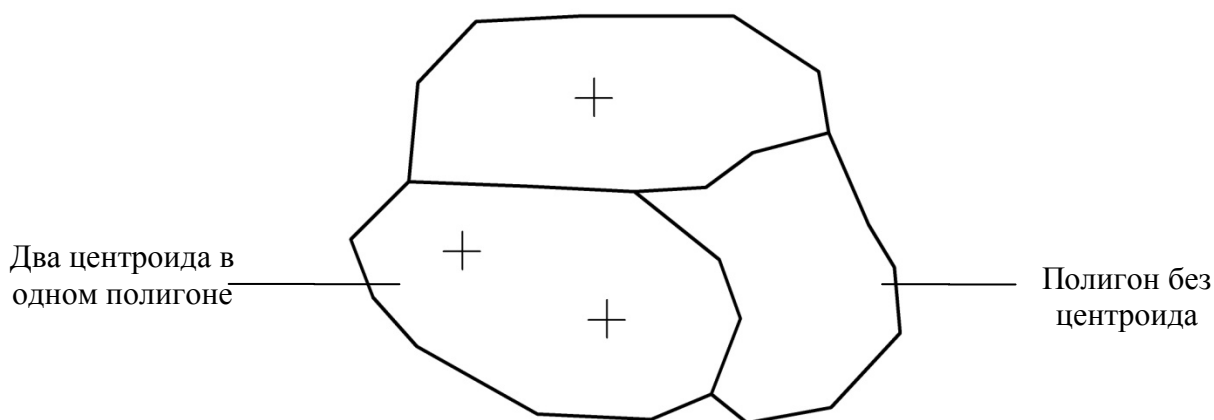


Рис. 4.6. Ошибки с центроидами

После сборки полигонов выполняют поиск и проверку несобранных дуг – полилиний, не ставших границами новых полигонов. Также выполняют поиск и устранение так называемых «паразитных полигонов» (осколочных) - мелких и не

имеющих смысла в масштабе карты полигонов, полученных из-за некорректности отдельных полилиний, например, при повторном обводе одной границы (их можно найти и проверить по площади полигонов). Выявленные ошибки устраняют и выполняют сборку полигонов повторно.

При сборке полигонов необходимо обратить особое внимание на корректность обработки «дыр» и «островов».

4.3.5. Поиск и коррекция ошибок

После векторизации (ручной, автоматической и т.п.) выполняют поиск и корректуру ошибок.

В общем случае работают в следующем порядке:

1. Поиск и коррекция ошибок геометрии объекта (аномалий).

Ищутся и устраняются такие ошибки, как самопересечения, повторяющиеся вершины (точка на точке), вырожденные (в точку) объекты и др.

2. Поиск и коррекция ошибок геометрии внутри слоя:

- недолеты, перелеты (рис. 4.7.);
- висячие узлы для полилиний, из которых будут собираться полигоны (рис. 4.7.);
- пересечения;
- несовпадающие узлы (когда узлы/вершины разных объектов находятся близко, но не стыкуются);
- и т.п.

Исправления таких ошибок возможны следующим образом. В случаях «недолётов» узел передвигается или «присоединяется» к объекту, с которым он должен быть соединен. «Перелёты» исправляются определением должной точки пересечения и «обрезанием» линии так, чтобы она соединялась там, где следует. Участки с висячими узлами либо удаляются, либо замыкаются до нормальных узлов. В местах пересечений ставятся вершины или объекты разрезаются. Несовпадающие узлы/вершины при необходимости соединяются или стыкуются.

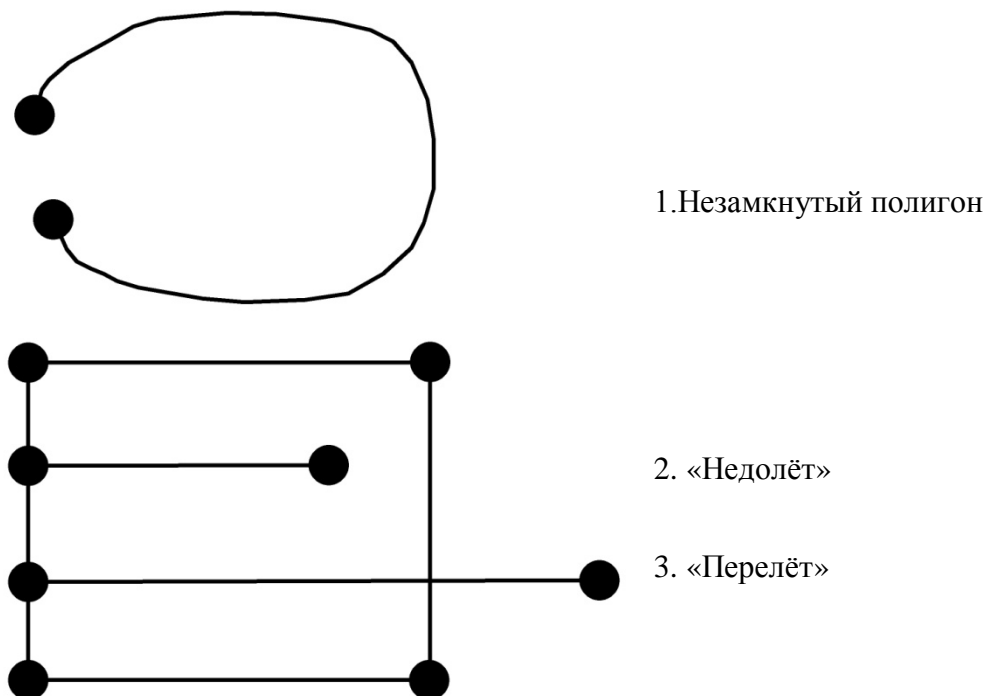


Рис.4.7. Виды ошибок узлов

3. Поиск и коррекция ошибок геометрии между слоями.

Выполняют аналогично предыдущему этапу.

В процессе поиска ошибок часто требуется задать размер или радиус поиска. При меньшем радиусе будут обнаружены не все ошибки, при большем радиусе обнаруживаются ситуации, не являющиеся ошибками. Поэтому рекомендуется брать радиус поиска большего размера, и, когда среди найденного перестанут попадаться ошибки, поиск данной ошибки можно прекратить.

Многие ГИС позволяют выполнять автоматическое исправление найденных ошибок. Автоматическое исправление часто может привести к появлению новых ошибок, поэтому пользоваться им рекомендуется только с особым контролем результатов. Перед началом автоматического исправления необходимо убедиться, что найденные ошибки действительно являются ошибками, а не результатом завышенного радиуса поиска и т.п.

4.3.6. Идентификация и ввод атрибутивных данных

В случае если в ГИС атрибутивная таблица не создается одновременно с графическим слоем, необходимо выполнить идентификацию объектов – присвоение

уникальных целочисленных номеров каждому объекту слоя. После идентификации проверяется количество проставленных идентификаторов и количество объектов слоя, ищутся объекты без идентификаторов.

Затем создается таблица атрибутов с пустыми записями, соответствующими идентификатором для каждого объекта слоя. Проверяется количество строк в таблице и количество графических объектов в слое.

Для каждого объекта слоя в таблице заполняются атрибуты с проверкой соответствия объекта слоя и записи в таблице атрибутов. Атрибуты могут вводиться путем выбора объекта на карте через окно информации (или через таблицу в выбранной записи данного объекта), или напрямую в таблицу атрибутов с подсветкой объекта на карте для проверки.

4.4. Картографические проекции. Трансформация координат

4.4.1. Общие системы координат

Координаты используются для указания местоположения на земной поверхности. Можно выделить следующие основные системы координат (СК) [38]:

1. Декартова (плоская) система координат (рис. 4.8.). Расстояние рассчитывается по формуле (4.1).

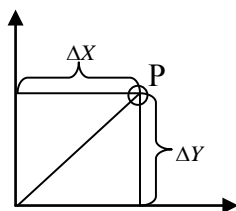


Рис. 4.8. Декартова система координат

$$D = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \quad (4.1)$$

Расстояние также может вычисляться в так называемой метрике Манхеттен (определяют сумму длин прямолинейных отрезков, параллельных осям x и y) по формуле (4.2):

$$D = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}. \quad (4.2)$$

2. Полярные координаты (плоская система координат). Данная СК отображена на рис. 4.9. Используется в геодезических построениях (полярный метод).

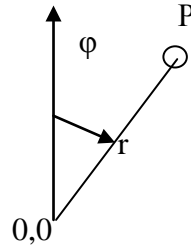


Рис. 4.9. Полярная система координат

При переходе к прямоугольной системе координат приращения вычисляют по формулам (4.3, 4.4).

$$dX = r \cdot \cos \varphi \quad (4.3)$$

$$dY = r \cdot \sin \varphi \quad (4.4)$$

3. Геодезические сферические координаты (рис. 4.10.).

В геодезической эллипсоидальной системе координат используется референц-эллипсоид в качестве модели Земли. За основную плоскость отсчёта принимается плоскость экватора. Положение точек на поверхности эллипсоида определяется геодезическими координатами: геодезической долготой L и геодезической широтой B .

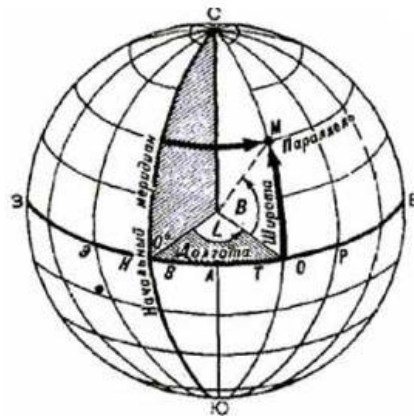


Рис. 4.10. Сферическая система координат

4.4.2. Хранение координат в ГИС

Координаты могут храниться в виде десятичных чисел, вещественных или в виде целых чисел. При использовании целых чисел могут применяться дополнительные характеристики, показывающие положение десятичных точек в заданных единицах измерения.

Если координаты заданы десятичными числами, бывают случаи, что при экспорте-импорте знаки после (,) теряются. В векторной модели точность представления цифр ограничена только возможностями аппаратных средств.

Также необходимо правильно задать тип данных:

- целочисленное;
- вещественное (одинарной или двойной точности);
- десятичное, указывается количество знаков всего и количество знаков после запятой.

Количество значимых десятичных чисел должно определяться точностью исходных данных (в зависимости от масштаба исходной карты и др.). Часто в ГИС данные хранятся при большей разрядности, чем исходная точность.

Многие координаты могут включать дополнительные цифры (номера зон проекции). Необходимо учитывать требуемое количество разрядов.

Широты и долготы измеряются в градусах, минутах и секундах, что не соответствует компьютерному представлению. В компьютере они хранятся в виде десятичных чисел, как правило, в градусах с необходимыми знаками после запятой ($50^{\circ}30' \rightarrow 50.5^{\circ}$).

4.4.3. Картографические проекции

При использовании картографической проекции происходит математическое преобразование географических координат сферы (эллипсоида) в прямоугольные координаты плоскости.

Например, для проекции Меркатора:

$$x = L, y = 1 + \frac{B}{2} \quad (4.6)$$

Часто исходные карты имеют разные проекции, что делает необходимым трансформирование одной или нескольких карт для обеспечения совместимости координат объектов.

При переходе от криволинейной поверхности к плоской происходит искажение углов, площадей, направлений, форм и расстояний в одной проекции. Нельзя убрать все искажения одновременно. Обычно по одному из параметров, добиваясь минимального искажения, по другим искажение получается более значительным.

Можно выделить следующие основные виды проекций:

- равноугольные (конформные) – отсутствуют искажения углов;
- равновеликие (равноплощадные, эквивалентные) – отсутствуют искажения площадей;
- равнопромежуточные – искажаются углы, площади и длины линий, сохраняются относительные расстояния для одной или нескольких точек.

На территории РФ при разработке крупномасштабных карт используют равноугольную поперечно-цилиндрическую проекцию Гаусса-Крюгера [31]. Для задания этой проекции в ГИС задаются следующие параметры:

- долгота осевого меридиана;
- широта исходной параллели (или две граничных широты);
- смещение зоны по оси X (500 000 м);
- масштабный коэффициент по осевому меридиану (равен 1);
- могут задаваться координаты границ объектов карты (экстремумы).

В зарубежных ГИС существует похожая проекция – UTM (Universal Transfer Mercator). Она отличается от проекции Гаусса-Крюгера масштабным коэффициентом (он равен 0,9996) по осевому меридиану и системой нумерации зон (38 для Нижегородской области вместо 8 в проекции Гаусса-Крюгера). Для задания российских систем координат в зарубежных ГИС используется проекция Меркатора с требуемыми параметрами.

Во многих современных ГИС существует возможность работать с проекциями. Как правило, внутренние координаты в ГИС хранятся в прямоугольной системе координат (карты отображаются на плоскости — мониторе), другие проекции при необходимости перевычисляются и отображаются на экране. Если у двух слоев заданы проекции, то современные ГИС позволяют отобразить их вместе в одном окне карты в одной проекции. В данном случае преобразование проекции выполняется «на лету».

ГИС позволяют задавать системы координат. Как правило, они задаются и хранятся в отдельном файле, при работе используются основные типы проекций и их параметры. Также задаются параметры эллипсоидов.

4.4.4. Трансформация координат

Выделяют два основных вида трансформации слоев ГИС:

1. Трансформация координат (плоские, декартовы);
2. Трансформация проекции (необходимо задать параметры исходной проекции и параметры выходной проекции).

Типы трансформации координат:

1) Сдвиг, поворот, масштабирование. Минимальное количество точек – 2. На рис. 4.11 представлен пример такого преобразования.

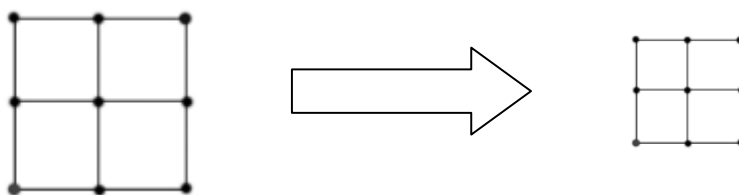


Рис. 4.11. Преобразование координат первым типом трансформации

2) Аффинные. Минимальное количество точек – 3. Аффинная трансформация представляет собой преобразование плоскости. В процессе выполняется сдвиг, поворот и масштабирование. На рис. 4.12 показан пример такого преобразования.

3) Полиномиальные ($y=ax^2+bx+c$). Полиномы могут быть разных порядков, чем больше степень, тем больше число минимальных точек. При преобразовании происходит неравномерное искажение. Основные полиномиальные преобразования показаны на рис. 4.13.

4) Локально-аффинные (рис. 4.14). Каждая точка преобразования трансформируется в указанное место. Все, что расположено между точками, растянется или сожмется. Если в точках присутствует ошибка, она полностью войдет в результат трансформации. Поэтому требуется доскональная проверка точек и результатов трансформации.

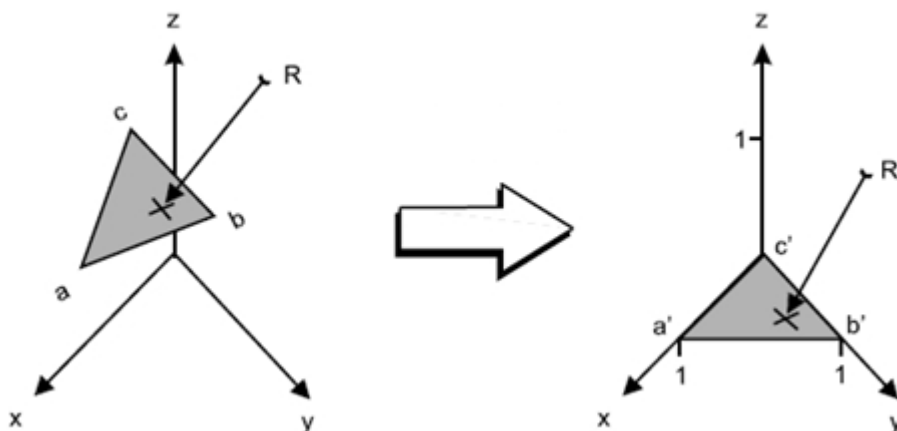


Рис. 4.12. Аффинные преобразования треугольника

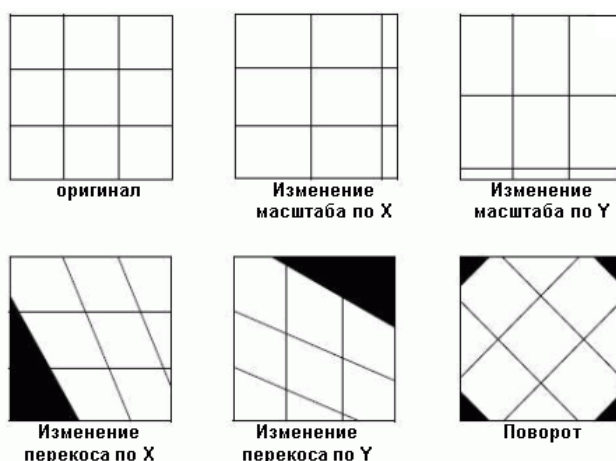


Рис. 4.13. Полиномиальные преобразования

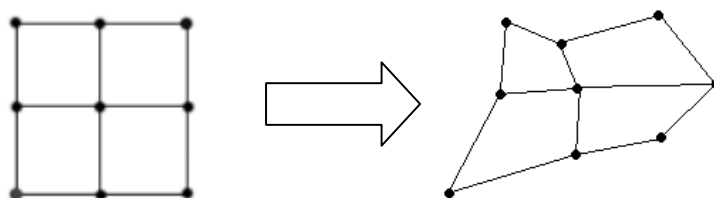


Рис. 4.14. Локально-аффинные преобразования

5) Проективные (минимум 4 точки). В основном используется для трансформации аэрофотоснимков. На рис. 4.15 представлен пример такого преобразования.

