

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Р.В. Ковин, Н.Г. Марков

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов
по университетскому политехническому образованию
в качестве учебного пособия для студентов высших
учебных заведений, обучающихся по направлениям
«Информатика и вычислительная техника»
и «Информационные системы»*

Издательство
Томского политехнического университета
2008

УДК 004.67:910.27(075.8)
ББК 32.973.26–018.2:26.17я73
К 56

Ковин Р.В.

К 56 Геоинформационные системы: учебное пособие / Р.В. Ковин, Н.Г. Марков. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 175 с.

ISBN 5-98298-199-0

В пособии изложены основы теории геоинформационных систем, включающие основы цифровой картографии, модели пространственных данных, методы и алгоритмы сбора, хранения, визуализации и анализа пространственных данных. Рассматриваются широко распространенные ГИС и методы и средства создания ГИС-приложений.

Пособие разработано в рамках реализации Инновационной образовательной программы ТПУ по направлению «Информационно-коммуникационные системы и технологии» и предназначено для студентов, аспирантов, преподавателей, научных работников и специалистов, работающих в области геоинформационных систем и технологий.

УДК 004.67:910.27(075.8)
ББК 32.973.26-018.2:26.17я73

Рекомендовано к печати Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета

Рецензенты

Доктор технических наук, профессор
В.Н. Бойков

Доктор технических наук, профессор
К.Т. Протасов

ISBN 5-98298-199-0

© Р.В. Ковин, Н.Г. Марков, 2008

© Томский политехнический университет, 2008

© Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2008

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
Глава 1	
ВВЕДЕНИЕ В ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ	10
1.1. Геоинформатика – теоретическая основа для создания геоинформационных систем	10
1.2. История развития ГИС	12
1.3. Прародители современных ГИС	13
1.4. Классификация ГИС	15
1.4.1. Классификация ГИС по архитектурному принципу построения	15
1.4.2. Классификация ГИС по аппаратной платформе	15
1.4.3. Классификация ГИС по территориальному охвату	16
1.4.4. Классификация ГИС по функциональным возможностям	16
1.4.5. Классификация ГИС по используемой модели данных	17
1.4.6. Другие виды классификации ГИС	17
1.5. Схема функционирования ГИС	18
1.6. Структура универсальных ГИС	20
1.7. Аппаратное и программное обеспечение ГИС	22
1.8. Вопросы и задания для самопроверки	24
Глава 2	
ОСНОВЫ ЦИФРОВОЙ КАРТОГРАФИИ	25
2.1. Фигура и размеры Земли, используемые модели	25
2.1.1. Понятие о карте	25
2.1.2. Геодезическая основа карт	25
2.2. Системы координат, применяемые в геодезии и картографии	27
2.2.1. Географическая (астрономическая) система координат	27
2.2.2. Геодезическая система координат	28
2.2.3. Система прямоугольных координат	30
2.2.4. Полярная система координат	30
2.2.5. Зональная система координат	30
2.3. Картографические проекции. Искажения в картографических проекциях	31
2.3.1. Общие понятия	31
2.3.2. Искажения в картографических проекциях	33

2.4.	Классификация картографических проекций	34
2.4.1.	Классификация проекций по характеру искажений	34
2.4.2.	Классификация проекций по виду вспомогательной поверхности	35
2.4.3.	Классификация проекций по ориентировке	36
2.4.4.	Классификация проекций по виду нормальной картографической сетки	37
2.4.5.	Классификация проекций по способу получения	40
2.4.6.	Классификация проекций по особенностям использования	40
2.5.	Равноугольная поперечно-цилиндрическая проекция Гаусса-Крюгера	40
2.6.	Разграфка и номенклатура листов топографических карт и планов	42
2.7.	Вопросы и задания для самопроверки	45
Глава 3		
	МОДЕЛИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ	47
3.1.	Типы пространственных объектов в ГИС	47
3.2.	Понятие о моделях пространственных данных	49
3.3.	Растровые модели данных	54
3.3.1.	Общие положения	54
3.3.2.	Характеристики растровых моделей	57
3.3.3.	Метод группового кодирования	59
3.4.	Регулярно-ячеистое представление данных	60
3.5.	Квадратомическая модель данных	61
3.5.1.	Общие положения	61
3.5.2.	Квадратомические деревья	61
3.5.3.	Построение квадратомического дерева для случая растровых полигонов	62
3.6.	Векторные модели данных	64
3.6.1.	Общие положения	64
3.6.2.	Векторные нетопологические модели	66
3.6.3.	Векторные топологические модели	68
3.7.	Преобразования «вектор–растр» и «растр–вектор»	75
3.8.	Модели поверхностей (геополей)	76
3.8.1.	Общие положения	77
3.8.2.	Цифровые модели геополей	77
3.9.	Вопросы и задания для самопроверки	86
Глава 4		
	ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ	87
4.1.	Общие принципы визуализации пространственных данных	87
4.2.	Визуализация векторных данных	88
4.2.1.	Условные знаки	89

4.2.2. Визуализация точечных объектов	89
4.2.3. Визуализация линейных объектов	90
4.2.4. Визуализация площадных объектов	90
4.2.5. Визуализация текстовых объектов	91
4.3. Тематические карты	92
4.3.1. Понятие тематической переменной	93
4.3.2. Метод диапазонов	93
4.3.3. Метод диаграмм	95
4.3.4. Метод размерных символов	96
4.3.5. Метод плотности точек	97
4.3.6. Метод индивидуальных значений	97
4.4. Визуализация растровых данных	98
4.5. Проблема генерализации	99
4.6. Визуализация геополей	101
4.7. Вопросы и задания для самопроверки	104
Глава 5	
ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ В ГИС	105
5.1. Измерительные операции	105
5.2. Анализ отношений пространственных объектов	106
5.3. Пространственные запросы	110
5.4. Оверлейные операции	112
5.5. Операции отсечения и разрезания	113
5.6. Агрегация и дисагрегация атрибутов объектов	114
5.7. Буферные зоны	114
5.8. Зоны близости	117
5.9. Анализ инженерных сетей	118
5.10. Анализ геополей	119
5.10.1. Понятие уклона и экспозиции рельефа местности	119
5.10.2. Расчет уклонов и экспозиций рельефа местности	121
5.10.3. Расчет линии видимости	121
5.10.4. Расчет зон видимости	122
5.10.5. Расчет расстояния и площади по рельефу местности	126
5.10.6. Расчет объема тела, ограниченного поверхностями	128
5.10.7. Цифровая фильтрация геополей	130
5.11. Восстановление геополей	132
5.11.1. Восстановление геополя по точечным данным	134
5.11.2. Восстановление геополя по изолиниям	137
5.12. Вопросы и задания для самопроверки	138
Глава 6	
ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ВЕКТОРНЫХ КАРТ	140
6.1. Получение цифровых карт по исходным бумажным картам	140
6.2. Получение карт по данным дистанционного зондирования Земли	142

6.3. Получение карт по данным наземных измерений и по данным спутниковых систем	144
6.4. Вопросы и задания для самопроверки	145
Глава 7	
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГИС	146
7.1. Программное обеспечение универсальных векторных ГИС	146
7.1.1. Семейство программных продуктов ArcGIS 9	146
7.1.2. Программные средства ГИС MapInfo Professional 8.5	149
7.2. Программное обеспечение универсальных растровых ГИС	151
7.2.1 ГИС ERDAS Imagine 8.7	151
7.2.2. ГИС ER Mapper 6.4	151
7.3. Системы Интернет-ГИС	151
7.3.1. Информационно-поисковый веб-сервис Google Maps	151
7.3.2. Информационно-поисковая ГИС Google Earth	153
7.3.3. Другие информационно-поисковые веб-сервисы	153
7.4. Картографические программные модули	154
7.5. ГИС-приложения	154
7.5.1. Общие положения	154
7.5.2. Классификация ГИС-приложений	155
7.5.3. Методы и подходы к созданию ГИС-приложений	156
7.5.4. Тенденции в области разработки ГИС-приложений	160
7.6. Вопросы и задания для самопроверки	163
Глава 8	
ПРИМЕНЕНИЕ ГИС	164
8.1. ГИС производственного назначения	164
8.1.1. Применение ГИС в газовой отрасли	164
8.1.2. Применение ГИС в геологии и недропользовании	167
8.2. ГИС в органах государственного и муниципального управления	169
8.3. Вопросы и задания для самопроверки	170
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	171
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	173

ВВЕДЕНИЕ

В последнее десятилетие в России интенсивно ведутся исследования и разработки по геоинформатике. Основным инструментом для решения стоящих перед ней задач являются геоинформационные системы (ГИС). Эти системы предназначены для работы с большими объемами пространственных данных и решают задачи сбора, хранения, визуализации и анализа таких данных. Сегодня ГИС широко применяются в различных областях человеческой деятельности.

При изучении дисциплины «Геоинформационные системы» при подготовке магистров по направлению «Информатика и вычислительная техника» и дипломированных специалистов по специальности «Информационные системы и технологии» студенты используют знания, полученные по дисциплинам «Информатика», «Компьютерная геометрия и графика», «Информационные технологии» и т. д.

Целью дисциплины является изучение теоретических основ построения ГИС, включающих основы цифровой картографии, модели пространственных данных, методы и алгоритмы сбора, хранения, обработки, анализа и визуализации в этих системах пространственных данных. Студент должен изучить принципы работы ГИС ведущих мировых вендоров, познакомиться с их основными функциональными возможностями. В рамках этой дисциплины также изучаются широко известные программные продукты ГИС, методы и средства создания приложений в среде универсальных ГИС. Все это позволит сформировать у студента компетенции, дающие ему возможность проектировать и реализовывать специализированные и проблемно-ориентированные ГИС, используя среды универсальных ГИС.

Студент должен уметь применять полученные знания при решении практических задач: осуществлять обработку пространственной информации, выполнять картирование и анализ данных средствами современных ГИС, а также сопровождать такие системы, обеспечивая их работоспособность.

Компетенции, полученные при изучении дисциплины «Геоинформационные системы», необходимы студентам при освоении ряда других дисциплин: «Геоинформационные технологии», «Ввод и обработка данных дистанционного зондирования Земли» и т. п.

Учебное пособие состоит из восьми глав. Для более полного и целенаправленного усвоения материала пособие разбито на две части: теоретическую и практическую. Теоретическая часть представлена главами 1–5, практическая – главами 6–8.

В первой главе, являющейся вводной, дается понятие геоинформационных систем, кратко описывается история развития геоинформатики, рассматриваются системы, ставшие прародителями современных ГИС. Подробно излагается классификация ГИС и раскрывается обобщенная схема функционирования ГИС, кратко описаны аппаратные и программные компоненты ГИС.

Вторая глава посвящена изложению основ цифровой картографии. В ней рассматриваются системы координат, применяемые в геодезии и картографии, дается понятие картографической проекции, рассматриваются различные проекции и их искажения. Подробно рассматривается проекция Гаусса-Крюгера, широко используемая в России.

Третья глава посвящена моделям пространственных данных, используемым в ГИС. Дается понятие модели пространственных данных, рассматриваются векторные топологические и нетопологические модели данных. Также приводится описание растровых моделей, используемых в ГИС, рассматриваются вопросы преобразования типа «вектор–растр» и «растр–вектор». Значительное внимание уделено моделям поверхностей, известных также под названием геополя.

В четвертой главе излагаются принципы и методы визуализации пространственных данных. Последовательно раскрываются особенности визуализации векторных и растровых данных, дается понятие тематических карт и описываются методы их создания в ГИС. Рассматривается проблема генерализации и способы ее решения в ГИС. Описываются способы визуализации геополей, такие как изолинии, изоконтур, трехмерная визуализация и др.

В пятой главе рассматриваются особенности пространственного анализа данных в ГИС: описываются типовые измерительные операции, раскрывается суть пространственных отношений, являющихся основой для выполнения пространственных запросов в ГИС. Рассматриваются оверлейные и другие операции, позволяющие решать задачи пространственного анализа данных.

В шестой главе описываются технологии создания цифровых векторных карт на основе исходных бумажных карт и с использованием данных дистанционного зондирования Земли. Указаны способы получения карт по данным наземных измерений и по данным, полученным с помощью спутниковых навигационных систем.

В седьмой главе кратко рассматривается программное обеспечение наиболее популярных векторных и растровых ГИС, описываются инфор-

мационно-поисковые Интернет-ГИС. Дается понятие ГИС-приложений, приводится их классификация, а также подробно описываются методы и подходы к их разработке.

В восьмой главе описываются примеры использования ГИС в различных областях человеческой деятельности.

В конце каждой главы даются вопросы и задания для самопроверки.

Глава 1

ВВЕДЕНИЕ В ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Вводится понятие геоинформатики и геоинформационных систем. Подробно излагается классификация геоинформационных систем и раскрывается обобщенная схема их функционирования.

1.1. Геоинформатика – теоретическая основа для создания геоинформационных систем

В настоящее время в науке и технике для описания тех или иных объектов, процессов или явлений традиционно применяются литературные, статистические, картографические, аэро- и космические материалы и данные. Как правило, их подборка и систематизация для последующего использования осуществляется вручную. Этот подход хорошо известен, стал уже традиционным и продолжает применяться в России повсеместно. Другим подходом, являющимся более перспективным, служит подход, когда в накоплении и обработке данных об объектах, процессах и явлениях используется компьютерная техника и современные методы обработки данных, информационные системы и технологии.

В том случае, когда те или иные материалы об объекте имеют точную координатную привязку, говорят, что объект имеет описание в пространстве и он должен изучаться методами и средствами геоинформатики. Геоинформатика – новая, быстро развивающаяся отрасль науки. Существует несколько ее определений. Наиболее простое определение: геоинформатика – это область науки, позволяющая формализовать и реализовывать в машинной среде операции накопления, хранения, обработки и визуализации пространственно-координированных данных с помощью средств географических информационных систем (ГИС).

Наиболее полное определение геоинформатики в соответствии с толковым словарем основных терминов геоинформатики (1999 г., под редакцией А.М. Берлянта, А.В. Кошкарева) таково:

Определение 1.1. *«Геоинформатика (geo-informatics) – наука, технологии и производственная деятельность по научному обоснованию, проектированию, созданию, эксплуатации и использованию географических информационных систем, по разработке геоинформацион-*

ных технологий, по прикладным аспектам или приложению ГИС для практических и геонаучных целей».

По одной из точек зрения геоинформатика входит составной частью в геоматику или предметно и методически пересекается с ней. Геоматика (geomatics) – это совокупность применений информационных технологий, мультимедиа и средств телекоммуникации для обработки данных и анализа геосистем. Иногда геоматика употребляется как синоним геоинформатики.

Дадим определение географических информационных систем, геоинформационных систем или сокращенно – ГИС (geographic(al) information system, GIS, spatial information system).

Определение 1.2. Геоинформационная система – это информационная система, обеспечивающая сбор, хранение, обработку, доступ, отображение и распространение пространственно координированных данных (пространственных данных). ГИС содержит данные о пространственных объектах в форме их цифровых представлений (векторных, растровых, квадратовых и иных). ГИС поддерживается программным, аппаратным, информационным, нормативно-правовым, кадровым и организационным обеспечением. С точки зрения теории информационных систем ГИС – это большой класс информационных систем (ИС), позволяющих работать с пространственными данными.

Приставка *geo-* во всех этих словах (геоинформатика, геоматика, ГИС) происходит не от слова «география», а от слова *геос-* земля; эта приставка характеризует пространство (*геос-* характеристика пространственности), работу с пространственно-координированными данными. Более того, процент чисто пространственно-привязанных данных обычно в ГИС не очень велик, технологии обработки данных в таких системах имеют мало общего с традиционной обработкой географических пространственных данных в географии и, наконец, пространственные данные лишь служат базой для решения большого числа прикладных задач в ГИС, цели создания которых далеки от географии.

В современных ГИС осуществляется комплексная обработка информации – от ее сбора до хранения, обновления, обработки и представления (визуализации). В связи с этим ГИС можно рассматривать с различных позиций. Например, считать их системами управления, поскольку они в ряде проблемных областей предназначены для обеспечения принятия решений по оптимальному управлению землями и ресурсами, городским хозяйством, по управлению транспортом (в том числе трубопроводным) и т. п. Далее как системы, использующие базы данных, ГИС являются автоматизированными информационными системами. При этом следует подчеркнуть, что ГИС объединяют в себе как базы данных с атрибутивными

(обычными, традиционными данными), так и графические базы данных или их еще называют пространственными базами данных.

В литературе наиболее часто обращается внимание на связи геоинформатики и картографии. Обычно показывается проблема двойственности, с одной стороны, геоинформационного обеспечения картографии, а с другой стороны, картографического обеспечения геоинформатики. Взаимосвязи картографии и геоинформатики проявляются в следующих аспектах:

- тематические и топографические карты – главный источник пространственно-временных данных для ГИС;
- системы географических и прямоугольных координат и картографическая разграфка служат основой для координатной привязки (географической локализации) всей информации, поступающей и хранящейся в ГИС;
- карты – основное средство географической интерпретации и организации данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и другой используемой в ГИС информации (статистической, аналитической и т. п.);
- карты – один из наиболее важных источников массовых данных для формирования позиционной и содержательной части баз данных ГИС в виде цифровых карт – основ; послойное представление пространственных объектов имеет прямые аналогии с поэлементным разделением тематического содержания карт.

Однако задачи геоинформатики выходят за пределы картографии, делая их основой для интеграции частных наук (геологии, почвоведения и т. п.) при комплексных геонаучных исследованиях.

1.2. История развития ГИС

Остановимся на истории развития геоинформатики и ГИС. В середине и особенно к концу 80-х годов прошлого столетия в литературе, посвященной состоянию, успехам и перспективам развития геоинформатики, стало традиционным ссылаться на ее почти 30-летний юбилей. Точное же время ее рождения вряд ли известно достоверно. Сам взгляд на историю существенно зависит от точки зрения на время зарождения идей и технологий, которые составляют основу современной геоинформатики и современных ГИС. Поэтому схематично история геоинформатики такова.

Истоки ее находятся в работах коллективов, сформулировавших первые задачи и подходы к построению информационных систем, ориентированных на обработку пространственных данных. Это коллективы ученых и разработчиков из Канады и Швеции. Канадские работы были связаны с созданием в 1963–1971 гг. канадской ГИС (CGIS) под руководством

Р. Томлинсона. CGIS является одним из примеров крупной универсальной (по тем временам) региональной ГИС национального уровня и до сих пор считается классической. 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. Анализ ранней канадской и шведской литературы по ГИС показывает, что ГИС «первого поколения» (60-х – начала 70-х годов прошлого столетия) значительно отличались от того, что понимается под ними сегодня. Их зачастую отличала ориентация на чисто утилитарные задачи инвентаризации земельных ресурсов, земельного кадастра и т. п. Однако благодаря ученым в составе этих коллективов были сформулированы оригинальные идеи, что позволило заложить в основу этих ГИС фундаментальные принципы. Так, первый и главный принцип, который вывел ГИС из круга баз данных общего назначения, заключался во введении в число атрибутов операционных объектов (земельных участков, строений и т. п.) *признака пространства*, в какой бы форме местоуказания (в координатах, в иерархии административной принадлежности, в терминах принадлежности к ячейкам регулярных сетей членения территории) он ни выражался.

За рубежом 80-е годы двадцатого столетия отличает чрезвычайный динамизм развития ГИС: к середине 80-х годов их число приближается к 500, разрабатываются коммерческие программные средства ГИС. При этом существенно расширяется круг решаемых задач, геоинформационные технологии проникают во все новые сферы науки, производственной деятельности и образования. В России развитие геоинформатики и ГИС началось по сути дела с конца 80-х – начала 90-х годов двадцатого столетия. Развиваются не только отдельные специализированные ГИС, но и начинают появляться универсальные ГИС в виде коммерческих программных продуктов. С середины 90-х годов прошлого века в России – геоинформационный бум: создаются ГИС разных классов для большого числа областей знаний.

1.3. Прародители современных ГИС

Уже несколько десятилетий назад на рынке информационных систем представлены несколько видов систем, работающих с пространственно-координированной информацией:

- системы автоматизированного проектирования (САД – англоязычная аббревиатура);
- системы автоматизированного картографирования (АМ – англоязычная аббревиатура);
- системы управления сетями (FM – англоязычная аббревиатура).

CAD-, AM- и FM-системы, наряду с рассмотренными выше системами мелкомасштабного пространственного анализа и системами управления базами данных (СУБД) можно считать *прародителями ГИС*.

Например, системы фирмы Intergraph базируются на CAD-системе, а ArcInfo развивалась на базе системы мелкомасштабного пространственного анализа. В современных версиях ГИС наблюдается интеграция идей и подходов, положенных в основу различных видов ИС.

Рассмотрим подробнее предшественников современных ГИС.

CAD-системы. Это системы для автоматизированного проектирования с использованием средств машинной графики. На этой области применения программного обеспечения (ПО) специализируются фирмы Autodesk Limited, Seli и др. Такого рода системы работают с техническими чертежами. Применение CAD-систем необходимо для ускорения процесса черчения, повышения точности за счет более детального просмотра элементов чертежа в произвольном масштабе, улучшения качества чертежа, возможности вносить исправления, многократного копирования.

Первоначально CAD использовались как двумерные системы, обеспечивающие только автоматизацию выпуска конструкторской документации на изделия. Далее были введены трехмерные модели объектов и операций над ними (перенос, поворот, масштабирование, удаление скрытых линий, визуализация 3D-модели и т. д.).

CAD поддерживают большой список устройств ввода/вывода, работают со слоями, однако не работают с картографической информацией, поскольку используют условную декартовую систему координат. Ранние CAD были малопригодны для решения задач анализа пространственных данных, поскольку отсутствовала семантическая и тематическая часть описания объектов (атрибутов, связей и т. п.). Однако современные версии CAD-систем также, как и ГИС, содержат БД.

AM-системы. AM-системы – программные продукты, специально предназначенные для профессионального производства карт. Эти системы базируются в основном на рабочих станциях. Профессиональные AM-системы позволяют получать качественные карты, не уступающие полиграфическим, однако они не нацелены на управление данными длительный период времени, почти лишены средств анализа данных и ввода новых прототипов. AM-системы работают только с регламентированными образами, форматами, используют только заранее заданные стили оформления, т. е. идеально подходят для создания *стандартных* карт. AM-системы лишены возможности моделирования, тематического картографирования, решения управленческих задач и задач мониторинга.

FM-системы. FM-системы – это системы управления сетями (водопроводные, трубопроводные, энергетические и телефонные сети и т. д.),

то есть пространственными объектами, с каждым из которых связана содержательная информация. FM-системы используют для решения задач, не требующих метрической точности положения объектов в пространстве.

1.4. Классификация ГИС

Любую ГИС можно отнести по одному или нескольким признакам к тому или иному классу. Рассмотрим основные классы современных ГИС.

1.4.1. Классификация ГИС по архитектурному принципу построения

ГИС, представленные на современном этапе, делятся на два класса по типам архитектур: закрытые и открытые.

Закрытые системы характеризуются низкой ценой, в них заранее представлен (определен) класс решаемых системой задач. Они характеризуются простотой интерфейса и быстрым освоением этих систем пользователями. Набор выполняемых ими функций не может быть изменен. Исходя из этого можно отметить короткий жизненный цикл этих систем.

Открытые системы имеют определенный набор функций и снабжены специальным аппаратом для создания и встраивания пользователями специальных приложений, расширяя тем самым функциональные возможности базовых ГИС. Открытые системы дороже, но имеют более длительный жизненный цикл и могут быть адаптированы к широкому классу задач.

1.4.2. Классификация ГИС по аппаратной платформе

ГИС профессионального уровня. К этому типу относятся широко известные ГИС фирм Intergraph – MGE, ESRI – ArcGIS и др.

Это достаточно мощные системы, созданные изначально для клиент-серверного применения (используются мощные серверы и рабочие станции). Эти системы строятся по модульному принципу и могут поставляться в различной комплектации.

ГИС настольного типа. ГИС этого типа ориентированы на ПК и предназначены для использования широким кругом пользователей. Такие ГИС обладают меньшим набором функций. Они имеют низкую цену, более массово используются, на их базе организуются рабочие места в больших ГИС-проектах, где ГИС строится как многоуровневая система.

Интернет/Инtranет-ГИС. Отличительная черта таких систем – использование клиент-серверной технологии в их построении и Web-технологии. При этом все данные хранятся на сервере и становятся доступными на клиенте посредством сети Интернет (Инtranет). Клиенты находятся на ПК и бывают двух видов: «тонкие» и «толстые».

Тонкие клиенты традиционно основаны на использовании стандартного браузера, а толстые представляют собой отдельное приложение, взаимодействующее с сервером с картографическими и иными данными. Считается, что у таких ГИС большое будущее в разных областях человеческой деятельности.

1.4.3. Классификация ГИС по территориальному охвату

По территориальному охвату различают следующие ГИС:

- глобальные (планетарные, glonal GIS);
- субконтинентальные;
- национальные (государственные);
- региональные (regional GIS);
- субрегиональные;
- локальные (местные, local GIS);
- сублокальные.

Классификация ГИС по предметной области информационного моделирования

Проблемная ориентация ГИС определяется решаемыми в ней задачами (научными и/или прикладными), среди них инвентаризация природных ресурсов, анализ, оценка явлений природы, мониторинг, управление и планирование производства, поддержка принятия решений в различных областях человеческой деятельности и т. п.

По предметной области информационного моделирования различают ГИС:

- городские (муниципальные – МГИС, urban GIS);
- природоохранные (environmental GIS);
- земельные ИС;
- мониторинга водных ресурсов;
- геологии и геологоразведки и т. д.

1.4.4. Классификация ГИС по функциональным возможностям

По функциональным возможностям различают ГИС:

- универсальные (инструментальные, полнофункциональные);
- специализированные;
- ГИС-вьюеры.