Рекомендуется чаще использовать аффинное преобразование. Проективное рекомендуется использовать только при проецировании.

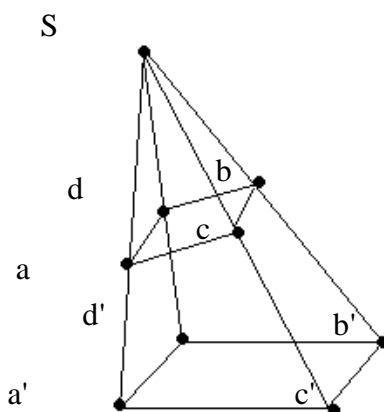


Рис. 4.15. Проективное преобразование

Для расчета оценки точности необходимо задать количество точек, превышающее минимальное.

При трансформации растра, как правило, выполняется пересчет сетки пикселей. В результате создается новый растр.

Вопросы:

1. Назовите основные формы ввода данных в ГИС.
2. Основные принципы выбора контрольных точек при позиционировании растрового изображения.
3. Что такое топология?
4. Назовите основные типы узлов векторной модели.
5. Назовите основные системы координат.
6. Отличия проекции UTM от проекции Гаусса-Крюгера.
7. Как хранятся данные о проекциях в ГИС?
8. Назовите основные способы трансформации координат.
9. Объясните, чем отличается аффинное преобразование от локально-аффинного. Почему их разделяют?

РАЗДЕЛ 5. АТТРИБУТИВНЫЕ БАЗЫ ДАННЫХ

Атрибутами в геоинформатике называются описательные свойства пространственных объектов или групп объектов. Атрибуты могут выражать любые характеристики объектов (например, физические, экологические, социальные, экономические и т. д.) и могут быть присвоены любому типу пространственных данных (например, точке, линии или области векторных моделей; пикселям и вокселям растровых моделей или другим пространственным представлениям множеств). Атрибут – это информация, используемая при разработке цифровых карт, определении местоположения и выполнении пространственного анализа. Для хранения и осуществления операций над атрибутами существует программное обеспечение ГИС, управляющее специальными моделями данных. Данные модели могут существовать и управляться средствами как внутри самой ГИС, так и средствами внешнего программного обеспечения для управления базами данных (СУБД).

5.1 Основные элементы базы данных ГИС

База данных — организованная совокупность данных, хранимых в соответствии со схемой [20].

База пространственных данных – это набор пространственно определенных данных, выступающих как модели реальных объектов и явлений [8].

Объекты и явления, моделируемые с помощью ГИС, имеют следующие представления:

1. объект;
2. предмет;
3. условный знак – для показа предмета (или объекта) на карте или другом графическом изображении.

Сходные явления, информация о которых будет храниться в базе данных, определяются как типы объектов. Это любая группа сходных явлений, которые должны иметь одинаковую форму хранения и представления, например дороги,

реки, высоты, растительность. Тем самым обеспечивается концептуальная основа для общей характеристики явлений. Форма интерпретации данных во многом зависит от точки зрения той или иной организации. Каждый тип объектов должен быть однозначно определен, так как это помогает выявить перекрывающиеся категории данных и вносит ясность в содержание базы данных.

Первый этап в создании базы данных – отбор объектов. Осуществляется в соответствии с задачами организации и целью разработки базы данных. Этот этап не менее важен, чем сама база данных, поскольку во многом определяет дальнейшую разработку. Следующий этап – поиск адекватных способов пространственного представления каждого типа объектов.

Для цифрового представления типов объектов в базе пространственных данных необходимо выбрать подходящие типы предметов (точки, полилинии, полигоны). Эта классификация основана на следующем определении пространственной размерности.

Класс предметов – набор предметов, представляющих набор объектов (в большинстве ГИС это слой). Например, множество точек для представления множества колодцев.

Атрибут – признак объекта, выбранного для представления в ГИС, обычно не имеет пространственного характера. Хотя некоторые могут иметь связь с пространственной природой изучаемого объекта, например площадь, периметр.

Значение атрибута – это истинное значение признака (измеренное или наблюдаемое), которое хранится в базе данных. Почти всегда тип объекта маркируется и опознается по своим атрибутам. Например, дорога обычно имеет название и идентифицируется по ее классу – переулок, скоростная автострада. Значения атрибутов часто упорядочиваются в виде таблиц, строки которых соответствуют отдельным объектам, а столбцы – признакам. Таким образом, каждая клетка таблицы отражает значение определенного признака для определенного объекта. В ГИС используется реляционная модель атрибутивных данных.

Моделью базы данных называется концептуальное описание базы данных с определением типа объектов и его атрибутов. Каждый тип объектов представлен особыми пространственными типами предметов. Когда база данных создана, модель является ее представлением, которое система может предоставить пользователю, возможны и другие представления, но это наиболее целесообразно, поскольку на нем основывалась концепция базы данных. Модель не всегда непосредственно связана со способом хранения информации в базе данных.

Пространственные предметы группируются в слои, именуемые также классами, перекрытиями, наложениями или темами. Один слой может представлять один тип объектов или группу концептуально взаимосвязанных типов объектов. Например, слой может включать только отрезки водотоков или же водотоки, озера, береговую линию и болота. Возможны самые разные варианты системы слоев, как и модели данных. Некоторые базы пространственных данных ГИС созданы путем объединения всех объектов в один слой.

5.2. Системы управления базами данных

Система управления базами данных (СУБД) – это совокупность программных и лингвистических средств общего или специального назначения, обеспечивающих управление созданием и использованием *баз данных* [24].

Основные функции СУБД:

- управление данными во *внешней памяти* (на дисках);
- управление данными в *оперативной памяти* с использованием *дискового кэша* (буфера памяти быстрого доступа);
- *журнализация изменений, резервное копирование и восстановление базы данных* после сбоев;
- *поддержка языков БД* (язык определения данных, язык манипулирования данными).

Обычно современная СУБД содержит следующие компоненты:

- ядро, которое отвечает за управление данными во внешней и оперативной памяти, и *журнализацию*;

- процессор языка базы данных, обеспечивающий *оптимизацию запросов* на извлечение и изменение данных и создание, как правило, машинно-независимого исполняемого внутреннего кода;
- подсистему поддержки времени исполнения, которая интерпретирует программы манипуляции данными, создающие пользовательский интерфейс с СУБД;
- сервисные программы (внешние утилиты), обеспечивающие ряд дополнительных возможностей по обслуживанию информационной системы.

5.3. Классификация БД

А. По модели данных:

1. *Иерархические* или *древовидные*. Иерархические базы данных могут быть представлены как дерево, состоящее из объектов различных уровней. Между объектами существуют связи, каждый объект может включать в себя несколько объектов более низкого уровня. Такие объекты находятся в отношении предка (объект, более близкий к корню) к потомку (объект более низкого уровня), при этом возможна ситуация, когда объект-предок не имеет потомков или имеет их несколько, тогда как у объекта-потомка обязательно только один предок. Объекты, имеющие общего предка, называются близнецами. На рис. 5.1 представлена иерархическая модель данных.

2. *Сетевые*. К основным понятиям сетевой модели базы данных относятся: уровень, элемент (узел), связь. Узел — это совокупность атрибутов данных, описывающих объект. На схеме иерархического дерева узлы представляются вершинами *графа*. В сетевой структуре каждый элемент может быть связан с любым другим.

Сетевые базы данных подобны *иерархическим*, за исключением того, что в них имеются указатели в обоих направлениях, которые соединяют родственную информацию. Несмотря на то что эта модель решает некоторые проблемы, связанные с иерархической моделью, выполнение простых запросов остается достаточно сложным процессом.

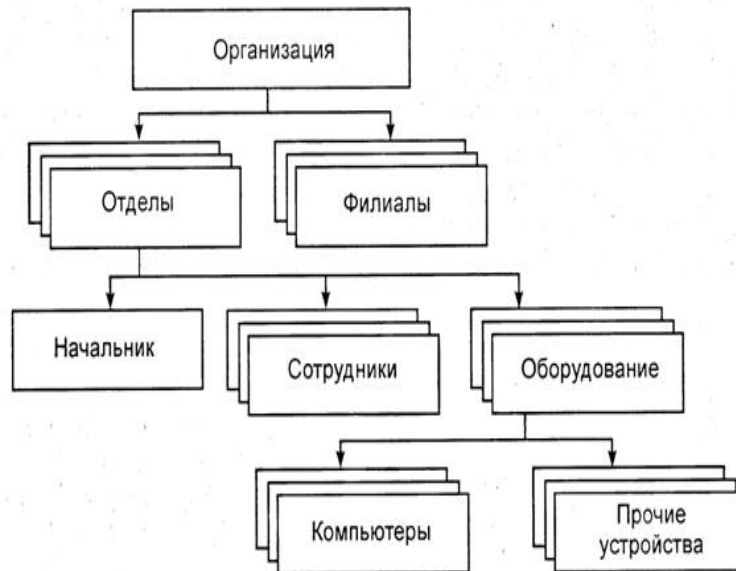


Рис. 5.1. Иерархическая модель данных

Также, поскольку логика процедуры выборки данных зависит от физической организации этих данных, эта модель не является полностью независимой от приложения. Другими словами, если необходимо изменить структуру данных, то нужно изменить и приложение. На рис. 5.2 представлена сетевая модель данных.

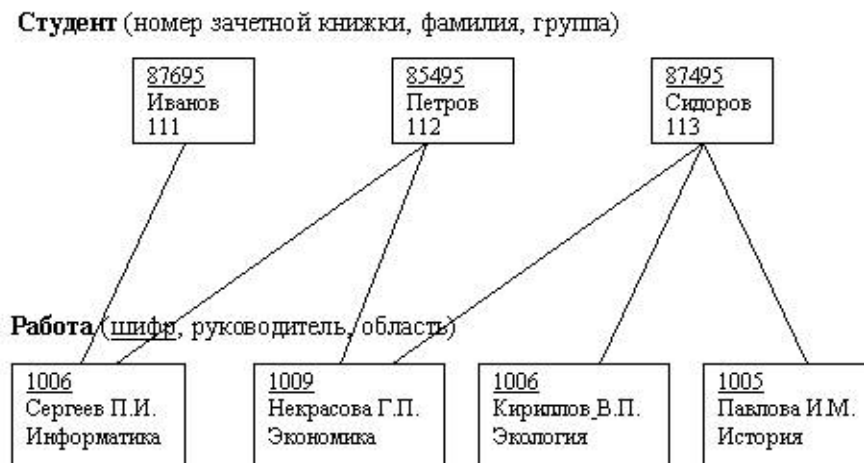


Рис. 5.2. Сетевая модель БД

3. *Реляционные* (англ. *Relation* — отношение). Эти модели характеризуются простотой структуры данных, удобным для пользователя «табличным» представлением. Реляционная модель ориентирована на организацию данных в виде двумерных таблиц. Пример такой таблицы представлен на рис. 5.3.

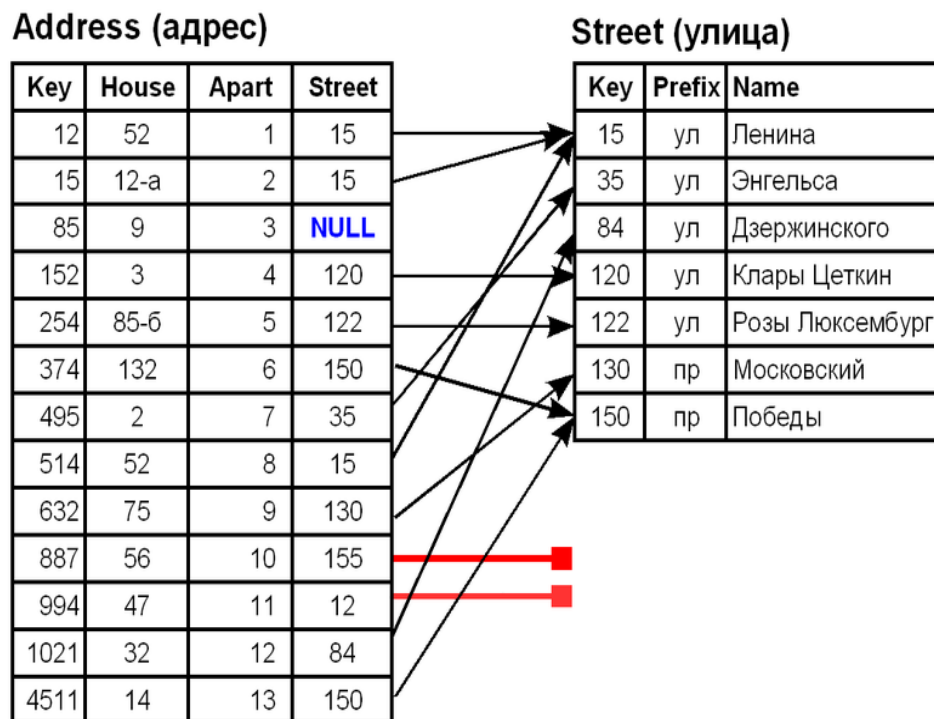


Рис. 5.3. Пример таблицы реляционной БД

Базовыми понятиями реляционных БД являются [17]:

- *Сущность* – это реальный или представляемый объект, информация о котором должна сохраняться и быть доступна.
- *Атрибут* (поле, столбец таблицы) – это показатель, который характеризует объект и принимает для конкретного экземпляра объекта числовое, текстовое или иное значение. Информационная система оперирует наборами объектов, спроектированными применительно к данной предметной области, используя при этом конкретные значения атрибутов (данных) тех или иных объектов.
- *Связь* представляет собой простые ассоциации между сущностями. Связь можно задавать между любыми атрибутами, которые имеют сопоставимые значения данных. Связь бывает трех типов: «один к одному», «один ко многим», «многие ко многим».
- *Домен* – конечное множество допустимых значений некоторой величины.
- *Отношение* – описывает связь между элементами БД часто в виде таблицы. Обычно отношение соответствует некоторой сущности, а домены – атрибутам сущности.

- *Кортеж* (запись, строка таблицы) – элемент отношения. Если отношение представлено в виде таблицы, то кортеж — строка таблицы, кортеж соответствует объекту.

Для большинства ГИС используется реляционная модель базы данных. Рассмотрим основные типы используемых атрибутов:

- строковые (string);
- целые (integer);
- десятичные (float-вещественные, decimal);
- логические (logical, boolean);
- дата (date).

4. *Объектно-ориентированная* база данных (ООБД) – база данных в виде моделей объектов, включающих прикладные методы, которые управляются внешними событиями. Базовыми понятиями ООБД являются:

- Класс – коллекция однотипных объектов и явлений окружающего нас мира. Например, здание ТЦ «Республика» входит в класс объектов недвижимости; земельный участок с номером 52: 17: 13 45 09: 67 входит в класс земельных участков и т.д.
- Свойства класса – характеристики, описывающие класс объектов в заданной структуре данных. Например, для земельного участка указывают площадь, право собственности, кто владелец участка и т.д.
- Методы класса – операции, которые можно применить к объекту. Например, владелец может продать участок, сдать его в аренду и т.д., для каждого из видов деятельности будут характерны свои методы. По сути, это процедуры или функции, выполняемые применительно к данному объекту.

Объект создается по шаблону класса, является экземпляром класса, после создания использует свойства и методы класса.

Б. По степени распределённости:

1. *Локальные* БД (все части локальной БД размещаются на одном компьютере). Например, Microsoft Access.
2. *Клиент-серверные*. Клиент-серверная СУБД располагается на сервере вместе с БД и осуществляет доступ к БД непосредственно, в монопольном режиме.

Все клиентские запросы на обработку данных обрабатываются клиент-серверной СУБД централизованно. Недостаток клиент-серверных СУБД состоит в повышенных требованиях к серверу. Достоинства: потенциально более низкая загрузка локальной сети; удобство *централизованного* управления; удобство обеспечения таких важных характеристик как высокая *надёжность*, высокая *доступность* и высокая *безопасность*. Например: Oracle, Firebird/ Interbase, IBM DB2, MS SQL Server, Sybase, PostgreSQL, MySQL.

3. *Распределённые* БД (части БД могут размещаться на двух и более компьютерах).

Выделяются *файл-серверные* БД, в которых данные располагаются централизованно на файл-сервере в виде файлов. СУБД располагается на каждом клиентском компьютере (рабочей станции). Доступ СУБД к данным осуществляется через локальную сеть. Синхронизация чтений и обновлений осуществляется посредством файловых блокировок. Преимуществом этой архитектуры является низкая нагрузка на ЦП сервера. Недостатки: потенциально высокая загрузка локальной сети; затруднённое централизованное управление; затруднённое обеспечения таких важных характеристик, как высокая надёжность, высокая доступность и высокая безопасность. Применяются чаще всего в локальных приложениях, которые используют функции управления БД. На данный момент файл-серверные СУБД считаются устаревшими. Например: Microsoft Access, Paradox, dBase, FoxPro.

Вопросы:

1. Что такое база данных?
2. Что такое модель базы данных, почему она важна для проектирования базы данных?
3. Что такое СУБД?
4. Классификация БД.
5. Чем отличаются сетевые БД от иерархических?
6. Опишите модель реляционной БД.

РАЗДЕЛ 6. АНАЛИЗ И ЗАПРОСЫ В ГИС

6.1. Аналитические функции ГИС

Аналитические функции используются для решения аналитических задач путем выполнения конкретных операций ГИС. Функции в подавляющем большинстве случаев определены на достаточно высоком уровне, поэтому каждой из них может соответствовать несколько команд [8]. Функции определяются независимо от технических аспектов и от моделей данных.

Основные аналитические функции ГИС:

1. *Измерение*. Выполняется определение геометрических параметров пространственного объекта (измерить длину линейного объекта, площадь или периметр площадного и др.) Результаты можно записать в атрибуты объектов.