Универсальные ГИС характеризуются открытостью, работают с различными форматами данных, обладают достаточно мощным графическим редактором, имеют средства разработки и внедрения различных приложений (увеличение набора функций). По мере развития и создания

новых версий эти ГИС снабжаются большим числом модулей как общего, так и специального назначения (например, ГИС MapInfo, ArcInfo и др.)

Это наиболее широко используемый класс ГИС, поскольку позволяет при необходимости адаптироваться и решать различные задачи во многих областях знаний, увеличивать число встраиваемых специализированных модулей, с помощью которых расширяется аппарат пространственного моделирования и анализа исходных данных.

Как правило, эти системы имеют собственные встроенные языки, работающие как с атрибутивной, так и с графической информацией, и средства для внедрения программных модулей, написанные на языках высокого уровня.

Специализированные ГИС решают узкий круг задач на заданном наборе параметров. Их основная задача – контроль протекания процессов и предотвращение нежелательных ситуаций, автоматизация документооборота и т. д.

ГИС-вьюеры предназначены для визуализации пространственной информации, вывода ее на печать. Эти системы не снабжены аппаратом для пространственного анализа и моделирования.

1.4.5. Классификация ГИС по используемой модели данных

Векторные ГИС основаны на принципах векторной графики и работают с топологическими или нетопологическими векторными моделями данных.

Растровые ГИС основаны на принципах растровой графики и работают с растровыми моделями данных.

Гибридные ГИС сочетают в себе возможности векторных и растровых ГИС.

Подавляющее большинство современных ГИС не являются строго векторными или строго растровыми. Обычно в векторной ГИС имеются некоторые средства работы с растровыми данными и, наоборот, в растровой ГИС имеются средства для работы с векторными моделями данных (подобное наблюдается и среди графических редакторов).

1.4.6. Другие виды классификации ГИС

Интегрированные ГИС (Integrated GIS, IGIS) совмещают функциональные возможности ГИС и систем цифровой обработки и интерпретации изображений (в первую очередь, аэрокосмических) в единой интегрированной среде.

Полимасштабные ГИС (масштабно-независимые ГИС, multiscale GIS) основаны на множественных или полимасштабных представлениях пространственных объектов (multiple representation), обеспечивая

графическое или картографическое воспроизведение данных на любом из избранных уровней масштабного ряда на основе единственного набора данных с наибольшим пространственным разрешением.

Пространственно-временные ГИС (spatio-temporal GIS) оперируют пространственно-временными данными.

Возможна классификация ГИС, в основе которой лежат два, а иногда и три признака.

1.5. Схема функционирования ГИС

Набор функций, реализованный в ГИС, зависит, в первую очередь, от назначения системы в целом. Обобщенная схема функционирования ГИС представлена на рис. 1.1. В разных системах отдельные блоки реализованы более или менее универсальными или узкоспециализированными и имеют различные наборы конкретных функций. Рассмотрим подробнее эту схему.



Рис. 1.1. Обобщенная схема функционирования ГИС

Блок 1 – ввода исходных данных. Исходными данными, как правило, являются наборы данных, сформированные в стандартных форматах (например, DBF, MDB (Access), XLS (Excel), ASCII-кодах, внутренние форматы других систем, обменные форматы ГИС). Исключением являются специализированные ГИС, являющиеся программной надстройкой над аппаратными комплексами, где с электронных устройств происходит считывание исходных данных, которые преобразуются затем в ГИС во внутренние форматы данных и подвергаются дальнейшей расшифровке и обработке (например, регистрирующая аппаратура для сейсморазведки, датчики контроля состояния технологического оборудования и т. д.).

Блок 2. Исходными данными в ГИС могут быть атрибутивные, графические (как правило, пространственные) или те и другие данные вместе (например, информация о состоянии в скважине может содержать: режимы функционирования, длительность ее жизни, данные о слоях геологической среды; координаты устья скважины; результаты аэро- и космосъемки участка скважины представлены снимками (растровыми изображениями), снабженными метаданными (место и время съемки, метеоусловия, производитель и т. п.). Эти данные должны быть представлены и описаны с использованием соответствующих моделей.

Блок 3. Исходные данные, представленные в ГИС (блоки 1 и 2), визуализируются, т. е. наглядно отображаются в удобном пользователю виде (базы данных, таблицы, электронные карты и т. п.).

Блок 4. Является интеллектуальным блоком. С помощью его производится проверка корректности, истинности исходных данных, происходит выделение структур данных, которые участвуют в технологическом процессе, и ведется собственно обработка данных.

Блок 5. Представляет результаты обработки информации в блоке 4 в виде структур данных, пригодных для эксплуатации и применения специализированных функций, в первую очередь пространственного анализа.

Блок 6 пространственного анализа и моделирования – важный интеллектуальный этап у многих ГИС. Его средствами происходит интерпретация данных, получение вторичных характеристик параметров исследуемого пространственного объекта или явления. Включает в себя систему простых и сложных (гибких) запросов, применение различных расчетных алгоритмов. На этом этапе происходит пространственный анализ данных и моделирование поведения объектов исследования.

Блок 7. Результаты анализа, моделирования представляются наглядно, оцениваются аналитиком (пользователем) и происходит (если это необходимо) редактирование результатов (картографических баз данных в том числе).

Блок 8. Формируются отчеты и документы (электронные копии текстовых документов, например, результаты запросов; электронные карты с соблюдением требований стандартов оформления картографической информации и т. п.).

Блок 9. Получение твердых копий отчетных документов, сохранение результатов работы во внутренних и внешних базах данных для хранения и дальнейшего использования, экспорт данных в другие системы.

Схема функционирования ГИС, представленная на рис. 1.1, описывает работу ГИС в целом. Однако в различных ГИС отдельные блоки реализованы с различной функциональностью, а отдельные блоки вообще отсутствуют.

Так, узкоспециализированные ГИС, предназначенные для обработки конкретных данных и решения заданного (обычного малого) набора задач, учитывают специфику исходной информации выполняют только операции, необходимые для эффективного сбора, хранения и анализа соответствующих данных. В некоторых ГИС блок вывода графической и атрибутивной информации. Так, например, если это автоматизированное рабочее место (АРМ) диспетчера предприятия, транспортирующего газ, то такое АРМ должно позволять формировать отчеты о состоянии оборудования, наличии сырья в отдельных сегментах газопровода и т. д.

Все запросы, в том числе и пространственные, можно заранее предусмотреть, а отчетная информация регламентируется нормативными документами.

Универсальные ГИС характеризуются качественной реализацией блоков ввода и вывода информации, мощным графическим редактором, а блок моделирования и пространственного анализа представлен гибкой системой запросов и мощными процедурами анализа пространственных объектов.

1.6. Структура универсальных ГИС

Рассмотрим структурную схему типовой универсальной ГИС (рис. 1.2). На схеме такой ГИС можно выделить четыре больших компоненты: ядро, подсистемы импорта/экспорта данных, средства расширения функционала ГИС и графический интерфейс пользователя.

Ядро ГИС состоит из следующих основных подсистем.

Внутренняя СУБД – система управления базами данных. В современных ГИС все данные (пространственные и атрибутивные), как правило, хранятся и обрабатываются с помощью внутренней СУБД. Такая СУБД может быть основана как на традиционной реляционной СУБД, дополненной пространственными функциями, так и разработанной с нуля. С помощью такой СУБД можно эффективно, используя механизм запросов (в том числе и SQL-запросов), решать задачи поиска, обобщения, группировки данных и т. п.

Во многих ГИС имеется возможность использования *внешних СУБД*. Обычно во внешних базах данных хранят атрибутивные данные, а пространственные данные хранят локально или на файл-сервере. Это связано с тем, что большинство реляционных СУБД не поддерживает работу с пространственными данными. Однако для некоторых промышленных СУБД существуют решения, позволяющие не только хранить такие данные, но и эффективно их обрабатывать (Oracle Spatial, MapInfo SpatialWare и др.).

Подсистема пространственного анализа представляет собой библиотеку функций для анализа пространственных отношений, выполнения оверлейных операций, построения буферных зон и др. (подробнее задачи анализа описаны в главе 5).

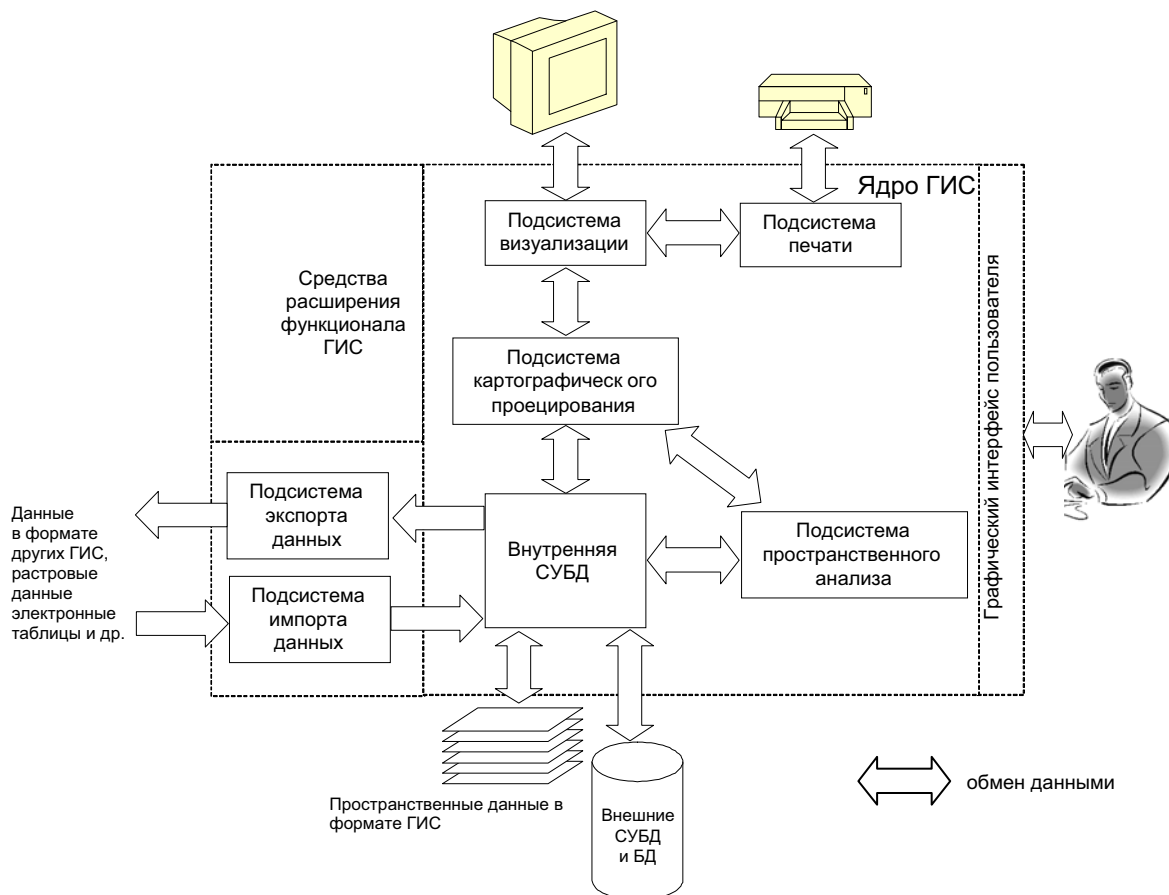


Рис. 1.2. Структурная схема универсальной ГИС

Подсистема картографического проецирования предназначена для выполнения координатных преобразований из одной картографической проекции в другую или в экранную систему координат.

Подсистема визуализации позволяет отображать пространственные данные в виде многослойной карты, используя средства машинной графики. При этом подсистема может работать как с векторными, так и с растровыми данными. Неотъемлемой частью подсистемы является *векторный редактор*, позволяющий вводить новые и редактировать существующие данные. Подсистема визуализации тесно связана с подсистемой картографического проецирования.

Подсистема печати позволяет выводить на печать карты, отчеты и другие материалы, сформированные в ГИС. Как правило, в ГИС существует возможность формирования *макета печати*, в котором можно разместить сформированные картографические материалы, настроить их внешний вид и свойства и затем вывести на печать.

Средства расширения функционала ГИС могут представлять собой среду для исполнений приложений, написанных на внутреннем языке

ке ГИС или являться надстройкой с поддержкой технологий VBA, COM или Net. Возможны и иные варианты расширения функционала ГИС.

Подсистемы импорта/экспорта данных предназначены для обмена данными с другими внешними системами.

Именно благодаря наличию средств расширения функционала ГИС и подсистем импорта/экспорта данных универсальные ГИС являются *открытыми* системами.

Графический интерфейс пользователя является неотъемлемой частью любой системы, работающей с графической информацией. С его помощью осуществляется интерактивное взаимодействие пользователя с ГИС. К основным элементам интерфейса пользователя относятся: главное окно, основное меню, панели инструментов, окно карты, окно слоев и др. Интерактивное взаимодействие позволяет пользователю взаимодействовать, в первую очередь, с окном карты с помощью традиционных инструментов изменения масштаба, панорамирования карты и т. п.

1.7. Аппаратное и программное обеспечение ГИС

Геоинформационную систему можно рассматривать как совокупность аппаратных и программных средств, предназначенных для ввода, хранения, визуализации и обработки пространственных данных. Основными аппаратными средствами ГИС являются серверы и рабочие станции. Однако для работы также необходимы различные периферийные устройства ввода и вывода данных. Рассмотрим их подробнее.

Периферийные устройства ввода данных. К таким средствам относятся:

1. *Клавиатура.* Предназначена для ввода алфавитно-цифровой информации. С ее помощью можно вводить как атрибутивные данные, так и графические (пространственные). В последнем случае такой ввод производится посредством ввода *координат* объектов в той или иной системе координат.
2. *Мышь.* Традиционно мышь используется как основное средство ввода графической информации посредством векторного редактора.
3. *Сканер.* Сканер используется для формирования растрового представления по исходным бумажным или иным материалам. Сканеры различаются:
 - по способу подачи исходного материала для считывания (ручные, планшетные, протяжные, например, роликовые и барабанные);
 - по принципу считывания информации (работающие на просвет или на отражение);
 - по глубине цвета;

- по разрешению;
 - по геометрической точности;
 - по скорости сканирования;
 - по формату (максимальному размеру сканируемого источника).
4. *Дигитайзер*. Это устройство предназначено для ручного цифрования (сколки) графических документов. Результат сколки представляется в виде множества или последовательности точек, образующихся при обходе контуров объектов, положение которых описывается прямоугольными декартовыми координатами.
5. *Графический планшет*. Является альтернативой мыши и позволяет позиционировать курсор с помощью специального пера и планшета, имитируя рисование обычной ручкой.

Помимо перечисленных периферийных средств существуют и другие, также предназначенные для ввода пространственных данных. Например, GPS-приемники, автоматически формирующие данные о местоположении пользователя с помощью спутников, могут быть подключены к компьютеру для передачи этих данных, как в режиме реального времени, так и после выполненных замеров.

Периферийные устройства вывода данных. Основным устройством вывода информации является монитор. Однако когда необходимо вывести данные на твердый носитель могут использоваться следующие устройства.

1. *Принтер*. Это наиболее распространенное периферийное устройство вывода данных. Принтеры различаются:
- по способу подачи материала для печати;
 - по принципу печати (струйные, лазерные, матричные, барабанные, термические, термовосковые и др.);
 - по разрешению;
 - по скорости печати.
2. *Графопостроитель* (плоттер). Это устройство, предназначенное для вывода данных в графической форме на бумагу, пластик, фоточувствительный материал или иной носитель путем черчения, гравирования, фоторегистрации или иным способом. Графопостроители различают:
- по способу подачи материала для печати (планшетные, рулонные или роликовые);
 - по исполнению (напольные, настольные);
 - по принципу построения графических объектов (векторные, растровые);
 - по способу печати (электростатические, струйные, лазерные, светодиодные и др.);
 - по размеру рабочего поля;

- по точности;
- по скорости прорисовки (печати).

В настоящее время наиболее популярны растровые плоттеры со струйной печатью. Как правило, такие плоттеры имеют формат А3–А0 и выполнены в виде напольного изделия с рулонной подачей бумаги.

Программное обеспечение ГИС может состоять из нескольких основных и вспомогательных модулей (приложений). Как правило, основные функции ГИС реализуются одним основным приложением, имеющим традиционный графический интерфейс пользователя. К вспомогательному программному обеспечению таких систем обычно относятся всевозможные программы-конверторы, менеджеры печати, вьюверы данных, модули сопряжения с различными внешними устройствами и др.

Естественно, что программное обеспечение ГИС функционирует на компьютерах с предустановленными операционными системами. Более подробно программное обеспечение ГИС будет рассмотрено в главе 7.

1.8. Вопросы и задания для самопроверки

1. Приведите аргументы, почему геоинформатику следует считать теоретической основой для создания и использования ГИС.
2. Перечислите основные задачи, решаемые с помощью ГИС.
3. Можно ли считать ГИС автоматизированными информационными системами?
4. Как вы думаете, с чем связано бурное развитие геоинформатики и ГИС с начала 90-х годов?
5. Каковы главные отличия ГИС от других информационных систем?
6. Перечислите основные виды классификации ГИС.
7. Опишите главные черты универсальных ГИС.
8. Перечислите основные компоненты универсальной ГИС и их назначение.
9. Можно ли считать устройством ввода пространственных данных GPS-приемник?

Глава 2

ОСНОВЫ ЦИФРОВОЙ КАРТОГРАФИИ

Ниже рассматриваются модели Земли, приводятся основные системы координат, применяемые в геодезии и картографии. Дается понятие картографической проекции, рассматриваются различные проекции и их искажения.

2.1. Фигура и размеры Земли, используемые модели

2.1.1. Понятие о карте

Определение 2.1. *Картография* – это наука, которая занимается созданием, изучением и использованием картографических произведений.

Определение 2.2. *Карта* – это модель пространственно-временных отношений объектов и явлений на земной поверхности. Есть бумажные и электронные карты.

Математическая основа карты состоит из совокупности математических элементов карты, которые определяют математическую связь между картой и отображаемой с её помощью поверхностью Земли. К математическим элементам относятся:

- элементы геодезической основы;
- масштаб;
- картографическая проекция;
- элементы компоновки и система разграфки карты.

2.1.2. Геодезическая основа карт

Поверхность Земли общей площадью 510 млн кв. км. разделяется на Мировой океан, составляющий 71 % от всей площади, и сушу, занимающую 29 % площади поверхности Земли. Исходя из того, что поверхность Мирового океана составляет без малого три четверти поверхности Земли, она была принята за поверхность (форму) нашей планеты.

Представим себе поверхность, совпадающую со средним уровнем Мирового океана в спокойном состоянии. Такая поверхность называется *уровенной*. Уровенная поверхность всюду горизонтальна, т. е. в любой ее точке перпендикулярна к направлению отвесной линии в этой точке.

Определение 2.3. Поверхность воды Мирового океана в спокойном состоянии, мысленно продолженная под материки, названа *уровенной поверхностью* Земли и принята за действительную форму Земли.

В 1873 году немецким физиком Листингом тело (земной шар), ограниченное уровенной поверхностью, названо *геоидом*.

Вследствие неравномерного распределения масс внутри Земли поверхность геоида является весьма сложной и установить ее форму, а тем более установить его (геоида) размеры не удалось, она не выражается ни одной из рассматриваемых в математике поверхностей. Поэтому возникла необходимость замены поверхности геоида вспомогательной поверхностью, наиболее близко к ней подходящей.

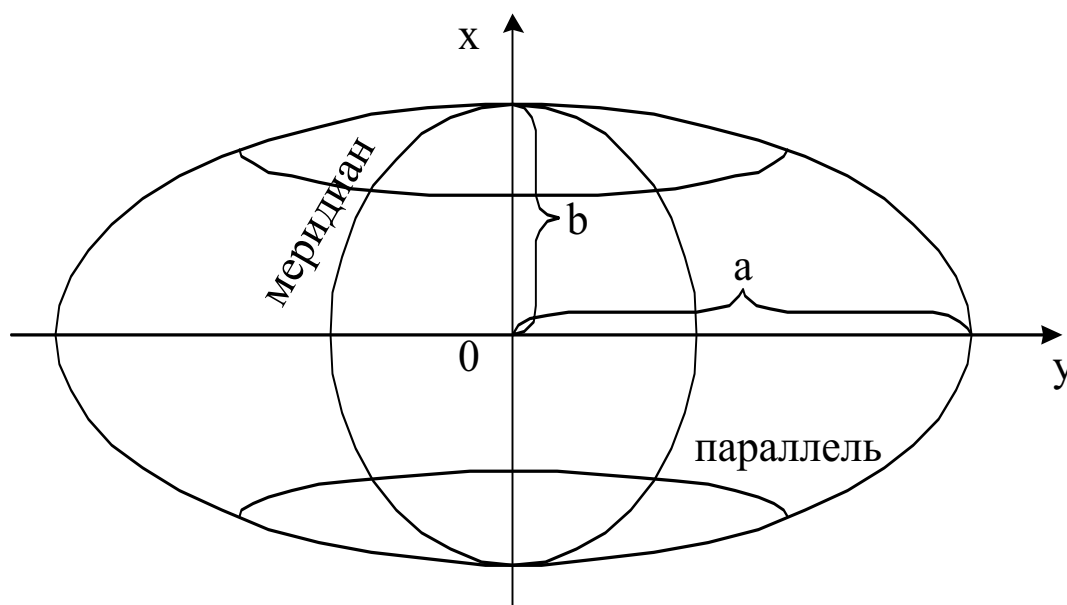


Рис. 2.1. Референц-эллипсоид Красовского¹

$$a = 6\,378\,245 \text{ м};$$

$$b = 6\,356\,863 \text{ м};$$

$$\alpha = 1/298,3;$$

начальный пункт Пулково;

превышение геоида над референц-эллипсоидом в начальном пункте равно нулю;

принята Балтийская система высот; счет высот ведется от нуля Кронштадтского футштока;

$$\alpha = \frac{a - b}{a} = \frac{1}{298,3};$$

начало координат системы совпадает с центром тяжести Земли.

¹ В картографии принято обозначать x вертикальную ось координат, а через y – горизонтальную ось координат

Наиболее близкой к геоиду математической поверхностью является эллипсоид вращения.

Определение 2.4. Эллипсоид вращения, определенно расположенный в теле Земли, на поверхность которого, достаточно близкую к поверхности геоида, переносятся все геодезические пункты и на ней определяются затем в той или иной системе координат, называется *референц-эллипсоидом* или *поверхностью относимости*.

Выбор размеров референц-эллипсоида и установление его ориентировки в теле Земли осуществляют таким образом, чтобы обусловить возможно большую близость его поверхности к поверхности геоида в пределах рассматриваемой территории.

В работах по геодезии, топографии и картографии, выполняемых в нашей стране с 1942 г., принят референц-эллипсоид Красовского и так называемая система координат 1942 года. Размеры этого эллипсоида характеризуются (рис. 2.1):

При мелкомасштабном картографировании (попадают только крупные объекты) фигуру Земли можно принять за шар радиусом, равным

$$R = (a + b) / 2 = 6\,367\,600 \text{ м.}$$

Также шаром можно воспользоваться при применении способа двойного отображения, когда в начале эллипсоид отображают на шар, а затем шар – на плоскость.

2.2. Системы координат, применяемые в геодезии и картографии

При производстве топографо-геодезических работ используют: географическую (астрономическую), плоскую прямоугольную, полярную, геодезическую и зональную системы координат и высот.

2.2.1. Географическая (астрономическая) система координат

Положение любой точки М, лежащей на поверхности земного шара – геоида (рис. 2.2), определяется ее географической широтой φ и географической долготой λ , которые получают из астрономических наблюдений.

При этом координаты φ λ определяются следующим образом. Пусть МО – отвесная линия (нормаль к уровню поверхности); φ – угол между отвесной линией и плоскостью экватора (на север берется со знаком «+», на юг – со знаком «-»); а λ – двугранный угол между меридианом данной точки М и начальным меридианом (Гринвичским). Счет долготы ведется от Гринвича на 180° на запад со знаком «-», а на восток со знаком «+». P_N , P_S – обозначение точек полюсов, соответственно северного и южного. QQ_1 – линия экватора.

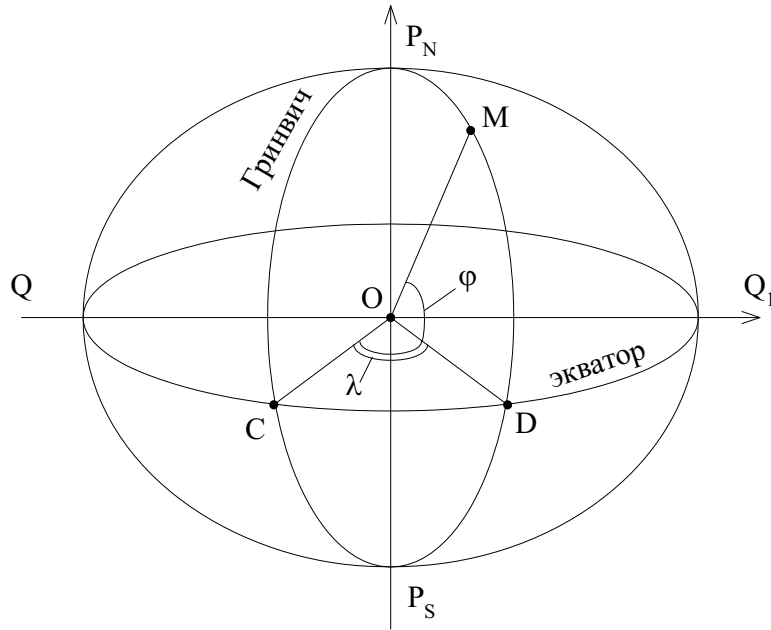


Рис. 2.2. Схема определения положения точки в географической системе координат

2.2.2. Геодезическая система координат

Положение любой точки А на поверхности референц-эллипсоида определяется геодезической широтой В и долготой L, которые определяют по результатам геодезических измерений (рис. 2.3). При этом L – это угол между гринвичским меридианом и меридианом, проходящим через точку А.