2. *Трансформация координат*. Производится изменение координат объектов, на требуемые, т.е. каждая точка трансформируемого объекта в результате выполнения функции приобретает новые координаты. Объектами могут являться как растровые, так и векторные данные. Основные операции: изменить масштаб объекта относительно «эталонных» объектов, изменить систему координат, изменить проекцию. Например, совместить карту по контрольным точкам, провести соответствующее изменение координат.

3. *Создание объектов*. В ходе этих функций создаются новые объекты. Существуют следующие способы создания объектов:

а) ввод пользователем, например, с помощью мыши (оцифровываются);

б) создание по уже имеющимся объектам. Например, буферные зоны точек, линий, ареалов; полигоны вокруг точек для отнесения всех местоположений к ближайшей точке и создание полигонов (Тиссена, Вороного).

4. *Выбор подмножества объектов*. Осуществляется на базе выбора атрибутов, определения районов или с помощью «окна» (специальный инструмент). Например, выбрать все объекты площадью более 30 га.

5. *Изменение атрибутов объектов* [8]. Возможно, производить следующими способами: при помощи клавиатуры, путем арифметических операций на базе имеющихся атрибутов (например, найти плотность), по определенным правилам, используя реляционные и логические операции (например, если земельный участок является пашней, значит, категория земель будет первой).

6. *Агрегирование* – вычисление статистических показателей для набора объектов, например: подсчет количества объектов, вычисление суммы значений или среднего значения указанного атрибута, вычисление статистических коэффициентов (например, среднего квадратичного отклонения, корреляции).

7. *Генерализация, или сглаживание линии*. Позволяет уменьшить извилистость линии или границы ареала, сгладить ее, или уменьшить количество точек, необходимых для ее цифрового представления [21].

8. *Классификация*, представляющая собой логическое деление объема понятий. Объектом классификации в географии является операционно-территориальная единица (ОТЕ), например административно-территориальные единицы. Целью классификаций является получение некоторого количества групп (классов) ОТЕ объектов, максимально похожих друг на друга внутри класса и максимально отличающихся для разных классов [36].

В процессе классификации может быть использована операция снятия границы и слияния полигонов. Данная операция позволяет объединить два полигона одного класса, если полигоны пересекаются или их границы совпадают. Например, соединить два смежных земельных участка одного вида использования в один.

9. *Картографическое наложение (оверлей)*. Относится к наиболее мощным возможностям ГИС и позволяет комбинировать тематические слои между собой. Проверяет и выделяет объекты, которые содержат пересечение (наложение) по следующим правилам: точка в полигоне; линия в полигоне; наложение полигонов [26].

10. *Анализ близости объектов* [8]. Данный анализ подразумевает различные операции с предметами векторной карты на основе расстояния между объектами. В этот анализ входят следующие операции:

– построение буферных зон. Строит буферную зону вокруг выбранного объекта. Пользователь задает, вокруг каких объектов будут построены буферные зоны и то, на какое расстояние будет построена буферная зона;

– анализ близости на множестве точек, линий полигонов. Может рассчитать как самые близкие предметы (точки, линии, полигоны) относительно требуемого объекта. Пользователь задает объект, близость к которому будет рассчитываться, какой тип примитивов (точка, линия, полигон) необходимо найти и расстояние, на котором происходит поиск. Например, найти все геодезические пункты в 10 км от университета;

– генерация полигонов Тиссена – полигональные области (локусы), образуемые на заданном множестве точек таким образом, что расстояние от любой точки области до данной точки меньше, чем для любой другой точки множества. Границы являются отрезками перпендикуляров, восстановленных к серединам сторон треугольников в триангуляции Делоне, которая может быть построена относительно того же точечного множества. Пользователь выбирает множество, на основе которого происходит генерация полигонов;

– расчет веса объекта. Рассчитывает вес объекта относительно ближайших объектов, по заданному параметру. Пользователь задает атрибут, на основе которого рассчитывают вес и область, в которой происходит расчет.

11. *Анализ сетей.* Анализирует линейные сети, результатом может являться как новое атрибутивное значение, так и графическая выборка (поиск маршрута). Выделим операции анализа сетей: поиск кратчайшего пути между двумя точками сети, суммирование значений атрибутов по элементам сети (например, количество светофоров на заданном участке), поиск ближайшего соседа (например, найти ближайший университет к улице Маслякова), поиск по адресам (геокодирование).

12. Операции на поверхностях (часто производятся для топографических поверхностей – ЦМР). Выделим основные операции: определить высоту в заданной точке, построить профиль поверхности, рассчитать горизонтали (линейные объекты) по сетке точек и, наоборот, вычислить сетку углов наклона и экспозиции склонов, найти ареалы, относящиеся к определенным категориям угла

наклона или экспозиции, например угол наклона $< 5\%$, найти границы водосборных бассейнов по ЦМР, определить территорию, видимую из данной точки (видимость) и др.

6.2. Анализ объектов в ГИС

6.2.1. Анализ одного класса объектов

А. Анализ с использованием атрибутов. В этом случае необходима только одна таблица атрибутов, на основе которых проводится анализ данных. Может использоваться любой класс предметов. Рассмотрим этот случай на примере кадастровых кварталов. Атрибуты включают: номер кадастрового квартала (номинальная шкала), число объектов недвижимости (ОН) (пропорциональная шкала), средняя площадь одного ОН (пропорциональная шкала).

Операции ГИС по обработке таблицы атрибутов могут включать:

1. Упорядочивание (сортировка) таблицы в порядке возрастания (убывания) по какому-либо атрибуту. Например, перечислить кадастровые кварталы в порядке возрастания величины средней площади.

2. Выборка данных по заданному атрибуту. Например, перечислить все кадастровые кварталы с числом ОН более 30.

3. Получение новых атрибутивных данных на основе вычисления существующих. Например, вычислить средний налог по каждому кадастровому кварталу и построить график.

Б. Анализ с использованием информации о местоположении. В данном случае, кроме атрибутивной информации, требуется еще и географическая информация об объекте. Рассмотрим основные функции:

1. Создание тематических слоев на основе анализа атрибутивных данных. Например, составить карту, показывающую средний налог по кадастровым кварталам путем их соответствующего закрашивания. Кроме того, для составления карты может использоваться несколько атрибутов. Например, отношение средней площади ОН к налогу на этот ОН.

2. Вычисление атрибутов по пространственным данным. Например, вычислить площадь кадастрового квартала и записать ее в виде нового атрибута. Такие вычисления позволяют создавать более осмысленные карты. Кроме того, могут вычисляться и другие несложные величины, в том числе периметр, положение центра тяжести, расстояние (например, от центральной части города для определения доступности).

6.2.2. Анализ объектных пар

Заключается в анализе между двумя парами предметов. Например, пары, образующиеся в результате комбинации кадастровых кварталов, в том числе и с ними самими. При пяти кварталах возможны 15 комбинаций. При n кварталах возможно C комбинаций. Количество комбинаций рассчитывается по формуле (6.1).

$$C = \frac{n(n+1)}{2}. \quad (6.1)$$

Например, можно задать следующие атрибуты:

- расстояние от кадастрового квартала с наиболее высоким налогом;
- налог по каждому кадастровому кварталу (вычисленный, например, как в пункте 6.2.1);
- площадь кадастрового квартала.

На основе этих данных можно составить карту соотношений. Если показать все пары, карта будет слишком сложной. В некоторых случаях необходимо показать только наиболее показательные участки по заданному анализу пары. Например, центр и самые удаленные кадастровые кварталы города. Результаты такого анализа часто представляются в виде таблиц.

6.2.3. Анализ нескольких классов объектов

Одно из основных преимуществ анализа с использованием ГИС – анализ нескольких классов объектов. Примером такого анализа может служить поиск кратчайшего пути. Для решения подобных задач используются навигационные

системы, показывающие положение машины на карте ближайших улиц, фиксирующие маршрут движения и т.д.

Для данной задачи используется следующая информация:

Звенья сети. Атрибуты звеньев включают: длину звена, напряженность транспортного потока, уличные «пробки», рядность движения, среднюю скорость.

Узлы сети. На перекрестках маршрут может перемещаться с одного звена на другое, используя для этого взаимоотношения звено-узел. Для узлов важны такие атрибуты, как наличие светофора, наземного или подземного перехода и т.д. [8].

6.2.4. Формирование новых объектов

В процессе многих операций ГИС из уже имеющихся пространственных предметов формируются новые. Они могут относиться к одному и тому же или к разным типам, например из точек могут образовываться и точки, и полигоны. Новые предметы могут иметь атрибуты старых предметов, из которых они образованы.

Основными функциями будут:

– создание буферных зон (см. пункт 6.1). Функция представлена на рис. 6.1;

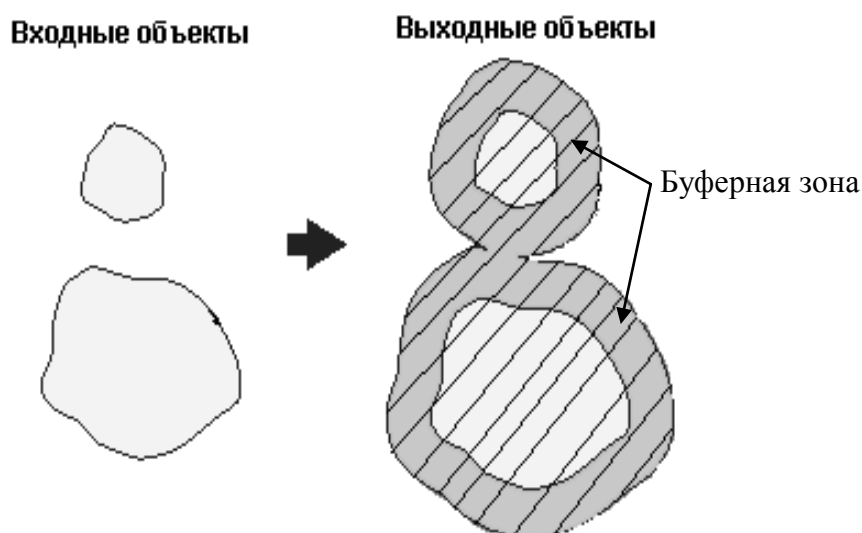


Рис. 6.1. Создание буферных зон

– слияние полигонов. Функция представлена на рис. 6.2;

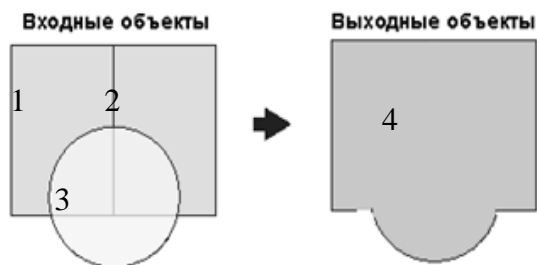


Рис. 6.2. Слияние полигонов

– создание полигонов Тиссена (Вороного). На рис. 6.3 отображена функция создания полигонов Тиссена (Вороного).

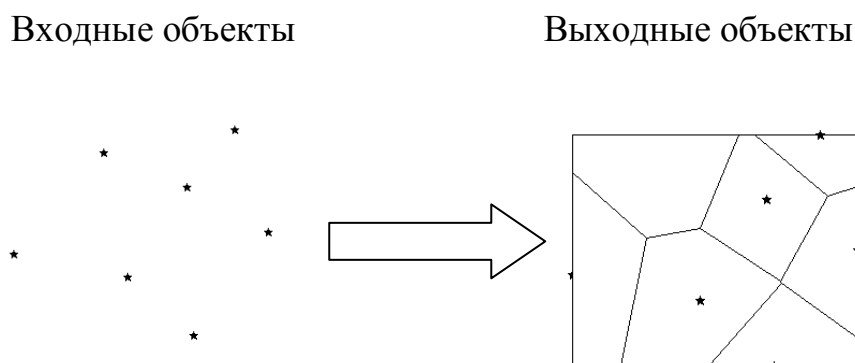


Рис. 6.3. Создание полигонов Тиссена (Вороного)

6.3. Типичные запросы

1. Где находится объект А [8]?

Объект идентифицируется по его уникальным атрибутам (название, идентификатор, почтовый адрес, учетный номер), положение объекта показывается на экране в его реальном окружении.

Распространенный пример запроса – сопоставление адресов: найти координаты или положение здания, потребителя, земельного участка по их почтовым адресам. Сопоставление адресов широко используется в рыночных исследованиях, при обработке данных переписей, для направления пожарных машин на место происшествия. Особый случай представляет собой система автонавигации, показывающая положение автомобиля на постоянно меняющейся карте на небольшом экране, находящемся рядом с водителем.

2. Что представляет собой объект [8]?

Обратный случай запроса 1. Объект указывается с помощью интерактивного устройства (мышь, курсор, световое перо) – в ответ система выдает атрибуты объекта. Например почтовый адрес здания, имя владельца, стоимость здания.

Особый случай данного запроса заключается в определении значения атрибута в данном месте, исходя из сети точек. Например, с помощью ЦМР определить высоту указанной точки.

3. Суммировать признаки объектов, находящихся в пределах расстояния «X». Дать (сумму, все) атрибуты объектов, находящихся в пределах расстояния «X» от этой точки. Результат отображается на экране.

Расширенный вид данного запроса будет выглядеть, например, так: дать общее число потенциальных покупателей земельного участка, проживающих в концентрических зонах шириной 2 км вокруг проектируемого объекта, классифицировав их по среднему доходу. Статистические данные хранятся в виде атрибутов точечных или площадных объектов и агрегируются при ответе на запрос.

Возможность подобных запросов предоставляют многие компании по изучению рынка. Для адресации (передачи) запроса в базу данных клиент указывает координаты (широту и долготу) проектируемого объекта. Крупные организации (например, банк, супермаркет, универмаг) используют подобные запросы тысячи раз за год.

4. Суммировать признаки объектов, находящихся в пределах ареала. Дать (сумму, все) атрибуты объектов в пределах территории (указываются на экране). Например, сколько сельскохозяйственных угодий имеется на данной территории (в зоне затопления после поднятия уровня воды в водохранилище).

5. Найти наилучший маршрут [8]. Определяют, какой путь между двумя точками самый лучший (самый дешевый, самый быстрый, сводящий к минимуму нежелательное воздействие).

База данных требует постоянного обновления атрибутов звеньев, включая строительство дорог, дорожные работы, «пробки». Модель базы данных может быть дискретной (звенья и узлы сети) или непрерывной (растр или сетка).

6. Показать все объекты, удовлетворяющие данным критериям. Например, показать все нефтяные скважины, дающие более 1 куб. м в день.

7. Использование взаимосвязи между объектами. Часто используется для сетей. Некоторые запросы требуют учета во взаимоотношении между объектами. Если эти отношения не хранятся в базе данных, их приходится рассчитывать. Например, чтобы показать все звенья сети водотоков ниже данного, необходимо учитывать взаимоотношение «впадает в». Для того, чтобы показать ближайшую к данной точке дорогу, необходима связь «ближайший к» между дорогами и точкой. Чтобы показать страны, граничащие с данной, необходимо наличие взаимоотношения «смежный с» между странами.

6.4. SQL-запросы

В разных ГИС применяются различные способы формулирования запросов. Во многих системах используется структурированный язык запросов (Structured Query Language – SQL). Структура фразы в SQL:

```
SELECT <атрибут> FROM <таблица> WHERE <условие>.
```

Выбрать объект из таблицы, где значение равно некоему условию.

Например, `SELECT * FROM use WHERE class = «U»`. При этом объекты отбираются только для показа. Пример SQL для списка студентов:

```
SELECT фамилия FROM список (выбирает все фамилии).
```

```
SELECT фамилия FROM список WHERE оценка = 5.0 (выбирает фамилии студентов с оценкой 5.0).
```

```
SELECT фамилия FROM список WHERE средняя оценка >3.0 (выбирает фамилии студентов, у которых средняя оценка больше 3.0).
```

Основные операторы SQL:

- `SELECT` – выбирает данные, удовлетворяющие заданным условиям;
- `INSERT` – вставляет новые данные;
- `UPDATE` – изменяет существующие данные;
- `CREATE` – создает объект БД (саму базу, таблицу, представление, пользователя и т. д.);

– ALTER – изменяет объект (структуру таблицы и др.).

Язык SQL также включает следующие операторы: условий (больше, меньше или равно), арифметические, только для числовых полей (сложение, вычитание, деление, умножение), логические. Знаки логических операций используются для комбинирования условий. Например, WHERE (средняя оценка > 3.0) AND (оценка = «5.0») (выбирает студентов, удовлетворяющих обоим условиям).

6.5. Оверлей. Пространственные запросы в ГИС

Наложение слоев (оверлей) используется для анализа множества разноименных и разнотипных по характеру локализаций объектов. Суть данного средства состоит в наложении двух разноименных слоев (или множества слоев с использованием многократного повторения операции попарного наложения) с генерацией производных объектов, возникающих при их геометрическом наложении, и наследованием их семантики (атрибутов).

Наиболее распространен и практически важен случай оверлея двух полигональных слоев. Возникающие при этом вычислительные трудности связаны с большими затратами машинного времени на поиск координат всех пересечений, образующих полигоны линейных сегментов (возрастающих экспоненциально при росте числа полигонов) [6.4].

В алгоритмах операции наложения могут присутствовать логические операции типа AND, OR, XOR (исключающее «или») и NOT. При изучении логики для наглядной демонстрации знаков логических операций используется пространственное представление в виде диаграммы Венна. То есть наложение полигонов в ГИС – это географический случай диаграммы Венна.

Рассмотрим основные логические операции на основе диаграммы Венна:

1. AND (и) на рис. 6.4 закрашенная зона является удовлетворяющей условию $A \text{ AND } B$, означающему « A и B , но не по отдельности».

2. OR (или) на рис. 6.5 представлено, как закрашенная зона удовлетворяет условию $A \text{ OR } B$ и означает « A или B ».



Рис. 6.4. Диаграмма Венна для условия $A \text{ AND } B$

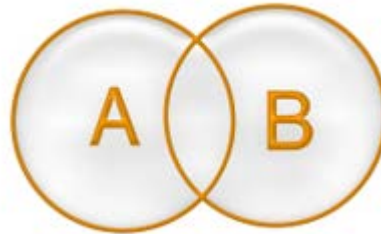


Рис. 6.5. Диаграмма Венна для условия $A \text{ OR } B$

3. NOT (не) на рис. 6.6 представлена закрашенная зона условия NOT A , «все, кроме множества A ».



Рис. 6.6. Диаграмма Венна для условия NOT A

4. XOR (только или) – $A \text{ XOR } B$ означает «или A , или B , но не оба». На рис. 6.7 представлен вид диаграммы Венна для этого условия (заштрихованная область удовлетворяет условию).

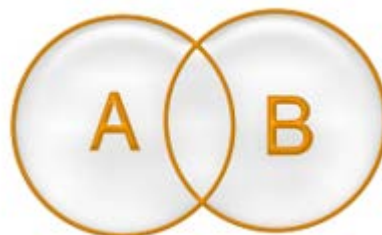


Рис. 6.7 Диаграмма Венна для условия $A \text{ XOR } B$

Расширение SQL для пространственных запросов

В некоторых ГИС возможно использовать SQL для формулирования пространственных запросов. Наиболее распространенные запросы:

– *Intersect* – пересечение. Вычисляет геометрическое пересечение между объектами. На рис. 6.8 представлено отображение результатов работы команды.

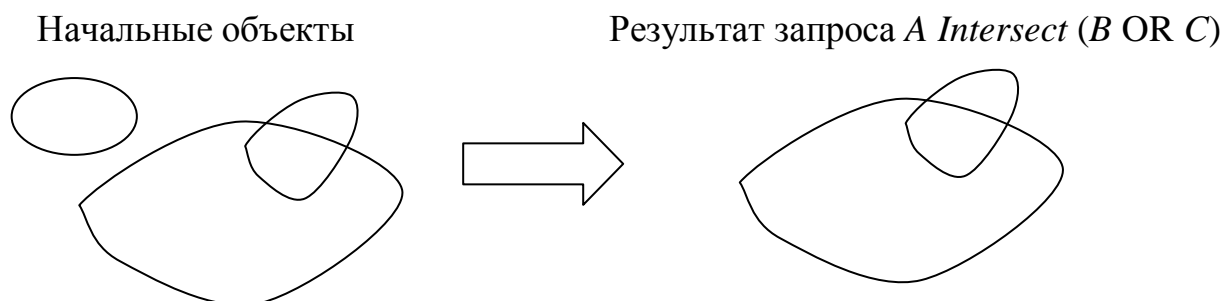


Рис. 6.8. Применение команды «Intersect»

– *Contains* – содержит. Проверяет, содержит ли один объект в себе заданные. В обычной форме проверяет, содержит ли центр оид объекта в выбранном объекте (области, полигоне). Есть варианты функции лишь для части объекта или полностью объекта (рис. 6.9).

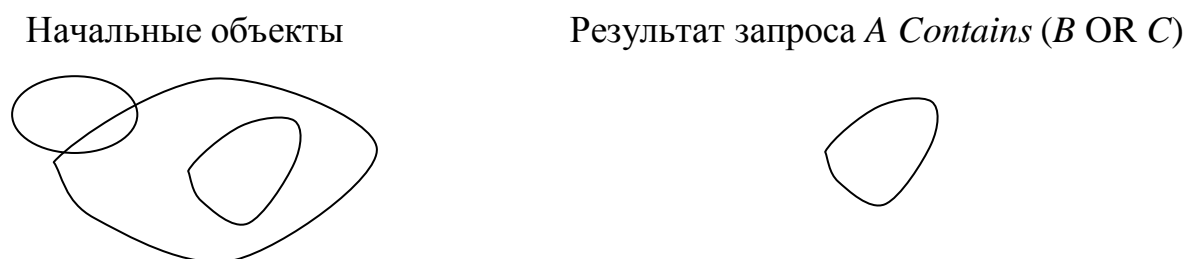


Рис. 6.9. Пример команды «Contains»

– *Within* – обратный случай запроса *Contains*. Содержится ли центр оид объекта в указанном объекте. Рис. 6.10 показывает результат такого запроса.

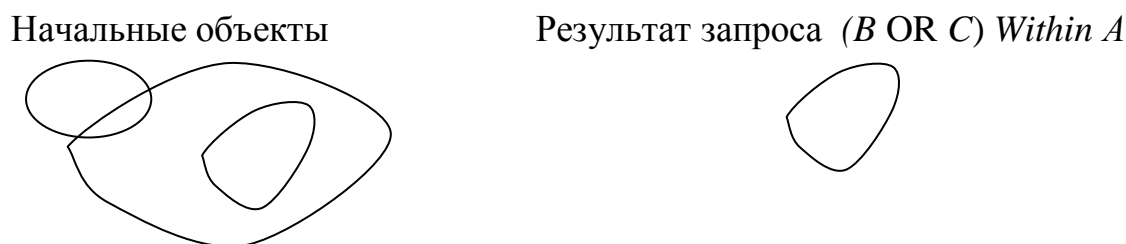


Рис. 6.10. Пример команды «Within»

Вопросы:

1. Назовите типичные запросы в ГИС.
2. Что такое анализ объектных пар?
3. Что такое SQL-запросы?
4. Назовите аналитические функции ГИС.
5. Назовите операции пространственных SQL-запросов.

РАЗДЕЛ 7. ТЕМАТИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ

7.1. Введение в тематическое картографирование

Применение карт в различных областях деятельности привело к их дифференциации. Вначале появились специальные карты как видоизменения общегеографических карт, содержание и оформление которых приспособлялось к запросам определенных групп пользователей. Позже появились тематические карты с элементами, отсутствующими на общегеографических картах, или более детально описывающие отдельные элементы общегеографической карты [34].

В геоинформационных системах тематическая карта состоит из набора тематических слоев, картографической легенды и элементов оформления. В отдельный тематический слой включаются объекты одного типа/класса. Каждый объект отображается при помощи соответствующих условных знаков. Таким образом, тематическое картографирование в ГИС основано на формировании необходимых тематических слоев.

Основные этапы создания тематической карты в ГИС:

1. Подготовка слоев, включая оцифровку, корректное объединение графических объектов в слои и ввод атрибутивных данных.
2. Создание тематических слоев необходимыми методами, в результате в слое каждая группа объектов отображается своим условным знаком.
3. Формирование карты из слоев.
4. Создание картографической легенды.
5. Оформление макета печати, включая задание формата листа, масштаба карты, добавление элементов оформления (масштабная линейка, штамп, график, экспликация и др.).

Тематический слой создается на базе графических объектов и их атрибутов следующим образом:

– создаются тематические группы (ранги, интервалы) объектов на основе заданного поля атрибутивной таблицы;

- каждой отдельной тематической группе задается условный знак для отображения объектов;

- каждый объект слоя представляется условным знаком тематической группы, которой он принадлежит, в соответствии со значением атрибута.

Методы тематического картографирования базируются на методах классической картографии. При этом в ГИС каждый тематический слой создается только на однотипных объектах (точках, линиях или полигонах). Основные методы тематического картографирования в ГИС:

- качественный метод (использует индивидуальные/уникальные значения атрибутов);

- количественный метод (использует упорядоченные диапазоны/ранги численных значений атрибутов);

- метод карто-диаграмм (на каждом объекте отображаются небольшие диаграммы с несколькими значениями атрибутов).

В разных ГИС могут встречаться дополнительные методы создания тематических слоев, например:

- плотность точек;
- изменение размера значков;
- поверхность;
- и др.

Из одного векторного слоя можно получить несколько тематических слоев по разным атрибутам. Например, из слоя земельных участков (или кадастровых кварталов) можно получить тематические слои категорий земель, рыночной оценки и др.

7.2. Качественный метод

Качественный метод используется для группировки однотипных объектов по индивидуальному значению атрибутов – каждое отдельное значение атрибута приводит к созданию отдельной группы объектов со своим условным знаком.

Данный метод в картографии называют способом качественного фона [12]. Но слово «фон» подходит только для площадных объектов, а в ГИС данный метод используется также для создания линейных и точечных тематических слоев.

Метод используется с числовыми и строковыми атрибутами. Неудобство может возникнуть, если уникальных значений в слое много – тогда для множества групп будет сложно подобрать различимые условные знаки (в случае, если условные знаки разных групп не различимы, пропадает смысл создания тематического слоя). Поэтому, например, для атрибутов «Площадь», «Название» использовать данный метод не рекомендуется. В основном качественный метод используется для типизирующих атрибутов: типы, виды, классы, группы, категории и т.д.

Порядок создания тематического слоя качественным методом:

1. Выбирается слой и атрибут таблицы.
2. Автоматически создаются группы по каждому уникальному значению выбранного атрибута.
3. Задаются условные знаки каждой группе объектов в соответствии с типом геометрии. При этом может быть использован только один тип геометрии для всех объектов в одном тематическом слое.
4. Присваиваются подписи каждой группе объектов. Например, вместо типа 1 пишется словесное понятное название. Задаются подписи названия тематического слоя для отображения в окне легенды.

Примеры тематических слоев, созданных качественным методом:

- типы почв;
- виды растительности;
- типы населенных пунктов;
- функциональное зонирование территории;
- категории земель.

7.3. Количественный метод

Количественный метод используется для группировки объектов слоя по упорядоченным диапазонам/рангам численных значений их атрибутов. Данный метод в картографии называют способом количественного фона [12].

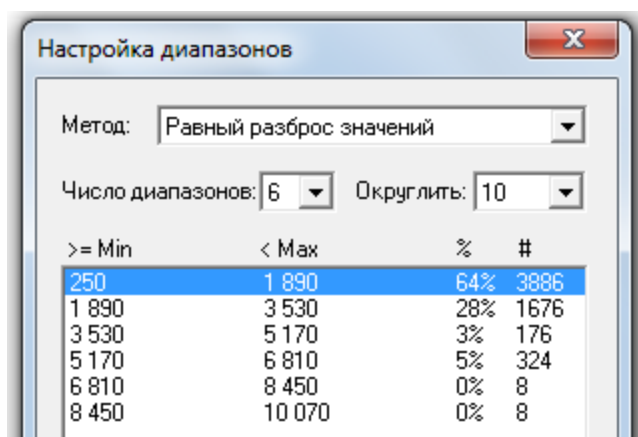
Метод используется только с числовыми значениями атрибутов: целочисленными, вещественными, десятичными.

Порядок создания тематического слоя качественным методом:

1. Выбирается слой и атрибут таблицы.
2. Создаются диапазоны/ранги значений атрибутов. При создании диапазонов могут быть использованы функции автоматического ранжирования: равные диапазоны, равное количество (попавших в диапазоны объектов) и др. (рис.7.1). Как правило, вначале при помощи функции автоматического ранжирования рассматриваются варианты диапазонов и количество объектов в них. Затем выбирается более подходящее ранжирование и вручную корректируются значения диапазонов.

Для лучшего понимания полученной карты рекомендуется:

- в итоге получать диапазоны равного значения, а вместо крайних значений диапазонов в легенде отражать «более ..» и «менее ..»;
- округлять численные значения полученных диапазонов, например, задавать 3300 вместо 3285,597;



>= Min	< Max	%	#
250	1 890	64%	3886
1 890	3 530	28%	1676
3 530	5 170	3%	176
5 170	6 810	5%	324
6 810	8 450	0%	8
8 450	10 070	0%	8

Рис.7.1. Задание диапазонов значений

3. Задаются условные знаки каждой группе объектов в соответствии с типом геометрии. При этом может быть использован только один тип геометрии для всех объектов в одном тематическом слое.

При количественном методе в условных знаках, как правило, используют цветовую схему перехода от одного крайнего значения цвета до другого: от светло-зеленого до темно-зеленого и т.п.;

4. Присваиваются подписи каждой группе объектов. Задаются подписи названия тематического слоя для отображения в окне легенды.

Примеры тематических слоев, созданных качественным методом:

- кадастровая стоимость;
- рыночная стоимость;
- индекс растительности;
- баллы бонитета почв.

7.4. Картодиаграммы

Метод картодиаграмм позволяет отобразить численные значения нескольких атрибутов одного объекта в виде небольшой диаграммы. В ГИС часто используют круговые или столбчатые диаграммы. Размер столбиков/секторов в диаграмме пропорционален значениям атрибутов (рис.7.2), поэтому значения атрибутов должны между собой коррелировать (иначе маленькое значение будет просто не видно).

В картографии данный метод используется в виде способа локализованных диаграмм (для отражения сплошного или полосного распространения явления) или способа картодиаграмм (для статистических данных) [12]. В ГИС данный метод может применяться для объектов любого типа геометрии, но диаграммы создаются на центроиде объекта [7].

Метод используется только с числовыми значениями атрибутов: целочисленными, вещественными, десятичными.

Порядок создания тематического слоя методом картодиаграмм:

1. Выбирается слой и несколько атрибутов таблицы;

2. Задаются параметры размера диаграммы: соответствие размера столбца и числового значения характеристики, размер круговой диаграммы как сумма значений атрибутов;
3. Задаются цвета в диаграмме для каждого атрибута/характеристики;
4. Присваиваются подписи каждому атрибуту.
5. Задаются подписи названия тематического слоя для отображения в окне легенды.

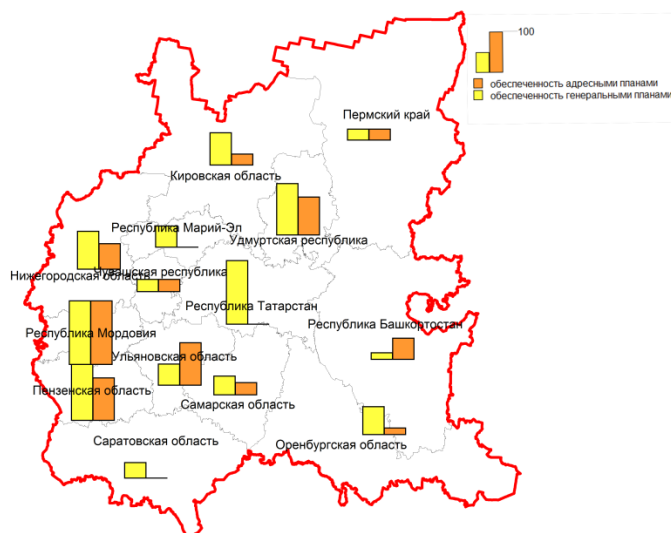


Рис.7.2. Картодиаграммы

7.5. Картографическая легенда

Картографическая легенда в ГИС, как правило, создается в отдельном специализированном окне. В легенде отображается список слоев карты и применяемые условные обозначения. Если слой является тематическим, то раскрываются условные знаки всех используемых групп объектов.

Картографическая легенда в ГИС интерактивная, при нажатии мышью открывается окно для редактирования условных обозначений объектов слоя и т.д. В ряде ГИС функционал окна картографической легенды совмещен с функционалом окна управления слоями.

Для отображения легенды в макете печати используется специальная функция, создающая фрейм на основе окна картографической легенды. Возможен вариант рисования условных обозначений в отдельном слое в отдельном окне карты, а

затем в макет печати вставляется второе окно карты, содержащее условные обозначения.

7.6. Библиотеки условных знаков и классификаторы

Условные знаки (УЗ) в ГИС соответствуют типам геометрических объектов: точечные, линейные и площадные.

Для создания условных знаков используются специализированные программы и утилиты или графические функции текущей ГИС. Условные знаки могут создаваться в виде растровых или векторных изображений. Многие ГИС используют шрифты операционной системы. Тогда условные знаки нужно создавать при помощи инструментов создания шрифтов.

Геоинформационные системы для работы с условными знаками используют библиотеки или классификаторы.

Библиотека условных знаков представляет собой упорядоченный набор условных знаков, включающих название и графическое отображение (рис. 7.3). Форматы хранения точечных, линейных и площадных условных обозначений часто отличаются, поэтому под каждый вид геометрии создается отдельная библиотека. Как правило, библиотеки УЗ создаются в соответствии с действующими инструкциями.

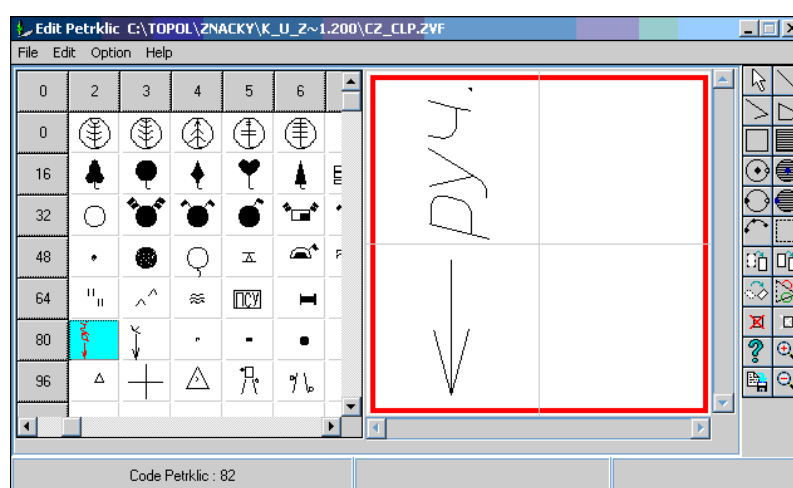


Рис.7.3. Библиотека условных знаков

При передаче слоев и карт необходимо передавать использованные библиотеки УЗ.

Следующим шагом использования условных знаков стали классификаторы объектов (рис. 7.4). Классификатор объединяет в себя необходимые настройки отображения объектов слоев и настройки атрибутивных данных (семантики). Один классификатор позволяет создать неограниченное число однотипных проектов, например цифровых моделей местности одного масштаба.