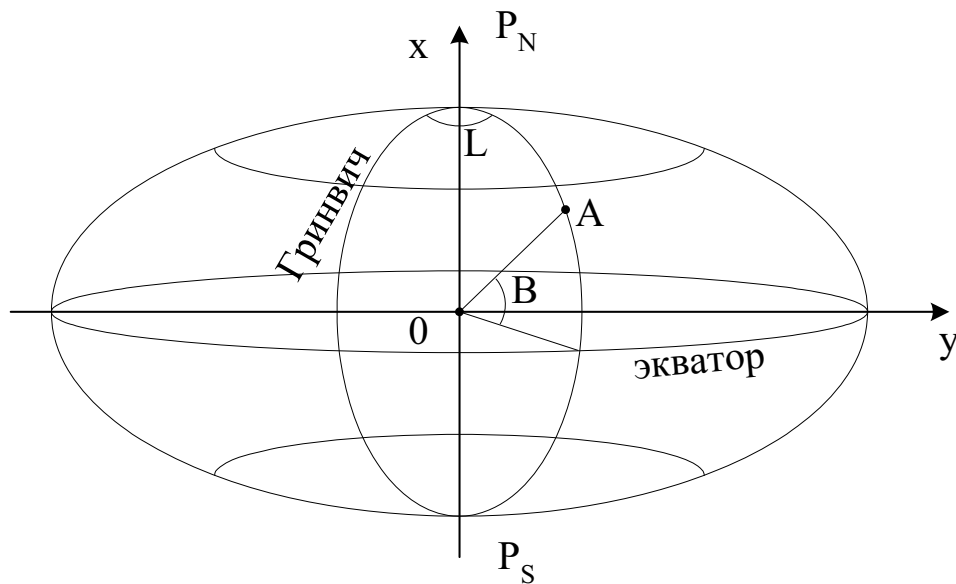


Рис. 2.3. Схема определения положения точки в геодезической системе координат

ϵ – угол между нормалью к поверхности эллипсоида в данной точке и плоскостью экватора.

Взаимное расположение отвесных линий и нормалей к поверхности референц-эллипсоида и геоида приведено на рис. 2.4.

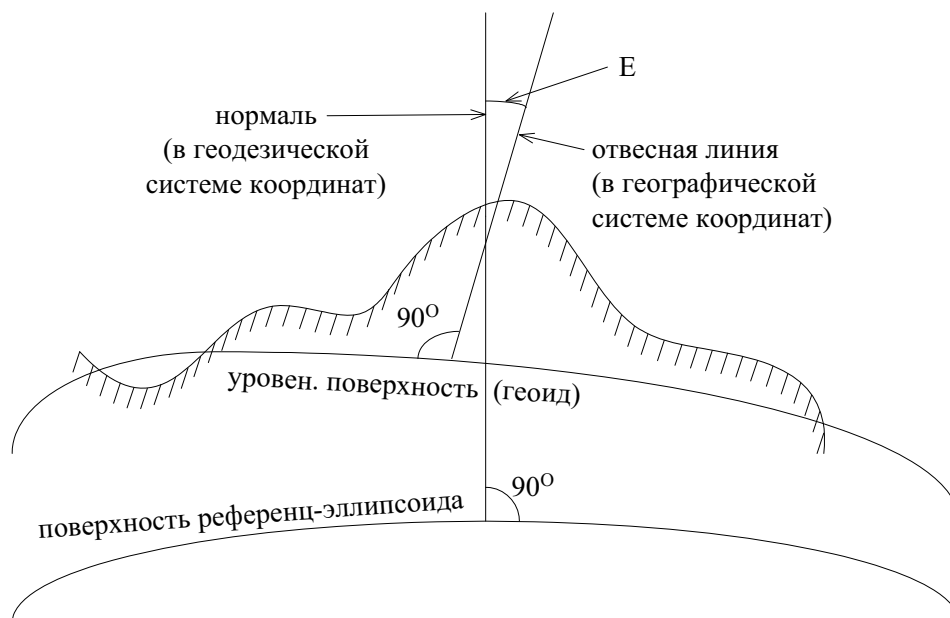


Рис. 2.4. Схема расположения отвесных линий и нормалей к поверхности референц-эллипсоида и геоида

ϵ – уклонение отвесной линии от нормали, $\epsilon \approx 3-4''$, в отдельных регионах до десятков секунд. Учтем, что $1'' \approx 31$ м на поверхности Земли. Следовательно, координаты одной и той же точки в географической и геодезической системах координат могут различаться на 100 м и более.

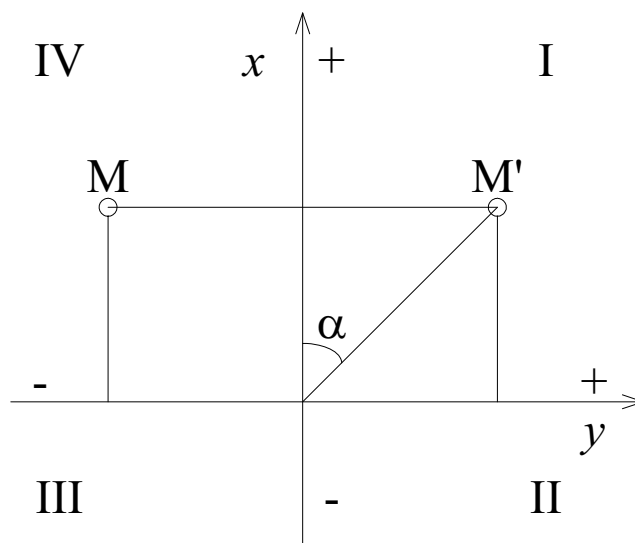


Рис. 2.5. Положение точек M и M' в системе прямоугольных координат

2.2.3. Система прямоугольных координат

Схема использования прямоугольных координат изображена на рис. 2.5.

Углы отсчитываются от положительного направления оси x по ходу часовой стрелки. Положение любой точки M в этой системе определяется координатами x и y с соответствующими знаками.

2.2.4. Полярная система координат

Схема использования полярной системы координат изображена на рис. 2.6.

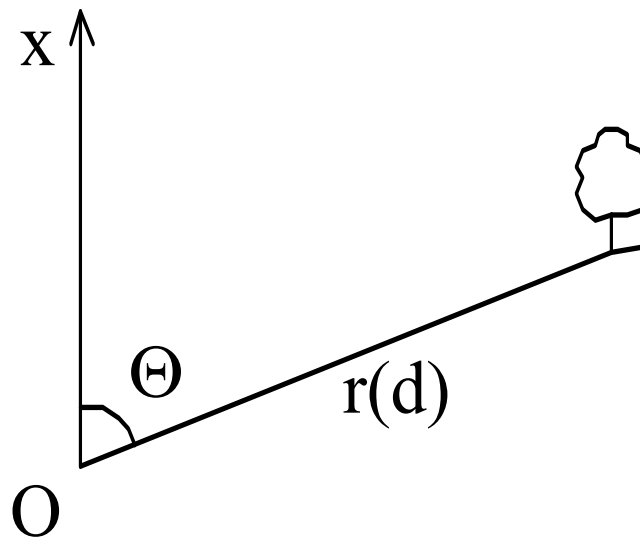


Рис. 2.6. Система полярных координат

O – полюс

OX – полярная ось (меридиан)

Положение любого пункта можно определить по радиусу $r(d)$ и углу Θ .

2.2.5. Зональная система координат

Зональная система координат используется для определения прямоугольных координат в проекции Гаусса-Крюгера. Поверхность Земли разбивается на 60 зон, каждая по 6° шириной. Так как абсциссы x отсчитываются от экватора к полюсам, то для территории России, расположенной в северном полушарии, они будут всегда положительными. Ординаты же в каждой зоне будут как положительными, так и отрицательными, в зависимости от того, где находится точка по отношению к осевому меридиану (запад $-$; восток $+$).

Для удобства в работе необходимо избавиться от отрицательных значений ординат в пределах каждой зоны. Расстояние от осевого меридиана зоны до крайнего меридиана даже в самом широком месте зоны ≈ 330 км. Но для расчетов удобнее взять расстояние, равное круглому

числу километров. С этой целью, ординату осевого меридиана зоны условились считать равной 500 км. За начало координат для каждой зоны принимают точку с координатами $x=0$ км, $y=500$ км (рис. 2.7). Так как одинаковые координаты точек могут повториться в каждой из 60 зон, необходимо указывать номер зоны, в которой расположен данный пункт (при указании координаты y).

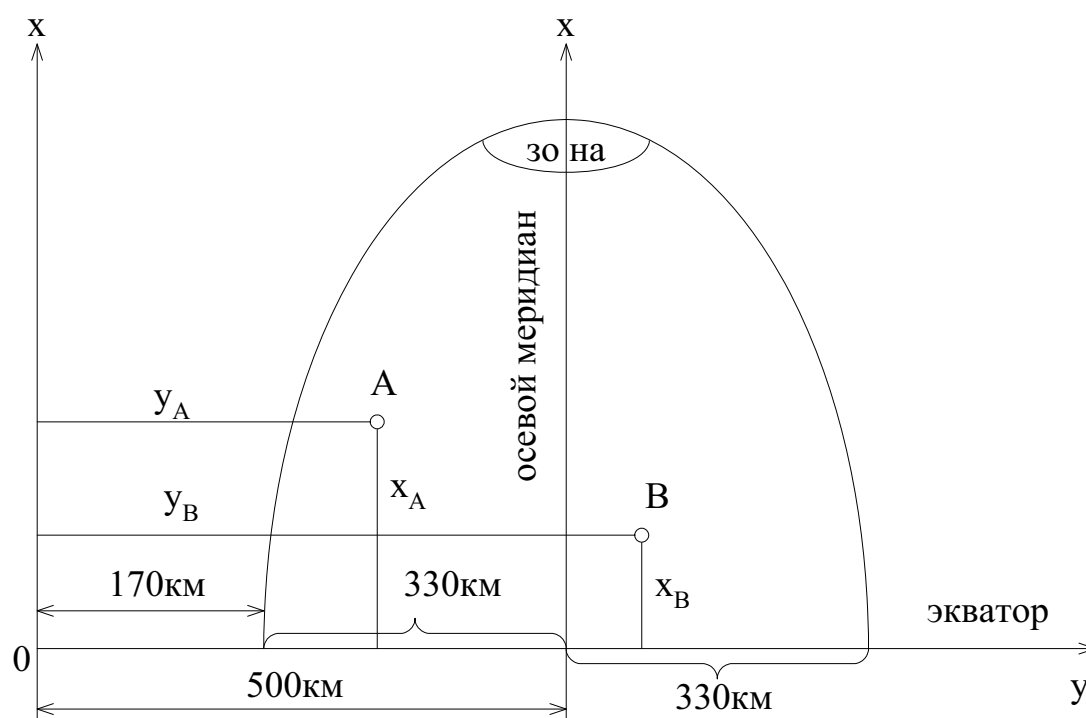


Рис. 2.7. Зональная система координат

Пример 7-й зоны:

$$x_A = 6136000 \text{ м.}, x_B = 4200000 \text{ м.}$$

$$y_A = 7316000 \text{ м.}, y_B = 7630000 \text{ м.}$$

2.3. Картографические проекции.

Искажения в картографических проекциях

2.3.1. Общие понятия

Определение 2.5. Картографической проекцией называют математически определенный способ отображения поверхности эллипсоида на плоскости. Картографическая проекция устанавливает соответствие между географическими (геодезическими) координатами точек геоида (земного эллипсоида) и прямоугольными координатами тех же точек на плоскости.