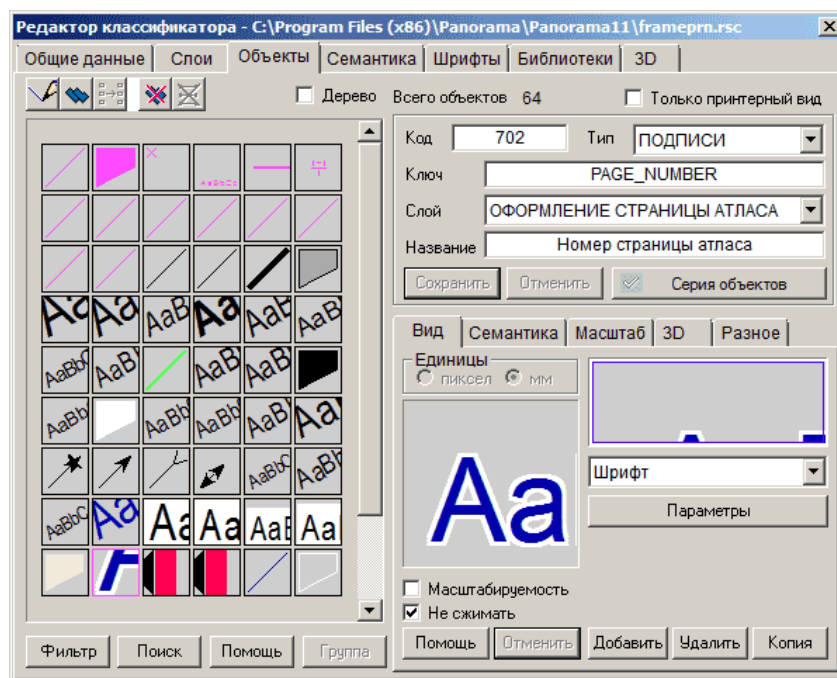


Рис.7.4. Окно редактора – классификатора объектов

В ряде ГИС один объект классификатора может быть представлен несколькими условными знаками, например в зависимости от масштаба отображения. Тогда объекту слоя задается соответствующий объект классификатора, и при отображении на карте условный знак задается автоматически в зависимости от масштаба.

Вопросы:

1. Тематическое картографирование.
2. Качественный метод.
3. Количественный метод.
4. Классификатор объектов.
5. Картодиаграммы.
6. Картографическая легенда.

РАЗДЕЛ 8. ВЫВОД ДАННЫХ

8.1. Формы и устройства вывода данных

Устройства вывода – периферийные устройства, преобразующие результаты обработки цифровых машинных кодов в форму, удобную для восприятия человеком или пригодную для воздействия на исполнительные органы объекта управления.

Полнофункциональные ГИС имеют развитые средства вывода информации. К таким средствам можно отнести генераторы отчетов, инструменты создания и редактирования тематических карт, различных схем, графиков, легенд, таблиц и диаграмм.

Формы вывода данных могут быть различными. Условно их можно разделить на следующие виды:

- картографические и некартографические;
- традиционные и нетрадиционные.

Создание картографической информации является традиционным и наиболее распространенным способом вывода информации. Это связано с тем, что изначально ГИС разрабатывались именно для решения задач картографии и географии. Современные ГИС позволяют создавать высококачественные карты, по информативности и технологичности превосходящие существующие традиционные бумажные карты.

Создание картографической продукции с помощью компьютера можно осуществить разными способами. Существует ряд графических редакторов (CorelDraw, Adobe illustrator и др.), которые позволяют подготавливать карты со сложным содержимым очень высокого качества. Однако картографические изображения, созданные в графическом редакторе, представляют собой цифровые карты и рассматриваются как составные элементы или результат функционирования ГИС.

Отличительными признаками ГИС являются:

- 1) географическая привязка объектов, которая позволяет управлять множеством слоев или объектов ГИС различного типа и масштабности;
- 2) применение аналитической обработки пространственных и атрибутивных;

3) возможность моделирования на основе картографической и атрибутивной информации.

К некартографическому представлению относятся распечатки отчетов, таблиц, гистограмм или графиков.

Формы вывода данных тесно взаимосвязаны между собой. Так, карты, выводимые на экран, могут быть связаны с различными средствами создания отчетов и трехмерных изображений или широким спектром мультимедийных форматов, таких как фотография, видеоматериалы или звук. Например, на поля карты или в таблицы и графики дополнительно можно поместить хранимые в цифровой форме фотографии выбранных мест.

К традиционным способам вывода данных относятся:

1. Экран дисплея (монитор).

Монитор – устройство, предназначенное для визуального отображения информации. Современный монитор состоит из корпуса, блока питания, плат управления и экрана. Информация (видеосигнал) для вывода на монитор поступает с компьютера посредством видеокарты, либо с другого устройства, формирующего видеосигнал.

Основные параметры мониторов:

- соотношение сторон экрана – стандартный (4:3), широкоформатный (16:9, 16:10) или др.;
- размер экрана – определяется длиной диагонали, чаще всего в дюймах;
- разрешение – число пикселей по вертикали и горизонтали;
- глубина цвета – количество бит на кодирование одного пикселя (от монохромного до 64-битного);
- размер зерна, или пикселя,
- частота обновления экрана (Гц).

2. *Проектор* – является в основном оптико-механическим или оптически-цифровым прибором, позволяющим при помощи источника света проецировать изображения объектов на поверхность, расположенную вне прибора, – экран.

3. *Принтер* (от *англ.* print – печать) — периферийное устройство компьютера, предназначенное для перевода текста или графики на физический носитель из электронного вида (на бумагу).

В зависимости от способа печати различаются *матричные, струйные* и *лазерные принтеры* (рис. 8.1.). В матричных принтерах реализован ударный способ печати с помощью печатающей головки, содержащей ряд иглонок (от 9 до 24) и красящей ленты. В струйных принтерах и плоттерах специальные чернила выдуваются при помощи сопел. Такие принтеры и плоттеры работают бесшумно, имеют высокую разрешающую способность, а также возможность многоцветной печати.

В лазерных принтерах при печати используется принцип ксерографии, когда частички краски электрически притягиваются к специальному барабану, с которого краска «перекатывается» на бумагу.



а) Матричный принтер



б) Струйный принтер



в) Лазерный принтер

Рис.8.1. Типы принтеров

4. *Графопостроитель* (от *греч.* γράφω), *плоттер* – устройство для автоматического вычерчивания с большой точностью рисунков, схем, сложных чертежей, карт и другой графической информации на бумаге размером до А0 или кальке. Графопостроители рисуют изображения с помощью пера (пишущего блока). Назначение графопостроителей – высококачественное документирование чертёжно-графической информации.

Основными типами графопостроителей являются *векторные* и *растровые*. Векторные графопостроители, имеющие наиболее широкое распространение, характеризуются высоким качеством получаемого изображения. Растровые

графопостроители бывают электростатическими, чернильно-струйными, термографическими и лазерными. В ГИС для получения картографической информации в основном используются чернильно-струйные или лазерные графопостроители.

Современные *плоттеры* можно отнести к двум большим классам:

– Планшетные для формата А3-А2 (реже А1-А0) с фиксацией листа электрическим, реже магнитным или механическим способом, и пишущим узлом (рис. 8.2а). Таким образом, если, например, необходимо провести линию, то печатающий узел перемещается в её начальную точку, опускается штифт с пером, соответствующим толщине и цвету проводимой линии, и затем перо перемещается до конечной точки линии.

– Барабанные (рулонные) плоттеры с шириной бумаги формата А1 или А0, роликовой подачей листа, механическим и/или вакуумным прижимом и с пишущим узлом (рис. 8.2б). Барабанные плоттеры используют рулоны бумаги длиной до нескольких десятков метров и позволяют создавать длинные рисунки и чертежи.

Часто плоттерами называют *широкоформатные принтеры*. Это не совсем корректно, однако в настоящее время уже является стандартом [30].



а) Планшетный



б) Барабанный

Рис.8.2. Виды плоттеров

5. *Оптический привод* – устройство, имеющее механическую составляющую, управляемую электронной схемой, и предназначенное для считывания и за-

писи информации на оптические носители информации в виде пластикового диска с отверстием в центре (компакт-диск, DVD и т. д.).

6. *Интерактивные графические устройства*, которые позволяют пользователям указывать объекты и выявлять их пространственное окружение.

7. Экспорт данных в другие информационные системы, передача данных на магнитные носители.

Наиболее распространенные формы представления данных – карты, отчеты, графики и схемы.

К нетрадиционным способам вывода данных относятся:

- *анимация*, при этом особую популярность имеют трёхмерные анимации, преимущество которых заключается в их высокой наглядности. Кроме того, зрение человека гораздо лучше замечает движущиеся объекты, чем неподвижные, что, безусловно, помогает выявлению взаимодействия объекта и его окружения.
- *звуковой или световой сигнал* (или сообщение), который может передаваться с помощью динамиков, встроенных в монитор, внешних колонок или наушников.

Например, при использовании ГИС в службах экстренного реагирования, помимо создания карты с кратчайшим маршрутом к месту происшествия, система может посылать электронный сигнал непосредственно в то отделение службы, которое должно принять вызов. Хотя сегодня это может быть для ГИС несколько экзотической формой вывода, по мере развития техники и спектра клиентов ГИС, она может стать вполне обычной;

- *публикация картографических данных в Интернет*.

Такой способ передачи информации позволяет передавать картографическую информацию другим пользователям не только в виде картинок (например, в формате JPG или TIFF), а в виде полноценных электронных интерактивных карт, которые можно не только просматривать и масштабировать, но и анализировать посредством запросов и других операций, использовать в своей повседневной работе;

- *взаимодействие пользователей* в ГИС-сетях.

Географическое знание изначально является распределенным и слабо интегрированным. Вся необходимая информация редко содержится в отдельном экземпляре базы данных, поэтому пользователи ГИС вынуждены взаимодействовать друг с другом с целью получить недостающие части имеющихся у них ГИС-данных.

В связи с этим пользователи все шире используют Интернет для сбора, структурирования, применения и управления географическим знанием. Это явление – одна из наиболее ярко выраженных тенденций развития современных ГИС.

В состав ГИС-сети входят три основных строительных блока:

- *Порталы каталогов* метаданных, где пользователи могут провести поиск и найти ГИС-информацию в соответствии с их потребностями;
- *ГИС-узлы*, где пользователи публикуют наборы ГИС-информации;
- *Пользователи ГИС*, которые ведут поиск, выявляют и используют опубликованные данные и сервисы.

С одной стороны, развитие ГИС-сетей приобретает важное значение в распространении накопленных географических знаний, с другой стороны оказывает огромное влияние на развитие ГИС и других информационных технологий во всем мире.

8.2. Компоновка графического вывода

Вывод данных из ГИС не обязательно осуществляется в виде карты; более того, многие ГИС не имеют в своем проекте достаточно хороших картографических возможностей.

8.2.1. Типы выводимых данных

Рассмотрим основные типы данных [8.1]:

- 1) *текстовый* – таблицы, списки, цифровой или текстовый ответ на запрос;
- 2) *графический* – карты, изображения на экране, графики, перспективные изображения;
- 3) *цифровые данные* – на диске, носителе информации или передаваемые по сети;

- 4) компьютерный звук;
- 5) трехмерные изображения.

Графический вывод данных в ГИС должен отображать:

1. существующие объекты и явления в виде соответствующих условных знаков;
2. объекты, рассчитанные ГИС, например буферные зоны;
3. взаимосвязи.

Для некоторых данных, полученных в результате анализа, возникают сложности с отображением, поскольку на двумерном экране трудно показать, например, трехмерные данные, данные о взаимодействии (миграция, потоки товаров), глобальные данные;

4. масштаб. Масштаб вывода данных должен быть совместим с исходным масштабом. Например, нельзя цифровать карту в масштабе 1:1 000 000, а выводить данные в масштабе 1:25 000: данные при этом не будут точными. Точно так же нельзя без соответствующей генерализации цифровать карту в масштабе 1:25 000, а выводить данные в масштабе 1:1 000 000. Объекты будут располагаться слишком плотно, с излишними подробностями. На экране монитора масштаб так же важен, как и на вычерченной карте. В принципе база пространственных данных «внемасштабна», но на практике именно исходный масштаб определяет точность данных. В базе данных ГИС должен фиксироваться и отслеживаться масштаб, но это делается не всегда.

8.2.2. Картографическая основа

Чтобы картой можно было пользоваться, на ней должна присутствовать информация для понятной визуальной географической привязки. Для этого недостаточно только анализируемой информации, выводимой из системы. Необходимы и элементы картосновы. Часто в качестве картосновы используется топографическая карта или план. Например, карта лесных массивов, пригодных для рубки. Кроме пригодных для рубки массивов необходимо показать положение дорог, населенных пунктов, водоразделов, водотоков и озер, при этом пользователь сможет найти эти массивы на местности и принять решение, исходя из конкретной пространственной обстановки – особенно важно для растровых систем [34].

Отображением одного из слоев редко можно воспользоваться без какой-либо картосновы, обеспечивающей привязку данных. Информация картосновы обычно имеет векторную форму или большее разрешение, чем растр.

Ввод информации картосновы может быть весьма дорогим. Затраты на цифрование данных с целью всего лишь облегчить интерпретацию графического вывода трудно окупаются. Можно вычерчивать итоговую карту непосредственно на напечатанной картоснове. Отпадает надобность в цифровании информации картосновы. Картоснова должна быть тщательно зарегистрирована - эта функция имеется в большинстве ГИС.

8.2.3 Общая графическая компоновка

Графическая компоновка требуется для создания внешне привлекательного конечного продукта. Карта не должна иметь вид «машинной», выглядеть слишком абстрактной или схематичной. «Косметическая» обработка выводимой информации в ГИС требует дополнительных затрат. Например, рамка карты, условные знаки, указатели северного направления, легенды – программирование этих элементов по своей сложности может превосходить аналитические функции. Вычерчивание этих элементов требует дополнительного времени.

Картографическая компоновка позволяет зрителю получить наибольшую информацию в наименьшем пространстве за наименьшее время при минимальном объеме черчения. Принципы картографической компоновки [8]:

1. Соотношение данные/черчение стремится к максимуму.
2. Исключается черчение, не соответствующее данным.
3. Исключается черчение избыточных данных.
4. Предполагается пересмотр и редактирование изображения.
5. С первого раза трудно создать совершенное изображение.
6. Каждый графический элемент активизируется, и неоднократно, для передачи данных.
7. До разумных пределов максимизируется плотность данных и количество показанных элементов информации.
8. Если характер данных предопределяет форму их графического изображения, необходимо ему следовать. Если нет, то предпочтение отдается гори-

зонтально расположенным буквам, ширина которых в 2 раза меньше высоты.

8.2.4. Вывод карт на экране

При выводе карт на экран возникают следующие проблемы:

- размеры экрана меньше напечатанной или вычерченной карты (плана);
- экран имеет меньшее разрешение;
- изменение масштаба, использование подокон, взаимодействие с пользователем, анимация, использование цвета часто перегружают изображение.

Карта на жестком носителе должна отобразить как можно больше информации, чтобы удовлетворить запросы потенциальных пользователей. В интерактивной системе экран может отображать ограниченный объем информации, но обеспечивать доступ к другим данным. Например, «выделяя» или «выбирая» с помощью «мыши» какой-либо объект, пользователь получает доступ к длинному текстовому описанию. Доступ к атрибутам объекта не лимитирован ограничениями целостности статичного дисплея

8.2.5. Размещение надписей

Надписи позволяют более гибко соединять описания с точечными, линейными и площадными объектами, такими как: названия административных единиц, озер, рек и т.п.; значения горизонталей, отметки высот; номера автодорог;

Размещение надписей – это сложный и трудный картографический процесс. Потому существуют правила размещения надписей. Необходимо, чтобы названия на карте:

- были узаконенными;
- легко увязывались с объектами, которые они описывают;
- не перекрывали другие элементы содержания карты;
- размещались так, чтобы отражать протяженность объекта;
- отражали иерархию признаков путем использования шрифтов разной величины;

– не были ни скучены, ни равномерно распределены.

Одновременно все эти правила вряд ли могут быть полностью соблюдены. Наилучшим решением является компромисс между противоречивыми задачами, например, потребностью увязать надпись с объектом и необходимостью избежать перекрытия с другими элементами содержания. Размещение надписей – это сложная проблема, поскольку существует огромное количество возможных положений, из которых приходится выбирать, а также множество противоречивых задач.

Существуют две наиболее распространенные проблемы:

I. *Наложение*. При большой плотности объектов на карте или экране трудно добиться, чтобы надписи не сливались. Надписи могут перекрываться (накладываться). Надписи следует размещать так, чтобы избежать наложения, но не нарушить возможность визуального отождествления их с соответствующими объектами. Например, для точечных объектов оптимальное положение надписи – наверху справа. Положение внизу справа менее приемлемо. Наихудший вариант размещения – слева от объекта. При необходимости надпись можно располагать и не горизонтально, но только с небольшим отклонением.

II. *Надписи в полигонах*. Размещение надписей в полигонах считается в картографии трудной и спорной проблемой программирования. Надпись должна быть центрирована относительно объекта, может изгибаться, с тем чтобы соответствовать ему. В некоторых случаях надпись может соединяться с объектом стрелкой. Рассмотрим способы решения этих задач:

1. Надпись центрируется относительно центра тяжести полигона. При этом возникают такие сложности как:
 - а) точка может находиться вне полигона;
 - б) длинную надпись внутри полигона приходится писать в несколько строк;
 - в) не соблюдается правило показа протяженности объекта;
2. *Надписи* располагаются в любом прямоугольнике внутри полигона. Определяются наиболее подходящие положения прямоугольника, целиком вписанного в полигон. При этом возникают такие сложности как:

- а) отношение ширины к высоте должно быть как можно больше;
- б) надпись не может быть изогнута в соответствии с формой объекта;
- в) вписанный прямоугольник может оказаться в неподходящей части полигона.

3. *Скелет*. Полигон «сжимается» путем сдвигания его сторон внутрь на одинаковые расстояния. Вершины образуют сеть точек, известную под названием «скелет» Надпись располагается вдоль центральной части скелета. Лучше всего подходит для полигонов, для которых необходимы изогнутые надписи.