Эта зависимость в географической системе координат может быть выражена в общем виде двумя уравнениями

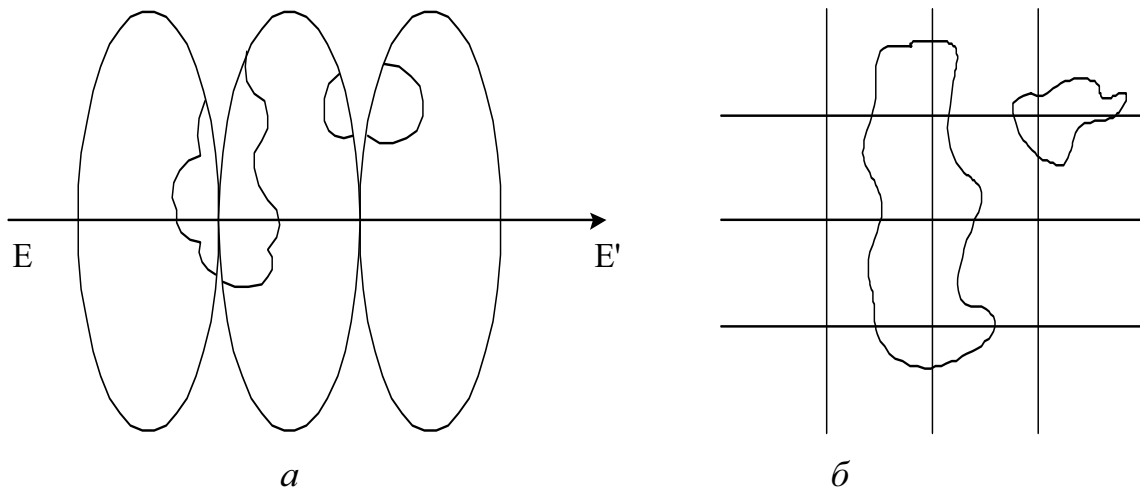
$$x = f_1(\varphi, \lambda) \quad y = f_2(\varphi, \lambda).$$

называемыми уравнениями картографических проекций.

В геодезической системе координат также используется два уравнения

$$x = f_3(B, L) \quad y = f_4(B, L).$$

Каждая пара уравнений позволяет вычислять прямоугольные координаты x и y изображаемой точки по геодезическим координатам B и L (φ и λ в случае географической системы координат). Число возможных функциональных зависимостей не ограничено. Необходимо только, чтобы изображение было однозначным и непрерывным (рис. 2.8).



*Рис. 2.8. Формирование непрерывного изображения
а – объекты на поверхности эллипсоида,
б – изображение объектов на карте*

Поскольку поверхность эллипсоида или шара нельзя развернуть в плоскости без искажений, непрерывность и однозначность изображения на плоскости достигаются как бы за счет неравномерной деформации поверхности эллипсоида при совмещении её с плоскостью. Отсюда следует, что масштаб изображения не может быть постоянным. Причем меняется масштаб не только от точки к точке, но и в одной и той же точке в зависимости от направления.

Определение 2.6. Главный масштаб длин – это масштаб, который показывает во сколько раз уменьшены линейные размеры эллипсоида или шара при их отображении на карте. Он сохраняется не по всей карте, а только в отдельных ее точках или линиях, где нет искажения длин.

Линейный масштаб во всех остальных точках характеризуется частным масштабом длин, выраженным в долях главного масштаба.

Определение 2.7. Частным масштабом длин называют отношение длины бесконечно малого отрезка на карте dS' к длине соот-

ветствующего бесконечно малого отрезка dS на поверхности эллипсоида или шара

$$= \frac{S'}{S}$$

На карте чаще всего подписывается главный масштаб длин.

Определение 2.8. *Главный масштаб площадей* есть отношение, показывающее во сколько раз уменьшены площадные размеры поверхности эллипсоида или шара при их отображении на карте.

Он сохраняется на картах только в тех местах, где нет искажений площадей. В других местах карты масштабы площадей отличаются от главного и их называют *частными масштабами площадей*.

2.3.2. Искажения в картографических проекциях

Карте присущи искажения длин, площадей, углов и форм.

Искажения длин на карте выражаются в том, что масштаб длин на ней изменяется при переходе от одной точки к другой, а также при изменении направления в данной точке. Вследствие этого соотношения линейных размеров географических объектов передаются с искажениями.

Искажения площадей выражаются в том, что масштаб площадей в различных местах карты различен, и нарушаются соотношения площадей различных географических объектов.

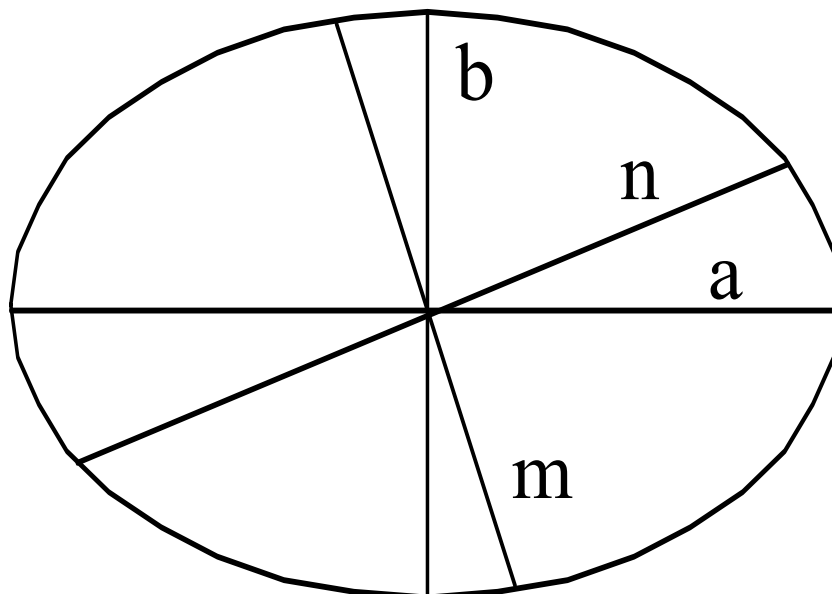
Искажения углов заключаются в том, что углы между направлениями на карте не равны соответствующим углам на поверхности эллипсоида и, следовательно, не равны соответствующим углам на местности. Углы между линиями очертаний географических объектов искажены. Это приводит к искажению форм самих объектов.

Искажения форм заключаются в том, что фигуры на карте не подобны фигурам соответствующих географических объектов на местности.

Все виды искажений связаны друг с другом, и изменение одного из них влечет за собой изменение других. Особый характер имеет связь между искажениями углов и площадей, находящихся в постоянном противоречии друг с другом: уменьшение одного из них влечет за собой увеличение другого.

Нет карт без искажений, однако имеются карты, в которых либо отсутствуют искажения углов, либо площадей, либо оба этих вида искажений как бы уравнивают друг друга.

Наиболее полно все виды искажений в данной точке на карте характеризуются эллипсом искажений (рис. 2.9). Эллипс искажений в данной точке



m – частный масштаб длин по меридианам;
n – частный масштаб длин по параллелям;
a – максимальный частный масштаб длин в точке;
b – минимальный частный масштаб длин в точке.

Рис. 2.9. Эллипс искажений

карты изображает бесконечно малый круг на поверхности относимости. Полуоси эллипса искажений равны величинам максимального и минимального частных масштабов длин в данной точке. Форма эллипса характеризует искажения углов и форм – они искажены тем больше, чем больше эллипс отличается от окружности. Площадь эллипса пропорциональна искажению площадей и тем она больше, чем больше искажены площади.

2.4. Классификация картографических проекций

Проекции классифицируют:

- по характеру искажений;
- по виду вспомогательной поверхности;
- по ориентировке;
- по виду нормальной картографической сетки;
- по способу получения;
- по особенностям использования.

2.4.1. Классификация проекций по характеру искажений

Равновеликие проекции, в которых на карте отсутствуют искажения площадей, следовательно, соотношения площадей территорий передаются правильно. В этих проекциях карты больших территорий отличаются значительными искажениями углов и форм.

Равноугольные проекции, в которых на карте отсутствуют искажения углов. Вследствие этого в них не искажаются также формы бесконечно малых фигур, а масштаб длин в любой точке по любому направлению остается одинаковым. В этих проекциях карты больших территорий отличаются большими искажениями площадей.

Равнопромежуточные проекции, в которых масштаб длин по одному из главных направлений сохраняется постоянным. В них искажения углов и искажения площадей как бы уравновешены.

Произвольные проекции, в которых на карте в любых соотношениях имеются искажения и углов, и площадей.

2.4.2. Классификация проекций по виду вспомогательной поверхности

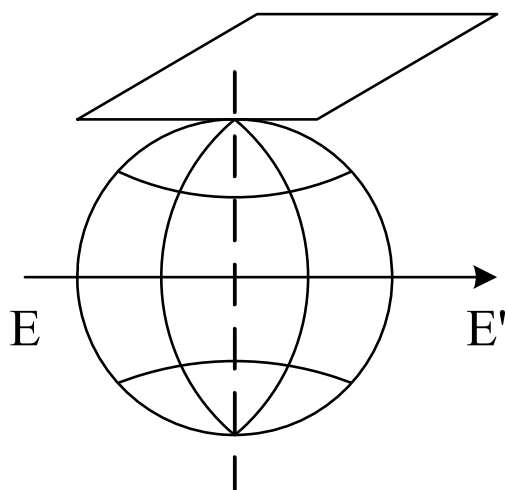


Рис. 2.10. Азимутальная проекция.
Случай касательной плоскости

Азимутальные проекции, в которых поверхность эллипсоида или шара переносится на касательную к ней или секущую ее плоскость (рис. 2.10).

Цилиндрические, в которых поверхность эллипсоида или шара переносится на боковую поверхность касательного к ней или секущего ее цилиндра, после чего последний разрезается по образующей и разворачивается в плоскость (рис. 2.11).

Конические проекции, в которых поверхность эллипсоида

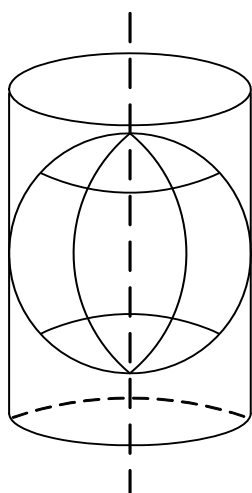


Рис. 2.11. Цилиндрическая проекция.
Случай касательного цилиндра

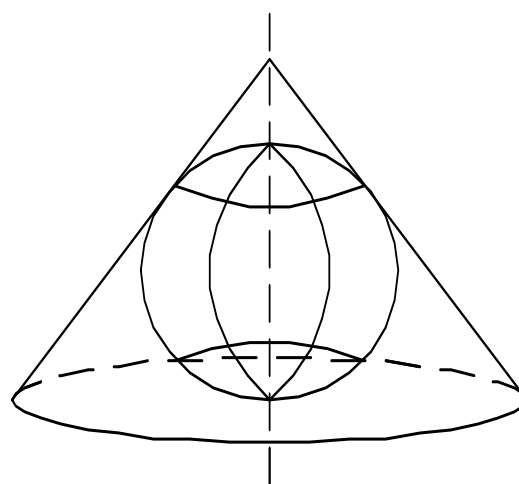


Рис. 2.12. Конические проекции.
Случай касательного конуса

или шара переносится на боковую поверхность касательного или секущего конуса, который затем разрезается по образующей и разворачивается в плоскость (рис. 2.12).

2.4.3. Классификация проекций по ориентировке

Нормальные проекции, в которых ось вспомогательной поверхности совпадает с полярной осью земного эллипсоида или шара, в азимутальных проекциях плоскость перпендикулярна полярной оси (рис. 2.10 – рис. 2.12).

Поперечные проекции, в которых ось вспомогательной поверхности лежит в плоскости экватора и перпендикулярна полярной оси (рис. 2.13).

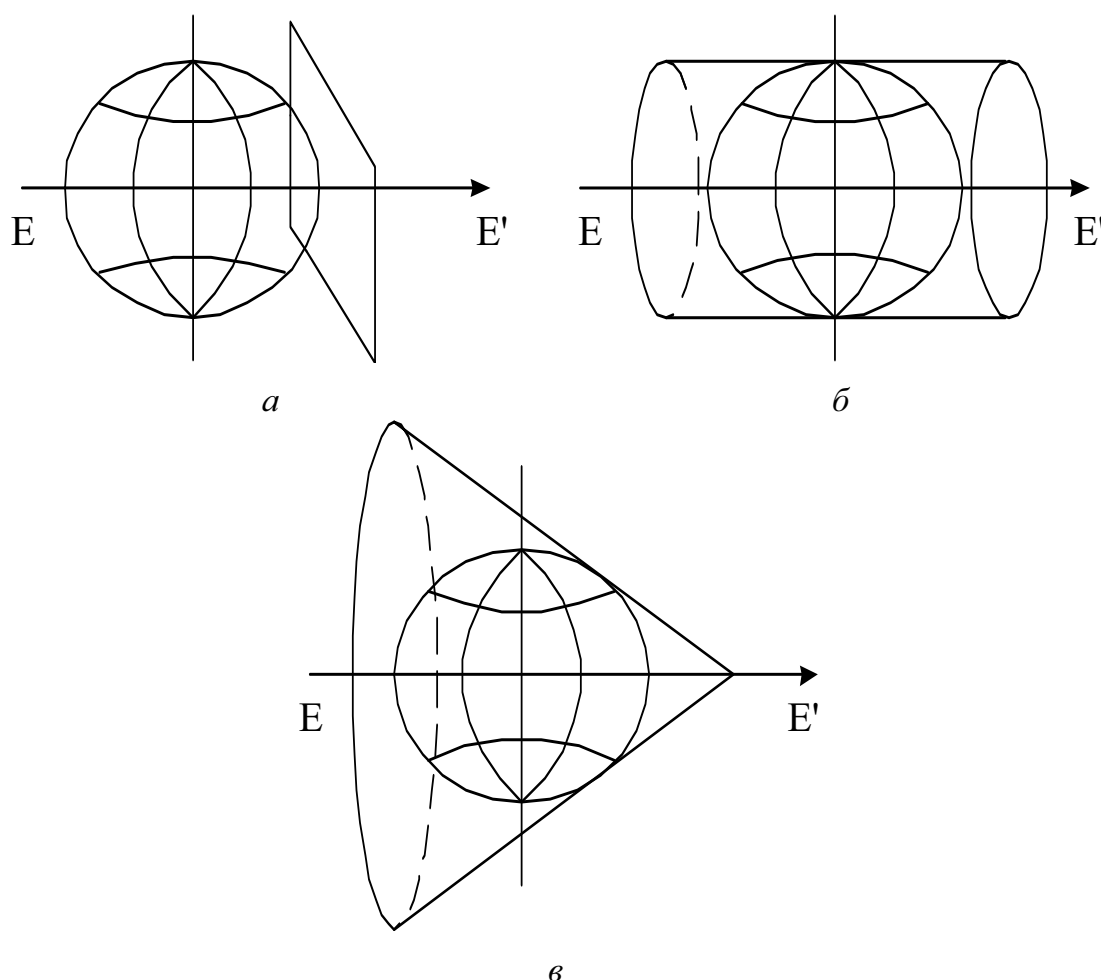


Рис. 2.13. Примеры поперечных проекций:
а – случай касательной плоскости;
б – цилиндрической поверхности;
в – конической поверхности

Косые проекции, в которых ось вспомогательной поверхности совпадает с нормалью, находящейся между полярной осью и плоскостью экватора (рис. 2.14).

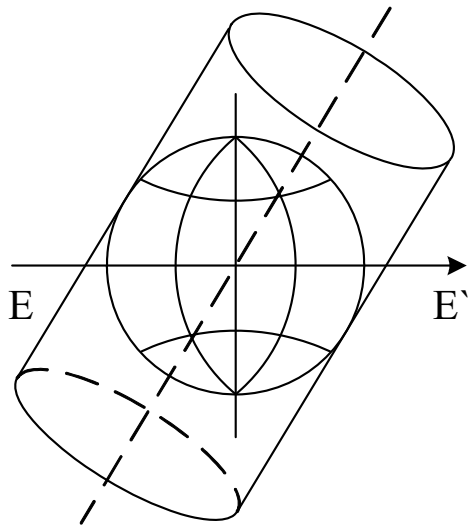


Рис. 2.14. Пример косо́й проекции

2.4.4. Классификация проекций по виду нормальной картографической сетки

Азимутальные проекции, в которых параллели изображаются концентрическими окружностями, а меридианы – прямыми, исходящими из общего центра параллелей, под углами, равными разности их долгот (рис. 2.15).

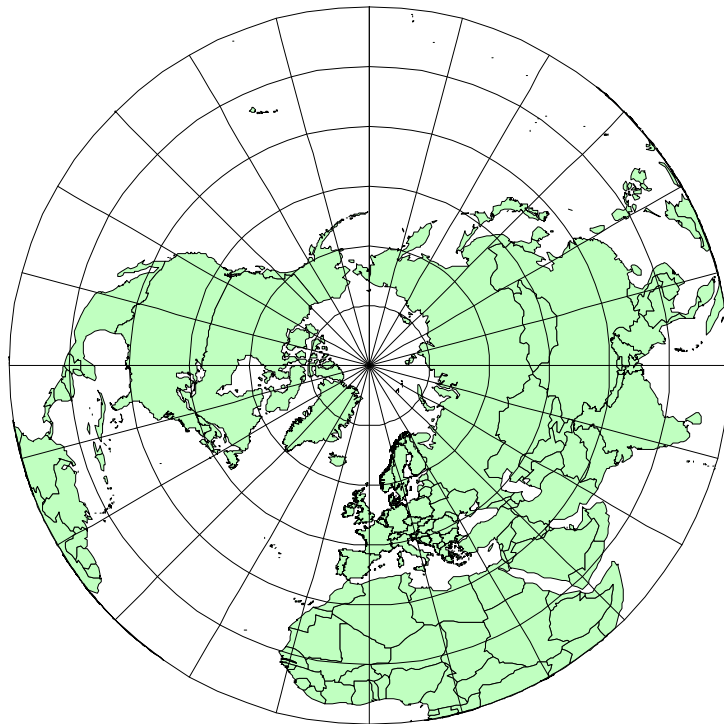


Рис. 2.15. Азимутальная проекция

Конические проекции, в которых параллели изображаются дугами концентрических окружностей, а меридианы – прямыми, расходящимися из общего центра параллелей, под углами, равными разности их долгот (рис. 2.16).

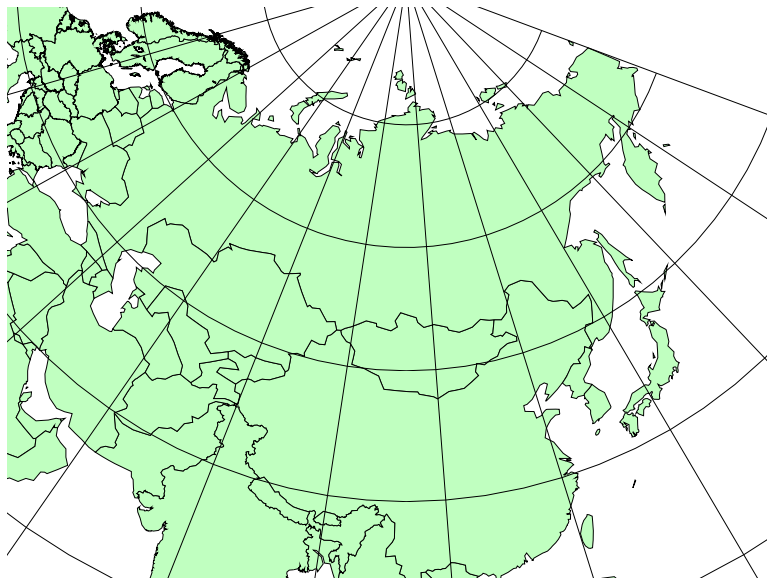


Рис. 2.16. Коническая проекция

Цилиндрические проекции, в которых меридианы изображаются равноотстоящими параллельными прямыми, а параллели перпендикулярными к ним прямыми, в общем случае не равноотстоящими (рис. 2.17).

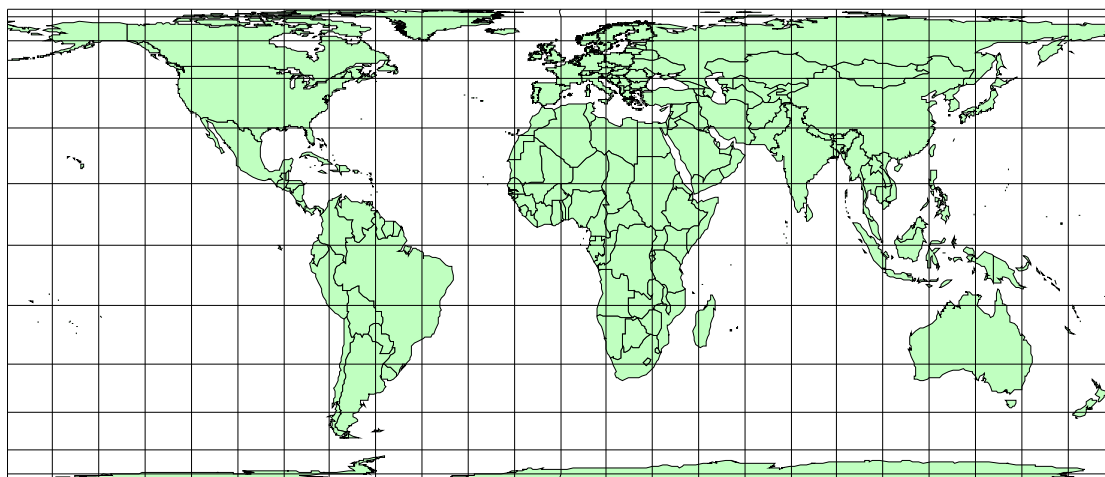


Рис. 2.17. Цилиндрическая проекция

Псевдоазимутальные проекции, в которых параллели изображаются концентрическими окружностями, меридианы – кривыми, сходящимися в точке полюса, средний меридиан – прямой.

Псевдоконические проекции, в которых параллели изображаются дугами концентрических окружностей, средний меридиан – прямой, проходящей через их общий центр, остальные меридианы – кривые.

Псевдоцилиндрические проекции, в которых параллели изображаются параллельными прямыми, средний меридиан – прямая, перпендикулярная к параллелям, остальные меридианы – кривые или прямые, наклоненные к параллелям (рис. 2.18).

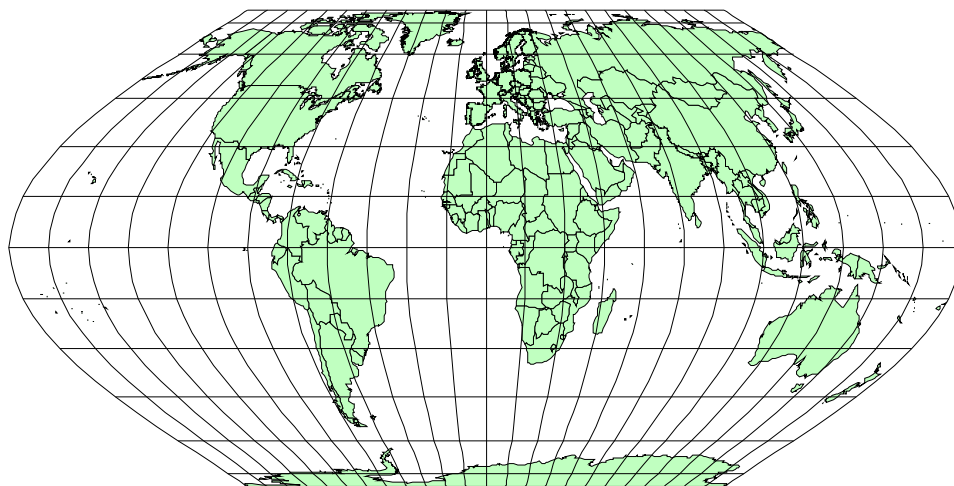


Рис. 2.18. Псевдоцилиндрическая проекция

Полиазимутальные проекции, в которых параллели изображаются эксцентрическими окружностями, меридианы – кривые, сходящиеся в точке полюса, средний меридиан – прямой.



Рис. 2.19. Поликоническая проекция

Поликонические проекции, в которых параллели изображаются дугами эксцентрических окружностей с радиусами тем большими, чем меньше их широта, средний меридиан – прямой, на которой расположены центры всех параллелей, остальные меридианы – кривые (рис. 2.19).

2.4.5. Классификация проекций по способу получения

Перспективные проекции, которые получают перспективным проектированием точек земной поверхности, чаще всего шара, на плоскость, цилиндр или конус. В зависимости от положения точки глаза различают:

- гномонические – точка глаза в центре шара;
- стереографические – точка глаза на поверхности шара;
- ортографические – точка глаза удалена в бесконечность.

Производные проекции, которые получают преобразованием одной или нескольких ранее известных проекций путем комбинирования и обобщения их уравнений.

Составные проекции, в которых отдельные части картографической сетки построены в разных проекциях или в одной проекции, но с разными параметрами.

2.4.6. Классификация проекций по особенностям использования

Многогранные проекции, в которых параметры проекции подобраны для каждого листа или группы листов многолистной карты.

Многополосные проекции, в которых параметры проекции подобраны для каждой отдельной полосы, на которые при отображении разбивается поверхность эллипсоида или шара.

2.5. Равноугольная поперечно-цилиндрическая проекция Гаусса-Крюгера

Для всех топографических карт в нашей стране применяется проекция Гаусса-Крюгера. Проекция равноугольная, средний меридиан изображается прямой линией без искажений, экватор изображается прямой, перпендикулярной к среднему меридиану. Все остальные меридианы криволинейны и симметричны относительно среднего меридиана и экватора.

Полоса отображения в проекции представляет собой шестиградусную или трехградусную зону.

Координатными осями для каждой зоны являются прямолинейный средний меридиан – ось абсцисс и прямолинейный экватор – ось ординат. Счет координатных зон при разбиении земного эллипсоида ведется с запада на восток. Долгота осевого меридиана первой зоны равна 3° (т. к. он

посередине зоны, а отсчет этой зоны идет от гринвичского меридиана). Номер зоны N и долгота осевого меридиана L° связаны равенством

$$L^\circ = 6^\circ N - 3^\circ.$$

Номер зоны N в проекции Гаусса-Крюгера отличается от номера колонны карты масштаба 1:1 000 000 на 30.

Например, если номенклатура листа N-45, то это значит, что лист расположен в 15 зоне проекции Гаусса-Крюгера и его осевой меридиан имеет долготу

$$L^\circ = 6^\circ \times 15 - 3^\circ = 90^\circ - 3^\circ = 87^\circ.$$

Для построения **топографических карт России** прибегают к многополосному изображению земного эллипсоида, когда на плоскость переносят зоны, протяженностью 6° (рис. 2.20).