На практике при размещении надписей используются комбинации правил к полигонам разной формы и размеров.

Вопросы:

1. Назовите основные устройства вывода информации из ГИС.
2. Перечислите основные типы данных при выводе из ГИС.
3. Дайте определение понятию картосновы.
4. Для чего служит общая компоновка карты?
5. Какие трудности возникают при отображении картографической информации на экране?
6. Назовите основные правила размещения надписей на экране.

РАЗДЕЛ 9. ПОВЕРХНОСТИ В ГИС. ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ РЕЛЬЕФА (ЦМР)

На обычных географических и топографических картах информация о рельефе обычно отображается в виде горизонталей (линий уровня, изолиний). Геоинформационные системы (ГИС) позволяют представлять рельеф другими способами, в том числе в виде наборов трехмерных объектов – поверхностей. Кроме того, в рамках ГИС требуется решать различные аналитические задачи с использованием геометрии рельефа, в частности, такие как объемы перемещаемого грунта при выполнении строительных работ и пр. Задание рельефа в виде горизонталей сильно затрудняет решение подобных задач, поэтому в ГИС рельеф представляется в виде таких моделей, которые были бы удобны для эффективного и как можно более точного решения самых разнообразных аналитических проблем.

При разработке моделей представления рельефа требуется учитывать способ задания исходной информации, которая может вводиться как с уже имеющихся карт, так и с аэрофотоснимков, а также с аппаратуры лазерного дистанционного зондирования. Обычно во всех этих случаях данные имеют дискретный нерегулярный характер. Обычно считается, что модель представления рельефа является однозначной функцией $Z = F(X, Y)$, такой, что для каждой точки высотной отметки (x_i, y_i, z_i) должно выполняться соотношение $z_i = F(x_i, y_i)$. При этом поведение функции в точках X, Y , не совпадающих с высотными отметками, должно быть «похожим» на истинный рельеф, в частности давать минимальную погрешность по высоте. Последнее требование не является математически корректным, поэтому на практике его приходится доопределять [22].

Поверхность Земли, как и любая математическая поверхность, являющаяся ее моделью, представляют собой непрерывное явление (или другими словами – объект). Базы данных, которые представляют собой составную часть любой ГИС, предназначены для оперирования дискретными объектами. Поэтому модель земной поверхности обычно представляется в виде кусочно-непрерывных, дискретных наборов поверхностей, пригодных для размещения в базах данных.

Цифровая модель рельефа (ЦМР) является частным случаем поверхности. Используется для обозначения любого цифрового представления топографической поверхности. На рис. 9.1 представлены изображения ЦМР.

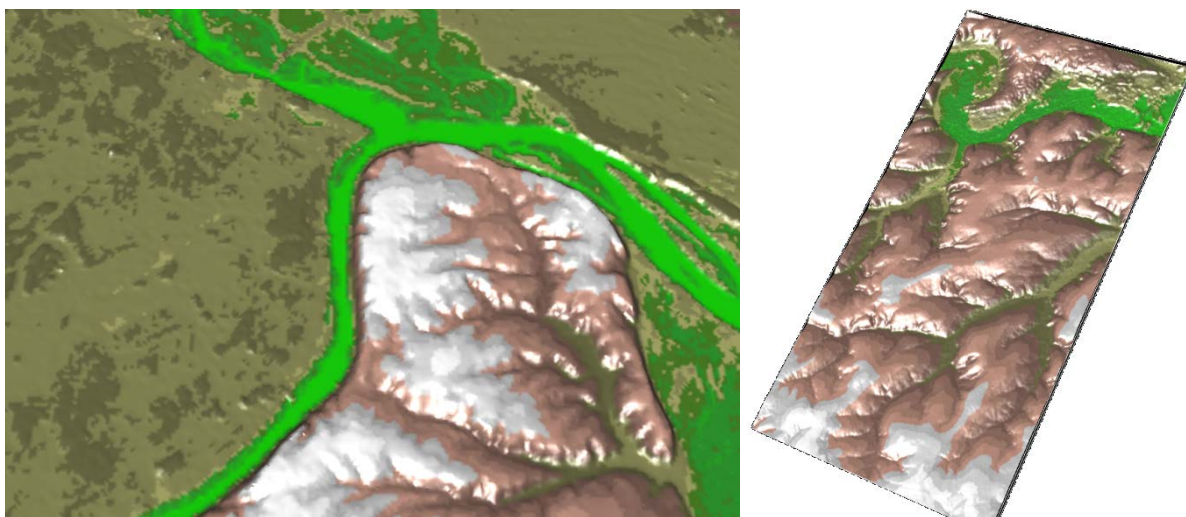


Рис. 9.1. Представление ЦМР

9.1. Виды цифровых моделей рельефа

В международной научной среде существуют следующие геоинформационные терминологические соглашения и понятия: DEM – Digital Elevation Model, что является аналогом термина ЦМР; DTM – Digital Terrain Model, или Цифровая модель местности (ЦММ); DSM – Digital Surface Model, или ЦМП – цифровая модель поверхности. В большинстве случаев термин DSM (ЦМП) представляет земную поверхность и включает в себя все предметы на ней. В отличие от DSM, DTM (ЦММ) представляет голую поверхности земли без каких-либо объектов, таких как растения и здания. Термин DEM (или ЦМР) часто используется как общий термин для DSM и DTM и содержит информацию о высоте без описания способов формирования поверхности. В отечественной практике ЦМР обычно имеет более широкий смысл, так как часто, кроме информации о высотных отметках, содержит и информацию о способе формирования поверхности. В большинстве случаев используются следующие цифровые модели рельефа:

1. Модели рельефа на основе регулярных высотных отметок или регулярные модели, часто их еще называют *GRID моделями*. При использовании регулярных высотных отметок такие модели рельефа получаются наиболее простыми и удобными для различных расчетов, эти модели давно применяются на практике [17]. В этом случае область в координатах X, Y должна иметь прямоугольный вид, и на ней задается сетка вертикальных (при x_1, x_2, \dots, x_n) и горизонтальных (при y_1, y_2, \dots, y_m) линий. Функция строится на каждой прямоугольной (чаще квадратной) клетке $[x_i, x_{i+1}] \times [y_j, y_{j+1}]$ по заданным в углах клетки высотным отметкам $z_{i,j}, z_{i+1,j}, z_{i,j+1}, z_{i+1,j+1}$. Простейшая модель – полилинейная функция вида

$$S(x, y) = a_0 + a_1(x - x_i) + (a_2 + a_3(x - x_i))(y - y_j). \quad (9.1)$$

Коэффициенты a_0, a_1, a_2, a_3 определяются системой четырех линейных уравнений, получаемой путем приравнивания функции высотным отметкам в углах клетки.

Определяемая таким образом кусочная функция непрерывна при переходе к соседним клеткам, однако имеет изломы вдоль границ клеток: там ее производные терпят разрывы. Внутри клетки функция нелинейна, т.е. не является плоскостью.

Еще более простая модель – *линейная*. В каждой клетке проводятся две диагонали, в результате получается четыре треугольника. В точке центра клетки ($x = (x_i + x_{i+1}) / 2, y = (y_j + y_{j+1}) / 2$) на пересечении диагоналей по формуле (1) вычисляется высотная отметка, равная среднему из угловых высотных отметок $z_{i,j}, z_{i+1,j}, z_{i,j+1}, z_{i+1,j+1}$. В линейной модели все грани поверхности рельефа являются пространственными треугольниками. Схема образования GRID модели представлена на рис. 9.2.

Подобная GRID-модель может быть легко представлена в обычном текстовом файле. Действительно, если обозначить все ключевые параметры модели так, как показано на рисунке 9.2, а именно:

n – количество столбцов,

m – количество строк,

x, y – координаты правого нижнего угла матрицы значений, м,

a – размер ячейки, м,

$H1, H2$ – значения признаков в каждом элементе (отметка),

то все значения признаков можно перечислить в текстовом файле через запятую, получив соответствующую матрицу, а сам файл снабдить заголовком, в котором можно перечислить величины n, m, x, y , и a . В результате можно получить ЦМР в формате GRID.

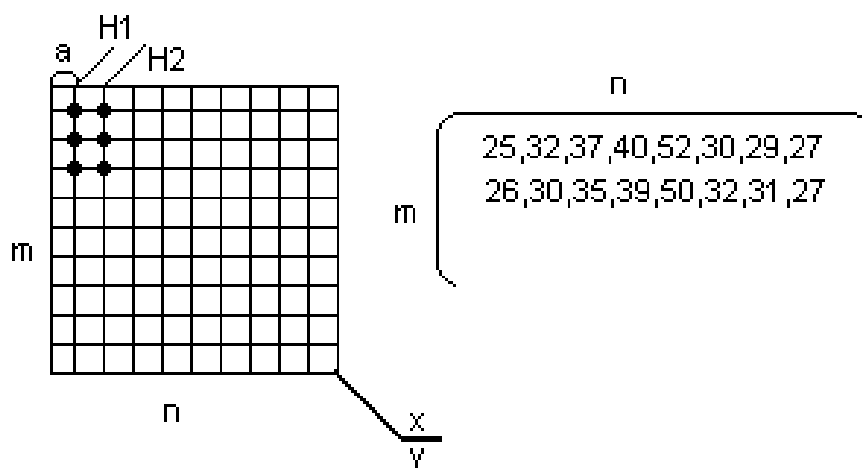


Рис.9.2. GRID модель

Регулярная модель может быть представлена в виде растровой сетки, где у каждого пикселя присутствует отметка поверхности. Для регулярной модели важным параметром является разрешение, т.е. расстояние между смежными точками (на рисунке значение a) или размер ячейки.

2. Нерегулярная сетевая модель: расположение точек задаётся в характерных местах искомой поверхности. Например, при работе с рельефом точки выбирают в характерных местах рельефа: водоразделы, тальвеги, склоны и т.д.

В качестве основного типа нерегулярных моделей используется модель TIN – триангуляционная нерегулярная сеть. Модель представляет собой нерегулярную сеть треугольников. Триангуляция в подобного типа моделях в подавляющем большинстве случаев осуществляется на основе триангуляции Делоне. Однако могут использоваться также и другие способы триангуляции.

Можно выделить два типа TIN – моделей:

– Обычная TIN модель. Строится по точкам с координатами так, чтобы каждый треугольник стремился к равностороннему, т.е., удовлетворяет критерию

Делоне. Полученные треугольники изменить нельзя, так как они жестко «привязаны» к заданным точкам с высотными отметками. Для редактирования поверхности необходимо добавить дополнительные точки, что не всегда правильно, т.к. значения часто должны быть получены в полевых условиях, а не выдуманы при редактировании поверхности. На рис. 9.3 представлена обычная TIN-модель.

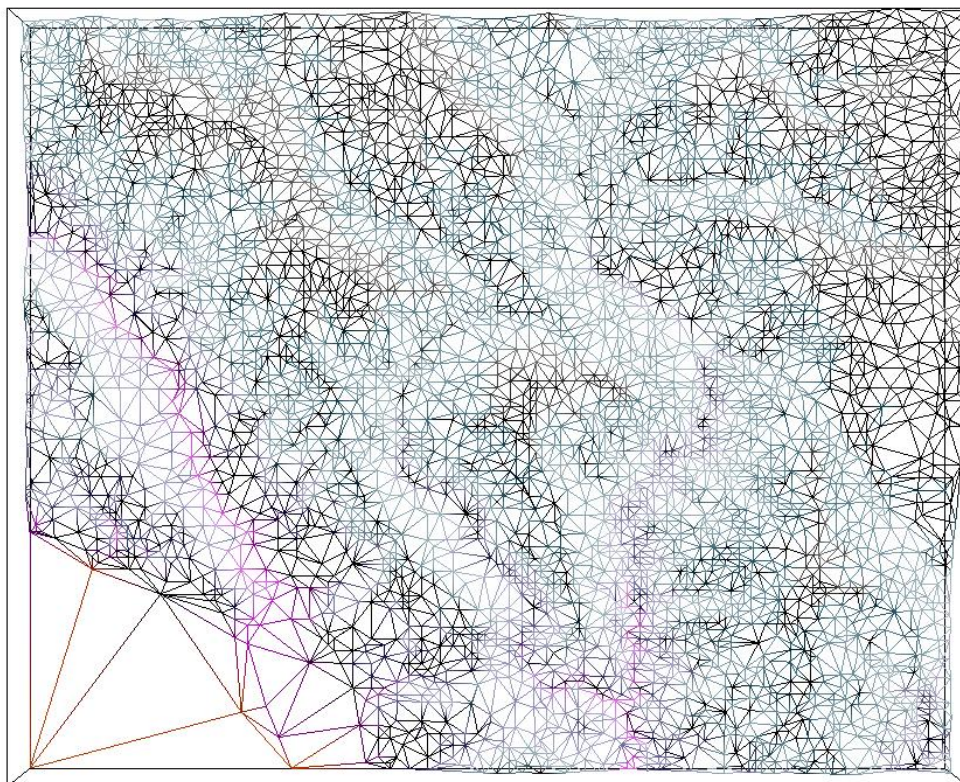


Рис. 9.3. Обычная TIN-модель

Данная модель используется в большинстве программных средств: MapInfo, MGE TERRAIN ANALIST и др.;

– TIN модель с дополнительными условиями, в качестве которых выступают структурные линии. Задав дополнительные элементы (структурные линии), можно треугольникам задать необходимые рёбра. Рёбра не могут пересекать структурную линию.

На рисунке представлены две возможные комбинации ребер, построенных по одинаковым точкам. Обе комбинации образуют разные формы рельефа, что отчетливо видно по сформированным горизонталям (рис. 9.4). Поэтому важно иметь возможность задавать требуемые рёбра.

Данная модель используется в следующем программном обеспечении: CREDO, Autodesk CIVIL 3D и др.

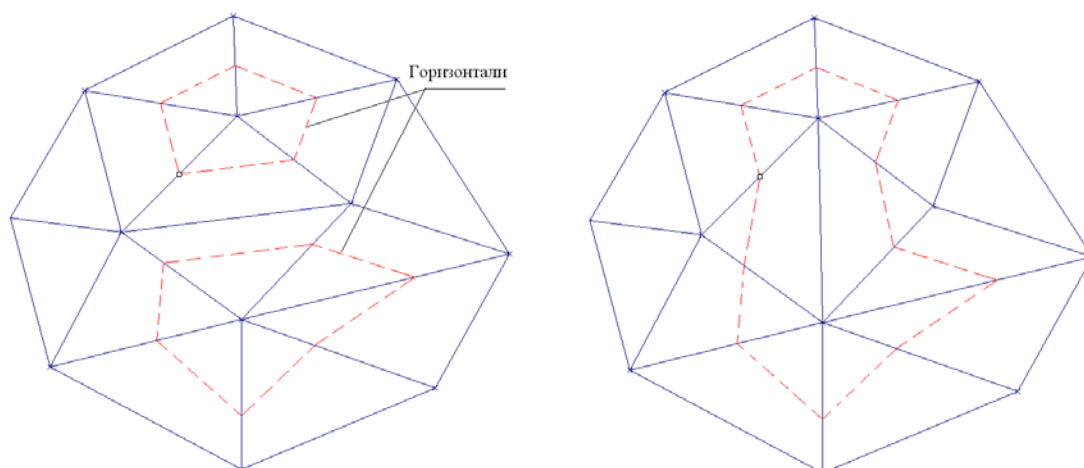


Рис. 9.4. Зависимость форм рельефа от рёбер

Поверхность представляет собой особый тип данных, поэтому в ГИС представлена либо отдельным типом данных внутри ГИС, либо представлена в отдельном модуле. На рис. 9.5 представлена TIN-модель.

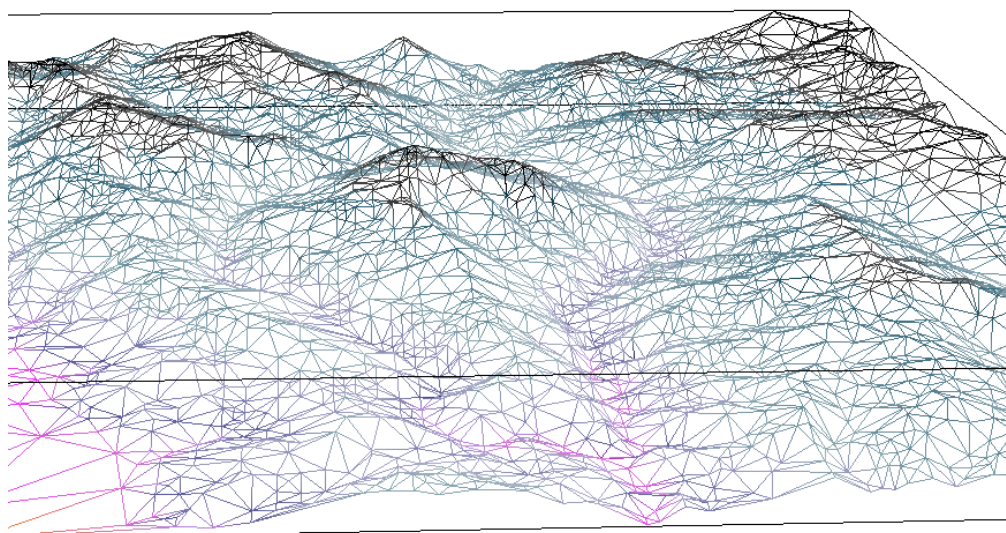


Рис. 9.5. TIN-модель

9.2. Способы создания поверхностей в ГИС

Поверхность, или ЦМР, может создаваться несколькими способами:

1. *По изолиниям-горизонталям.* Производится оцифровка горизонталей. Каждой из них задаётся отметка. Используется алгоритм интерполяции высот для каждой точки сети по данным горизонталям.

2. *Фотограмметрический способ.* Оператор наблюдает стереопару, перемещая две марки до тех пор, пока они не превратятся в одну. Считается, что в этом случае точка лежит на поверхности. В автоматическом режиме инструментально рассчитываются разности параллаксов для большого количества точек.

При ручном фотограмметрическом способе возможно два метода обвода точек:

а) профилирование – точки получают полосами по профилям;

б) отслеживание горизонталей (ПО Photomod и др.), на рис. 9.6

представлена модель, построенная горизонталями.



Рис. 9.6. Модель рельефа, созданная по горизонталям

3. Поверхность может быть получена в результате точечного взятия проб. Пробы могут быть расположены:

- регулярно, например по некоторой сетке;
- случайно, как правило стараются получить нормальное распределение;
- экспертная выборка, выполняется по определенным правилам, например выбор точек при тахеометрической съемке с учетом формы рельефа.

9.3. Использование поверхностей при решении практических задач

Использование моделей поверхности позволяет:

- определить значение признака (отметку) в любой точке;
- построить профиль (разрез) по любой линии. Например, на рис. 9.7а представлена DEM- модель участка земной поверхности, полученная на основе дистанционного спутникового зондирования. На рис. 9.7б изображена линия профиля рельефа;
- рассчитать и построить изолинии (горизонтали). На рис. 9.8а представлена регулярная GRID-модель участка местности. На рис. 9.8б изображены горизонтали, построенные по трехмерной модели с помощью геометрических вычислений;
- вычислить сетку углов наклона экспозиции склонов. В качестве примера на рис. 9.9 изображена карта углов наклона элементов рельефа, построена для участка местности, представленного на рис. 9.8а;
- найти ареалы, относящиеся к определённым категориям угла наклона или экспозиции;
- найти границы водосборных бассейнов по ЦМР;
- определить территорию, видимую из данной точки – построить зоны видимости.

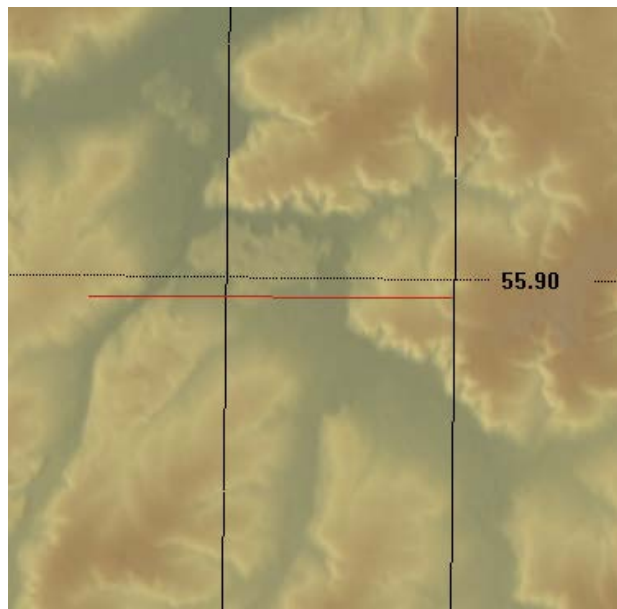
Рассмотрим некоторые операции более подробно.

- Расчёт высоты. При расчёте высоты может использоваться линейная интерполяция, может быть использована плоскость, минимизирующая сумму квадратов отклонений значений высот на плоскости и в каждой из ближайших точек. Происходит по формуле (9.2).

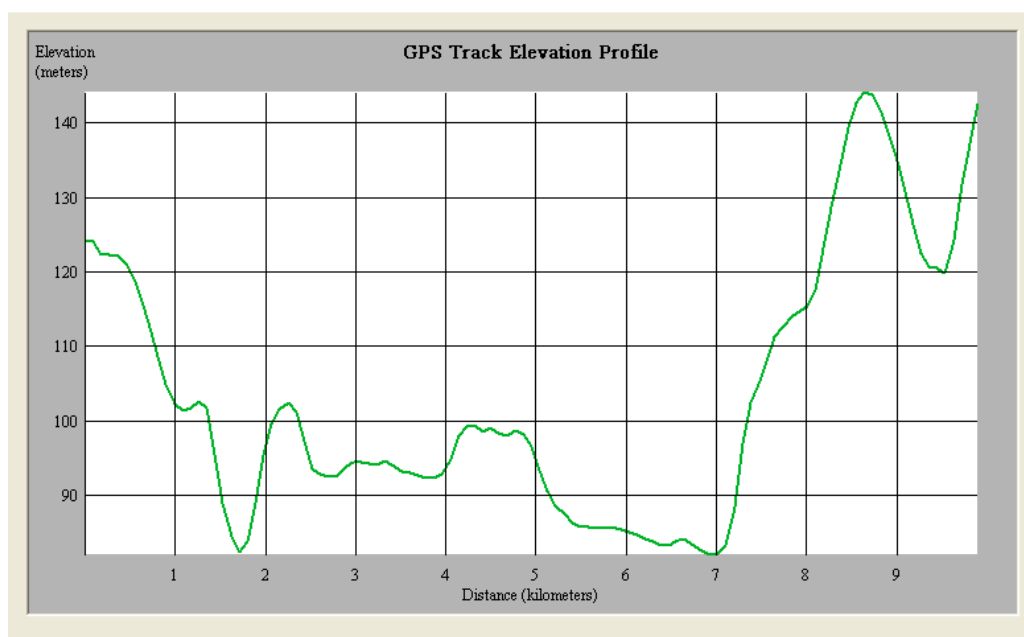
$$z = a + bx + cy ; \quad (9.2)$$

- Расчёт угла наклона и экспозиции. Их можно вычислить, используя аппроксимирующую плоскость – обычно окно 3×3 с центральной точкой.
- Угол наклона вычисляется по формуле (9.3).

$$\alpha = \sqrt{a^2 + b^2} ; \quad (9.3)$$



a)



б)

Рис. 9.7. Построение профиля рельефа вдоль прямой линии

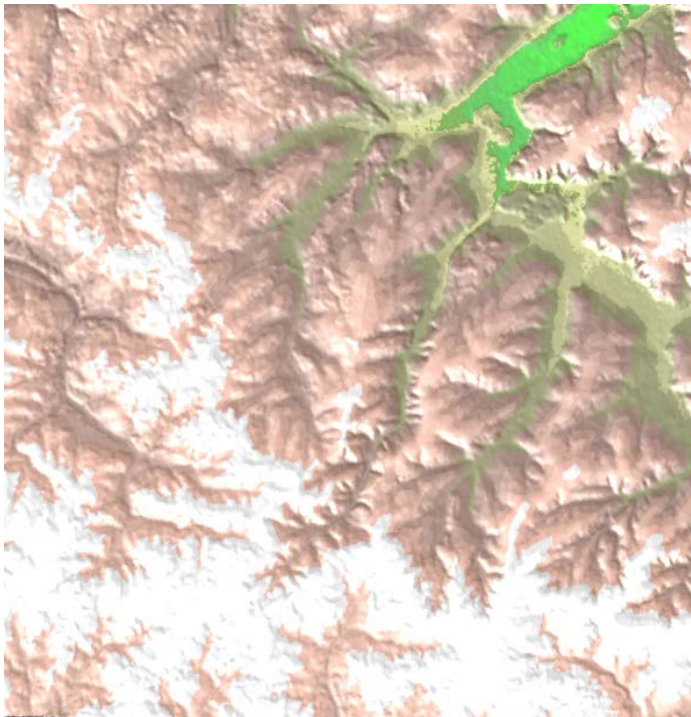
– Расчёт угла наклона и экспозиции. Их можно вычислить, используя аппроксимирующую плоскость – обычно окно 3×3 с центральной точкой.

– Угол наклона вычисляется по формуле (9.3):

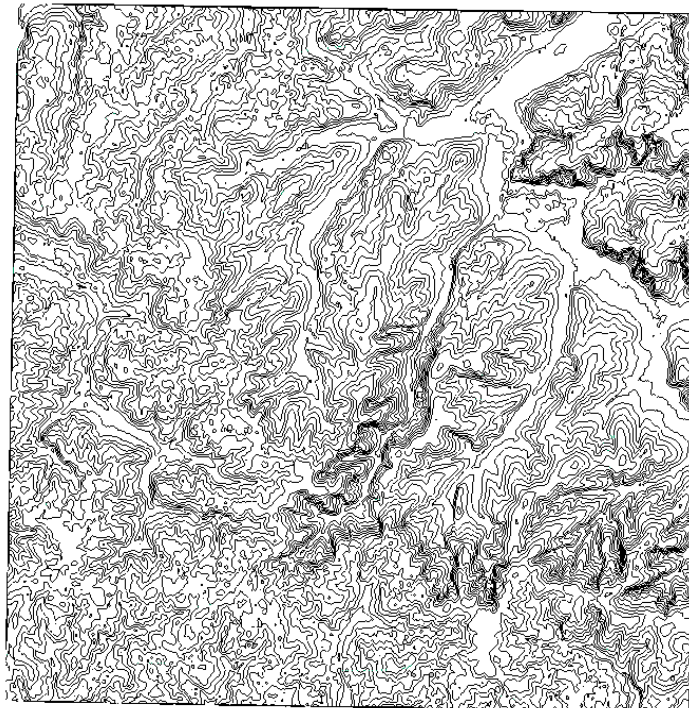
$$\alpha = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (9.3)$$

– Экспозиция вычисляется по формуле (9.4):

$$\mu = 1 / (\text{tg}(c/b)) \quad (9.4)$$



а)



б)

Рис. 9.8. Построение горизонталей по регулярной GRID-модели

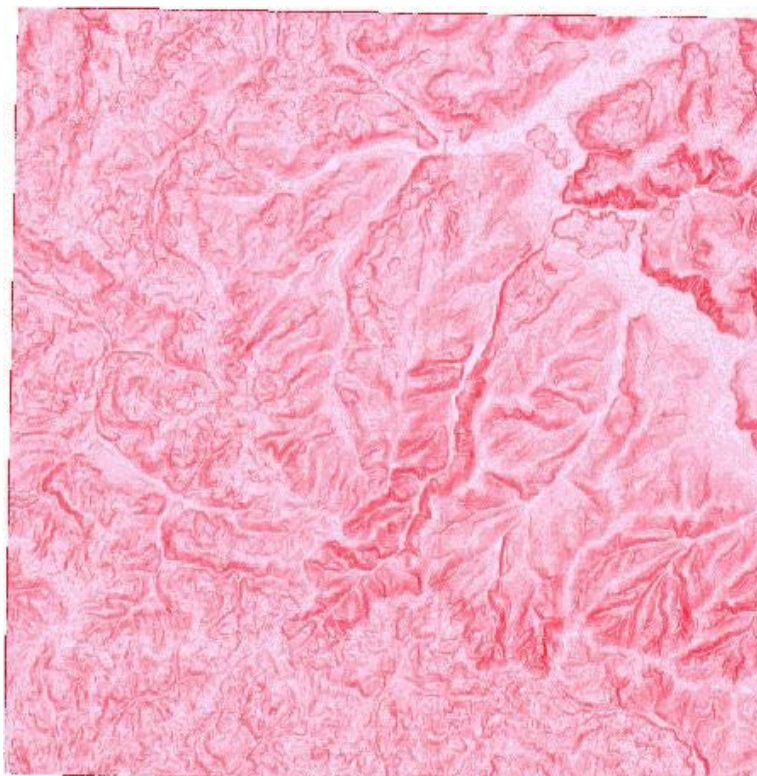


Рис. 9.9. Карта углов наклона рельефа

Обычно экспозиции строятся для одного из направлений. В алгоритмах для определения направления стоков обычно используются следующие варианты:

- а) только четыре возможных направления;
- б) восемь возможных направлений

В обоих случаях направления движения рассчитывают по часовой стрелке, начиная с верхнего направления. Считается, что вода из каждой ячейки стекает в ту близлежащую ячейку, высота которой меньше других. Если высоты всех близлежащих ячеек больше данной, то она представляет собой впадину и получает соответствующий код.

Для выделения водосборного бассейна надо начать с указанной ячейки и отметить все ячейки, имеющие сток в данную. Затем выбрать все ячейки, имеющие сток в последние и т.д. Водосборным бассейном будет полигон, образованный отмеченными ячейками.

Вопросы:

1. Что такое ЦМР?
2. Назовите различия TIN и GRID моделей.
3. Назовите назначения модели рельефа.
4. Как рассчитывается высота в ЦМР?
5. Назовите основные способы создания ЦМР.

РАЗДЕЛ 10. АВТОМАТИЗАЦИЯ В ГИС

10.1. Макросы

Макрос представляет собой определенную команду (макрокоманду), которая решает заданную в ГИС задачу. Как правило, в ГИС присутствует доступный список макрокоманд, пользователь только редактирует параметры макроса.

Рассмотрим часто используемые макросы (на примере ГИС Географ) [15]:

- открыть форму Open Form <имя>;
- выполнить запрос Run Query <имя>;
- открыть окно карты Open Map <имя>;
- активировать тему Set Theme <имя>;
- открыть таблицу Open Table <имя>.

Макрос, как правило, привязывается к кнопке панели инструментов или к кнопке пользовательской формы.

10.2. Программные приложения

Многие ГИС имеют встроенные языки программирования, например, MapInfo – MapBasic, ArcView – Avenue и т.д. Как правило, они базируются на языке Basic. Некоторые системы позволяют записывать макросы и открывать их в виде программного модуля с готовым текстом программы, который пользователь может изменить по своему усмотрению.

Программа, написанная на встроенном языке для конкретной системы, называется программным приложением (Application). Приложение пишется, как правило, в отдельном модуле или окне, похожем на текстовый редактор. Программы сохраняются в виде текстовых файлов. Часто после создания приложения его необходимо компилировать. В результате компиляции получается программный файл, запускаемый только внутри данной ГИС (.mbx) [6].

Программное приложение может иметь большой размер и включать несколько модулей. Модули объединяются в проекты. Проект представляет собой небольшой текстовый файл, включающий ссылки на используемые модули. Внутри этих модулей должна быть только одна главная процедура (Sub Main). В другие проекты можно подключать уже существующие модули, тем самым сокращая объем работ (рис. 10.1.).

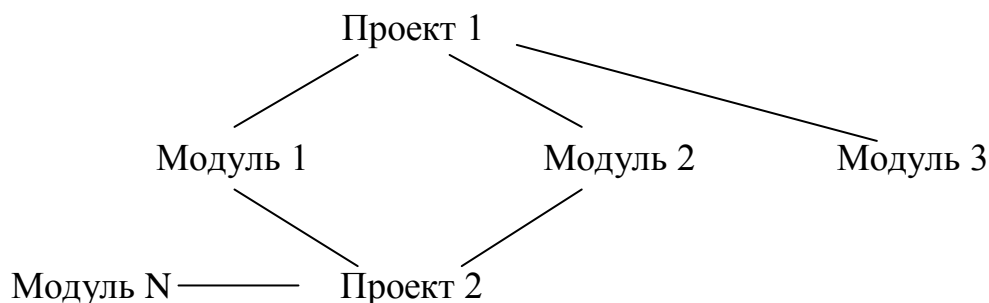


Рис 10.1. Структура проектов

Если какой-либо модуль внутри проекта ссылается на процедуру/функцию, содержащуюся в неподключенном модуле, проект не откомпилируется и не заработает. Все используемые модули должны быть подключены. После редактирования модуля необходимо заново выполнить компиляцию модуля, а затем компиляцию проекта [6].

10.3. Основные элементы программного приложения (Application)

1. *Переменные.* Переменная представляет собой именованное место в памяти, значение которого можно изменять. Переменные бывают следующих типов:

- целое (integer);
- десятичное (float, decimal);
- строковое (string);
- логическое (logical, boolean);
- дата (date);
- variant (может включаться любое значение).

Для преобразования переменной из одного типа в другой существуют специальные функции, например:

$$A = \text{StrToFloat}(B)$$
$$B = \text{FloatToStr}(A)$$

Имя переменной должно быть зарезервировано в начале программы или функции соответствующим оператором, например:

`Dim A as integer` *‘резервирование переменной A*

`A = 5` *‘задание значения переменной A*

2. *Константы* похожи на переменные, но их значения в процессе работы всей программы не изменяются (например, $\pi = 3,14$). Использование констант позволяет быть уверенным, что их значение не будет изменено в процессе программы из-за ошибочного кодирования.

3. *Выражения*. Математическое выражение может включать соответственно «* / + - ». Для группировки операций используются скобки. Используют логические условия «< >, =, AND, OR».

4. *Операторы цикла*. Операторы цикла предназначены для выполнения повторных операций.

– Оператор FOR: *‘предназначен для выполнения циклических операций*

`FOR I = 1 TO 5` *‘выполнять до тех пока I от 1 до 5*

{тело цикла }

`NEXT` *‘следующее значение I*

– Оператор WHILE: *‘количество циклов ограничено условием*

`DO WHILE I < 10` *‘выполнять пока I меньше 10*

{тело цикла}

`LOOP` *‘повтор операции*

5. *Операторы условий*. Позволяют активировать команды в зависимости от определенных условий.

– `IF <условие> THEN` *‘если условие верно то*

<оператор1>

`ELSE <оператор 2>` *‘если нет то*

END IF *‘окончание оператора условия*

6. *Процедуры*. Процедура представляет собой подпрограмму с последующим набором команд. Использование периодически повторяющихся процедур позволяет значительно сократить текст программы и унифицировать ее. Процедура вызывается соответствующим оператором Call. Процедура должна декларироваться в начале модуля.

Declare Sub Proc1 *‘декларирование процедуры*

...

Sub Proc1 *‘содержимое процедуры*

<тело>

END Sub

...

Call Proc1 *‘вызов процедуры*

7. *Функции*.

Функция аналогична процедуре, только после вызова возвращает какое-то значение и в своем описании должна включать тип возвращаемой переменной. Возвращенное значение присваивается переменной.

Declare Function Func1 as string *‘декларирование функции*

...

Function Func1 as string *‘содержимое функции*

<тело>

Func1= «значение»

END Function

...

Dim A1 as String *‘резервирование переменной A1*

...

A1 = Func1 *‘вызов функции*

При вызове имя функции должно стоять после имени переменной. Типы переменных функции и переменной, которой присваивается значение, должны совпадать.

10.4. Структура программного приложения

Рассмотрим структуру программного приложения на примере MapBasic [10.2]:

<i>Декларирование</i>	Declare...
<i>Глобальные переменные</i>	Global...
<i>Переменные</i>	Dim
<i>Главная процедура</i>	Sub Main Dim... END Sub
<i>Процедуры</i>	Sub Dim... END Sub
<i>Функции</i>	Function... Dim... END Function

В проекте в одном из модулей обязательно присутствует процедура Main. Именно она активируется при запуске приложения.

10.5. Работа с графическими объектами и картой

Встроенный в ГИС язык программирования имеет специальные команды для работы с картой. Например: открыть карту, задать масштаб отображения, задать координаты центра окна, добавить (исключить) слой, создать тематическую карту и добавить в окно карты, уменьшить/увеличить, задать условные знаки слою, переместить слой вверх или вниз в порядке отображения и т.д.

Также присутствует специальные команды создания объектов геометрии по координатам. Геометрические объекты создаются как отдельный тип – специальные графические переменные. Созданные графические объекты-переменные затем можно добавить в выбранный слой. Команды создания графических объектов:

Create Point (x;y) *‘создание точки по координатам x,y*

Create Pline '*создание полилинии*

Create Region '*создание полигона*

Create Text '*создание текста*

В полилиниях и регионах количество точек меняется, поэтому вначале запускается команда «создать объект» – создается пустой объект, затем необходимое количество раз запускается команда «добавить узел» (Add Node) с заданными координатами.

10.6. Интерфейс пользователя

Язык программирования включает специальные команды, позволяющие организовать интерфейс пользователя.

1. *Меню*. Пример представлен на рис. 10.2.

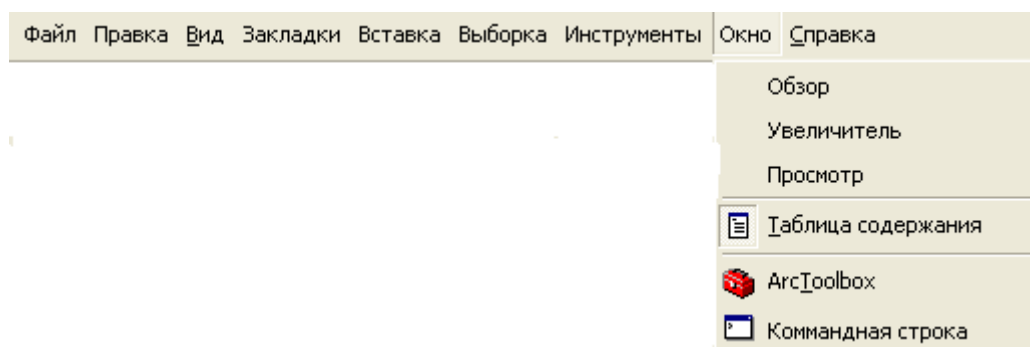


Рис. 10.2. Меню ПО ArcGIS

Create Menu <имя>

Меню включает пункты, каждый из которых ссылается на процедуру (например, открыть файл Call Open File).

Созданное меню собирается в строку меню MenuBar (Create MenuBar)

2. *Диалоговые окна*. Пример представлен на рис. 10.3.

Система позволяет создавать диалоговые окна, задавая в нужном месте соответствующие элементы. Значение каждого элемента сохраняется в соответствующей переменной. После нажатия кнопки, например «ОК», запускается заданная ей процедура, которая в своем теле может использовать введенные в диалоговом окне переменные.

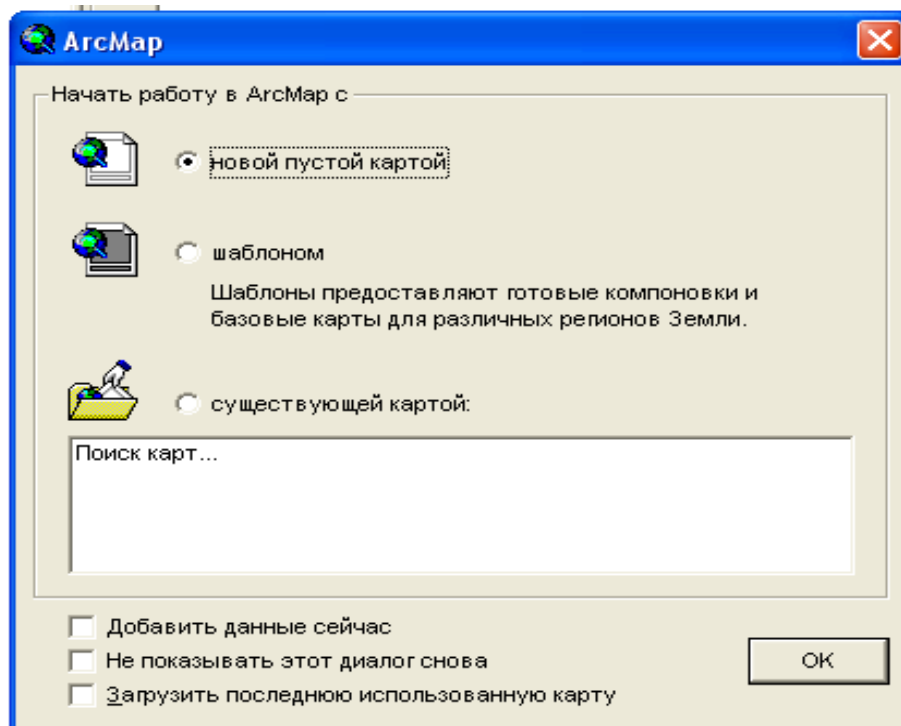


Рис. 10.3. Диалоговое окно

Основные элементы диалоговых окон представлены в табл. 10.1.

3. *Панели инструментов.* Пример панели инструментов представлен на рис. 10.4.




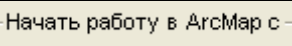
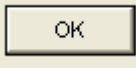

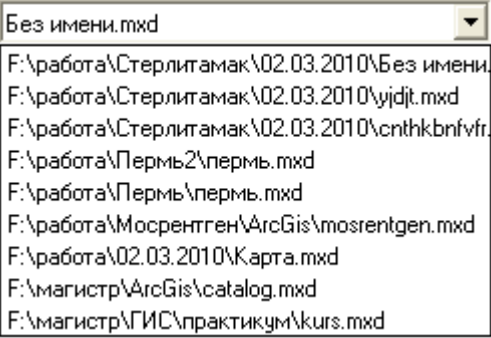


Рис. 10.4. Панель инструментов MapInfo

Можно создавать кнопки, подключать к ним пиктограммы и задавать процедуру, которая запускается при нажатии кнопки. Кнопки объединяются в панели инструментов.

Кнопки бывают разных типов: обычные, залипающие и задающие функции карты. В ГИС также присутствуют кнопки, позволяющие работать с картой и считывать с нее координаты под мышью. Процедура запускается только после нажатия мыши и в качестве переменных включает координаты x, y в окне карты.

Элементы диалоговых окон

№ п/п	Название	Представление
1	Переключатель	
2	Радиогруппа	
3	Текстовое поле	
4	Текстовая метка	
5	Кнопка	
6	Список	
7	Список выпадающий	

10.7. Программные компоненты

Существуют ГИС-компоненты, созданные по технологии ActivX, которые можно добавлять в любой современный визуальный язык программирования (Visual Basic, Visual C, Delphi). В результате в данном языке появляются дополнительные команды работы с картой. Многие крупные разработчики ГИС продают такие компоненты (ESRI – Map Object, MapInfo - MapX и т.п.) и лицензии на клиентские места.

Вопросы:

1. Что такое макросы?
2. Для чего используются программные приложения?
3. Назовите основные элементы программного приложения.
4. Назовите основные структурные элементы приложения.
5. Для чего служат инструменты создания интерфейса пользователя?
6. Что такое программные компоненты?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На современном этапе ГИС превращается из популярного и полезного инструмента в средство первой необходимости при решении самых разнообразных задач геоэкологии, землеустройства, землепользования и т.д. ГИС в наши дни является весьма востребованным средством не только научных исследований, но и в учебном процессе. ГИС помогает сформировать у людей новый взгляд на мир, обеспечивающий его комплексное восприятие и лучшее понимание взаимосвязей между его составляющими. Специалисты в этой области востребованы обществом и имеют прекрасные перспективы получения интересной, достаточно престижной работы.

В результате изучения представленных материалов студент получает базовые сведения о геоинформационных системах (ГИС), включая вопросы ввода/вывода данных, их оцифровки, способы представления пространственной и атрибутивной информации, краткие характеристики основных ГИС, их преимущества и недостатки. Графические иллюстрации, схемы и рисунки, позволяют лучше понять представленный теоретический курс и работу с описываемым программным обеспечением.

Владение ГИС технологиями – это не просто еще один производственный навык, это владение универсальным инструментом исследователя. Функции пространственного анализа применяется в большинстве направлений фундаментальных и прикладных научных исследований, что позволяет студентам и научным работникам формулировать географические вопросы и получать на них ответы путем создания и анализа картографического материала на основе выбранных критериев. В последние годы ГИС-технологии играют роль универсального инструмента, облегчающего освоение основных научных дисциплин. ГИС позволяет студентам освоить новые подходы к рассмотрению данных и современные методы работы с ними с использованием компьютеров. Кроме того, ГИС приобщает студентов к коллективному труду, поскольку выполнение учебных проектов, как правило, требует высокого уровня кооперации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Berry B.J.L.** Geographic sampling [Текст]/ Berry, B.J.L and A.M. Baker. – NJ: Prentice Hall, Englewood Cliffs. 1968.
2. **Chrisman, N.R.**, 1990 г. «Deficiencies of sheets and tiles: building sheet less databases» International Journal of Geographical Information Systems 4:157-67.
3. **ESRI**, 1990. Understanding GIS: The ARC/INFO Way, ESRI, Redlands, CA.
4. **Fleet. H.**, 1986 г. «SAGIS: a full-function public-domain GIS for micro and minicomputers».
5. **Goodchild, M.F.**, «A spatial analytical perspective on GIS,» International Journal of Geographical Information Systems 1:327-34. 1988 г.
6. **MapBasic: Development Environment: User's Guide Version 6.5** / Mapinfo Corporation. - New York, 2001. – 285 p.
7. **MapInfo Professional: Рук. Пользователя** / Пер. с англ. фирмы «ЭСТИ М»; MapInfo Corporation. - New York, 2000. – 760 с.
8. **Michael F.Goodchild. CORE CURRICULUM IN GIS** [Текст]/ Michael F.Goodchild and Karen K.Kem. – California: NCGiA. 1991.
9. **Upton, G.J.G.** Spatial Data Analysis by Example [Текст]/ Upton, G.J.G. and B. Fingleton. Vol I: Point Pattern and Quantitative Data - Wiley, New York. 1985 г.
10. **Ананьев, Ю.С.** Геоинформационные системы [Текст] : учеб. пособие / Ю.С. Ананьев. – Томск: ТПУ, 2003. – 70 с.
11. **Берлянт, А.М.** Геоинформатика: наука, технология, учебная дисциплина [Текст] : учеб. для вузов / А. М. Берлянт. – М.: Вестник Моск. ун-та, 1992. – 300 с.
12. **Берлянт, А.М.** Картография [Текст] : учеб. для вузов / А.М. Берлянт. – М.: Аспект Пресс, 2002. – 336с.
13. **Бугаевский, Л.М.** Геоинформационные системы [Текст]: учеб. для вузов / Бугаевский Л.М., Цветков В.Я – М. : Златоуст – 2000. – 342 с.
14. **Варламов, А. А.** Земельный кадастр. В 6-ти т. Т. 6 Географические и земельные информационные системы [Текст] : учеб. для вузов / Варламов А. А., Гальченко С. А. – М.: КолосС – 2005. – 399 с.

15. **ГеоГраф для Windows-1.5:** Руководство пользователя / ИГ РАН – М., 1998. – 240 с.
16. **Геоинформатика** [Текст]: учеб. для студентов вузов / Е.Г.Капралов, А. В. Кошкарёв, В. С. Тикунов и др.; / под ред. В.С. Тикунова. – М.: Изд. центр «Академия», 2005. – 480 с.
17. **Геоинформатика** [Текст]: учеб. для студентов вузов / Кошкарёв А.В., Тикунов В.С. / под ред. А.В. Кошкарёва. - М.: Картгеоцентр-Геоиздат, 1993. – 360 с.
18. **Геоинформатика** [Текст]: учеб. для студентов вузов по спец. 012500 «География», 013100 «Экология», 013400 «Природопользование», 013600 «Геоэкология», 351400 «Приклад. информатика (по областям)». Кн.1 / под ред. В.С.Тикунова. – 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Изд. центр «Академия», 2008. – 376 с.
19. **ГИС Технологии:** [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.gis-tech.ru/>
20. **Дейт К.Дж** Введение в системы баз данных = Introduction to Database Systems. — 8-е изд. — М.: [Вильямс](#), 2006. – 1071 с.
21. **Журкин, И.Г.** Геоинформационные системы [Текст]: / И.Г. Журкин, С.В. Шайгура. – М.: Кудиц-Пресс, 2009. – 272 с.
22. **Костюк, Ю.Л.** Представление рельефа земной поверхности в геоинформационных системах: Тр. Междунар. научно-практ. конф. «Геоинформатика 2000». Томск: Изд-во ТГУ, 2000. – 368 с.
23. **Кузнецов, С. Д.** Основы баз данных. –2-е изд. – М.: Интернет-Университет информационных технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 484 с.
24. **Основы ГИС.** [Текст]: курс лекций – Н. Новгород: НП НСО «КАДАСТР НЕДВИЖИМОСТИ» – 2006. – 286 с.
25. **Лопандя, А.В.** Основы ГИС и цифрового тематического картографирования: учеб.-метод.пособие / А.В. Лопандя, В.А. Немтинов. – Тамбов: Изд. ТГТУ, 2007. – 72 с.
26. **Майкл де Мерс.** Географические информационные системы. [Текст] - М.: Дата+, 2000. – 490 с.

27. **Неумывакин, Ю. К.** Земельно-кадастровые геодезические работы [Текст] / Ю. К. Неумывакин, М. И. Перский. – М. : КолосС, 2006. – 184 с. : ил. (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений).
28. **Никитина, Ю.В.** Курс лекций по дисциплине «Геоинформационные системы» для подготовки студентов высших учебных заведений [Текст] / Ю. В. Никитина, В. Н. Никитин. – Новосибирск: Сибир. гос. геодезическая академия, 2008. – 44 с.
29. **Обиралов, А. И.** Фотограмметрия и дистанционное зондирование [Текст] / А. И. Обиралов, А. Н. Лимонов, Л. А. Гаврилова. – М. : КолосС, 2006. – 334 с. : ил.
30. **Принтер:** [Электронный ресурс]: – Режим доступа : <http://ru.wikipedia.org>
31. **Раклов, В.П.** Картография и ГИС [Текст] учеб пособие для вузов / В.П. Раклов. – М.: Академический Проект; Киров: Константа, 2011. – 214 с.
32. **Растровая и векторная модели данных** [Электронный ресурс]. : – Режим доступа : <http://kadastromega.ru/node/82>
33. **Роланд, Ф.Д.** Основные концепции баз данных. [Текст] – М.: Вильямс. – 2002.
34. **Салищен, К.А.** Картоведение [Текст]: учеб. пособие / К.А. Салищен. – Москва: Изд. МГУ, 1990. – 400 с.
35. **Самардак, А.С.** Геоинформационные системы [Текст]: эл. учеб./ А.С. Самардак. – Владивосток: ДВГУ ТИДОТ, 2005. – 124 с.
36. **Тикунов, В.С.** Основы геоинформатики [Текст] учеб. пособие для студентов вузов по спец. 013100 «Экология» и направлению 511100 «Экология и природопользование». Кн.1 / под ред. В.С. Тикунова. – М. : Изд. центр «Академия», 2004. – 352 с.
37. **Тикунов, В.С.** Основы геоинформатики [Текст]: учеб. пособие для студентов вузов по спец. 013100 «Экология» и направлению 511100 «Экология и природопользование». Кн.2 / под ред. В.С. Тикунова. – М. : Изд. центр «Академия», 2004. – 480 с.
38. **Юнусов, А.Г.** Геодезия [Текст]: учеб. для вузов : [по направлению 120700 «Землеустройство и кадастры»] / А.Г. Юнусов, А.Б. Беликов, В.Н. Баранов, Ю.Ю. Каширкин. – М. : Гаудеамус ; М. : Академический Проект, 2011. – 409 с.

Учебное пособие

Кащенко Наталья Александровна

Попов Евгений Владимирович

Чечин Андрей Вячеславович

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Редактор Н.А. Воронова

Подписано к печати _____ Формат 60х90 1/16 Бумага офсетная. Печать трафаретная
Уч.изд. л. __ Усл. печ. л. __ Тираж 200 экз. Заказ № _____

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования

«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

603950, Н.Новгород, Ильинская, 65.

Полиграфический центр ННГАСУ, 603950, Н.Новгород, Ильинская, 65

Кащенко Наталья Александровна
Попов Евгений Владимирович
Чечин Андрей Вячеславович

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Учебное пособие

Редактор Н.А. Воронова

Подписано к печати _____ Формат 60х90 1/16 Бумага газетная. Печать трафаретная
Уч.изд. л.7,7. Усл. печ. л 8,1. Тираж 300 экз. Заказ № _____

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального
образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
603950, Н.Новгород, Ильинская, 65.

Полиграфический центр ННГАСУ, 603950, Н.Новгород, Ильинская, 65

ISBN 978-5-87941-863-7



9 785879 418637