Каждая зона строится на отдельном касательном поперечном цилиндре так, что ось касания проходит по среднему меридиану зоны PP' , называемому *осевым* (рис. 2.21). У каждой зоны свой осевой меридиан.

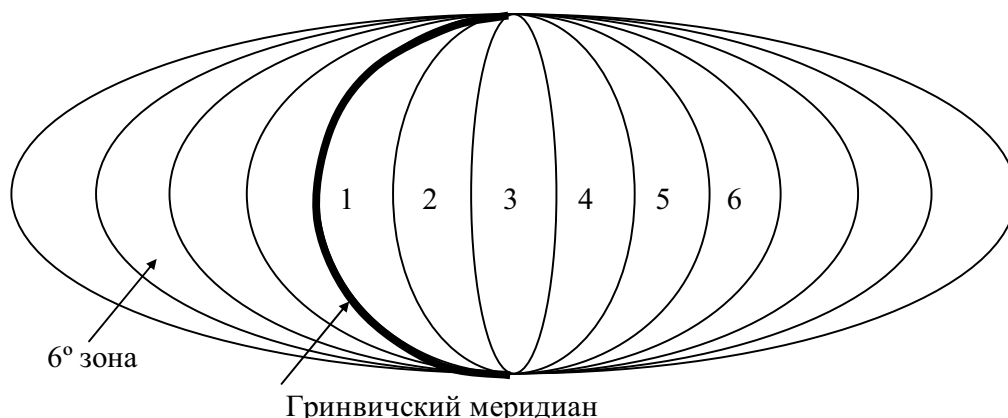


Рис. 2.20. Схема многополосного изображения земного эллипсоида

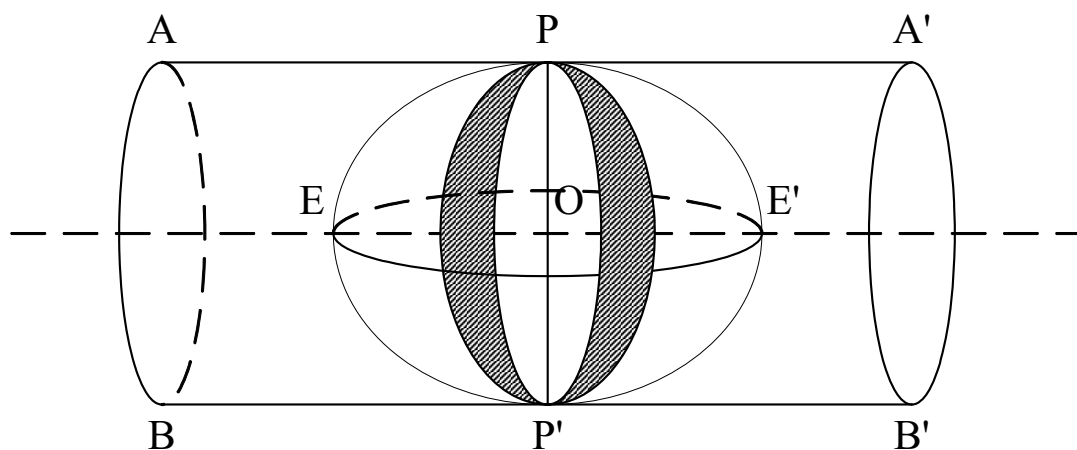


Рис. 2.21. Схема разворачивания поверхности эллипсоида с помощью цилиндра

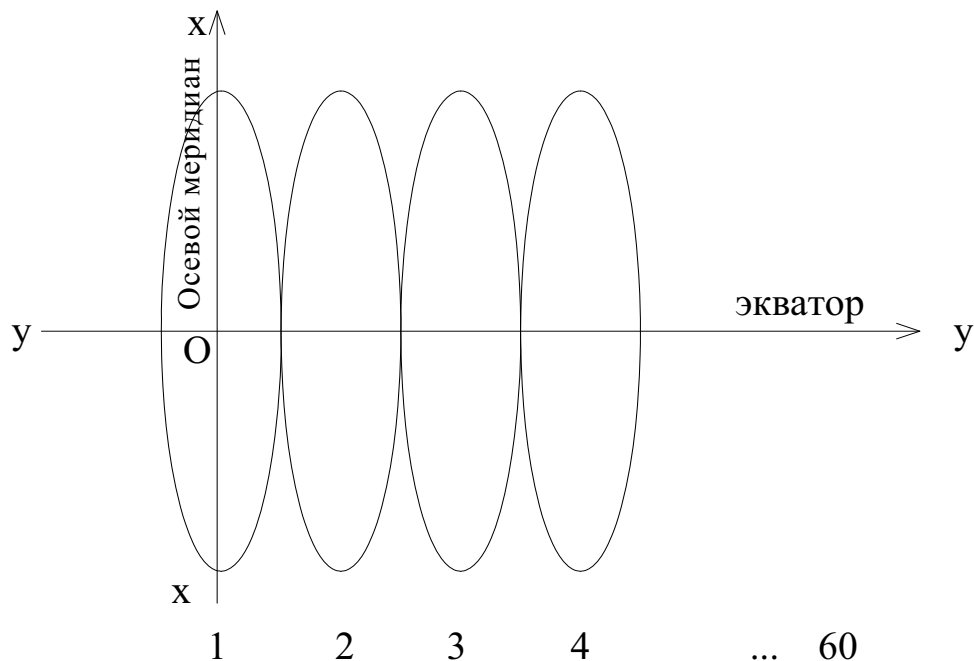


Рис. 2.22. Результат разворачивания цилиндра на плоскости

При разворачивании цилиндра в плоскость осевой меридиан изображается без искажения прямой PP' (рис. 2.22.) и его принимают за ось xx . Экватор EE' также изображается прямой, перпендикулярной к осевому меридиану. Он соответствует оси yy . Началом координат в каждой зоне служит точка O – пересечение осевого меридиана и экватора. Таким образом, положение любой точки определяется прямоугольными координатами x и y .

2.6. Разграфка и номенклатура листов топографических карт и планов

Классификация карт и планов по масштабу осуществляется так:

1. Планы
 - 1 : 500
 - 1 : 1 000
 - 1 : 2 000
 - 1 : 5 000
2. Крупномасштабные (детальные) топографические карты
 - 1 : 10 000
 - 1 : 25 000
 - 1 : 50 000
 - 1 : 100 000
3. Среднемасштабные (обзорно-топографические) карты
 - 1 : 200 000

1 : 300 000

1 : 500 000

1 : 1 000 000

4. Мелкомасштабные (обзорные) карты

1 : 2 500 000

1 : 4 000 000

1 : 8 000 000

1 : 20 000 000

Лист топографической карты любого масштаба по размерам должен быть удобным как при его создании, печатании тиража, так и при пользовании им. С учетом этого установлено, что размер одного листа не должен быть больше 50x50 см. Но на одном таком листе изображается незначительный участок местности, поэтому карты на значительную (обширную) территорию являются многолистными.

Определение 2.9. Система разделения карты или плана на отдельные листы называется *разграфкой* карты (плана).

Определение 2.10. Обозначение отдельных листов многолистных топографических карт и планов в единой системе есть *номенклатура*.

Система разграфки и номенклатура листов карт и планов отдельных масштабов дают возможность определять географические координаты углов рамки любого листа топографической карты всего масштабного ряда, а также по географическим координатам точки находить номенклатуру листа карты любого масштаба, на котором эта точка находится, а также находить прямоугольные координаты. Лист карты масштаба 1 : 1 000 000 получается разбиением параллелями через 4°, а меридианами – через 6°.

Географические координаты углов рамки листа карты масштаба 1 : 1 000 000 по его номенклатуре определяют следующим образом.

Порядковый номер в виде буквы латинского алфавита, которая принимает конкретное значение – числа натурального ряда и которой обозначен ряд, умножают на 4° и получают географическую (геодезическую) широту северной параллели. Для колонн с номерами 31–60 (к востоку от Гринвича) номер колонн уменьшают на 30. Тогда формула для расчета географической (геодезической) долготы восточного меридиана (правого угла листа) будет выглядеть

$$[n_{\text{зоны}}=(N_{\text{к}}-30)]6^{\circ}=M^{\circ}.$$

Соответствие масштабов и номенклатуры листов приведено в табл. 1.

Последние две строки для планов местности с площадью $S > 20 \text{ км}^2$.

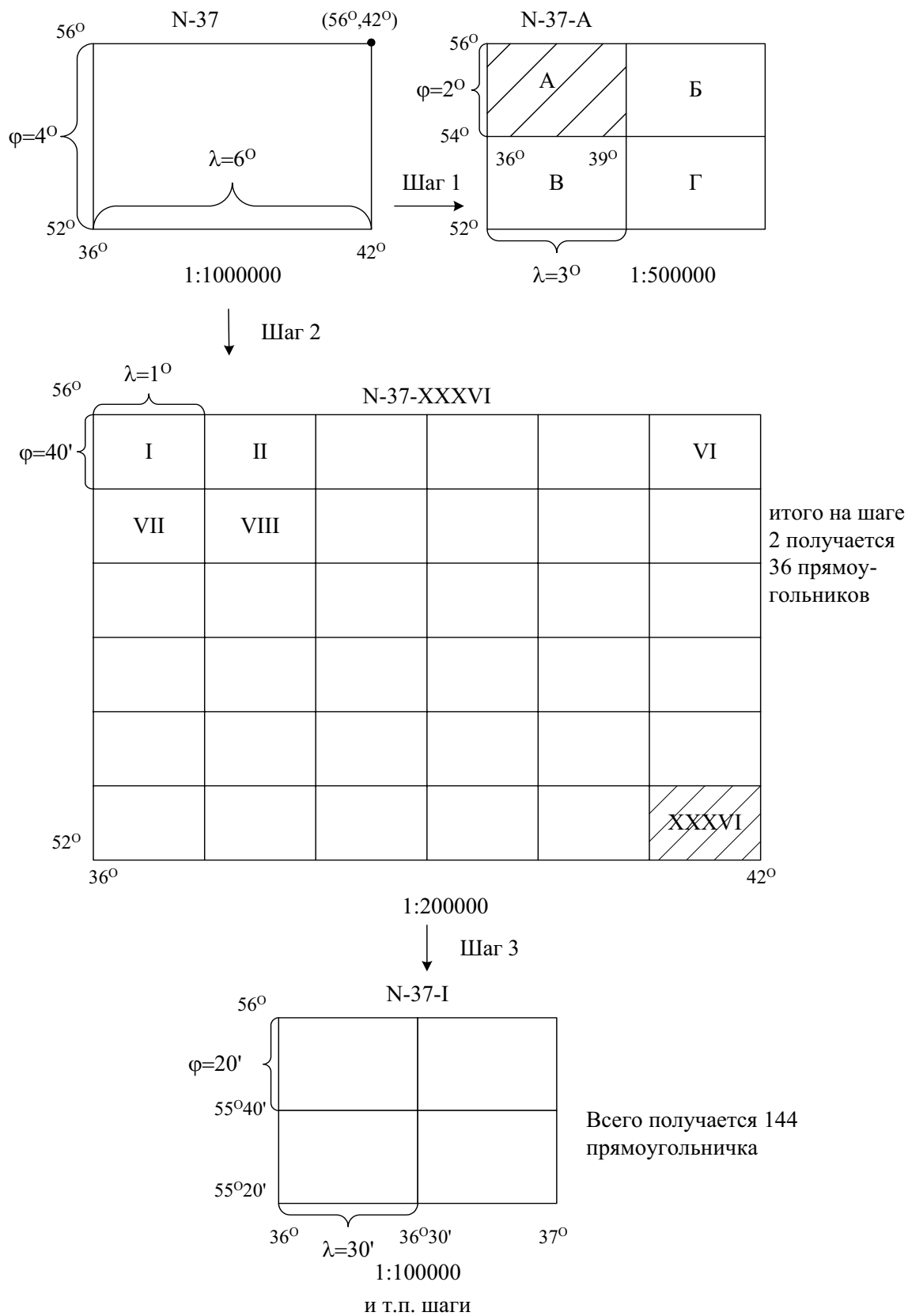


Рис. 2.23. Схема алгоритма разграфки

Таблица 1

Масштабы и номенклатура листов карты

Масштаб	Номенклатура	Размер листа	
		по широте	по долготе
1:1000000	N-37	4°	6°
1:500000	N-37-A (от А до Г)	2°	3°
1:200000	N-37-XXXVI (от I до XXXVI)	0°40'	1°
1:100000	N-37-144 (от 1 до 144)	0°20'	0°30'
1:50000	N-37-144-Г (от А до Г)	10'	15'
1:25000	N-37-144-Г-г (от а до г)	5'	7'30"
1:10000	N-37-144-Г-г-4 (от 1 до 4)	2'30"	3'45"
1:5000	N-37-144-256	1'15"	1'52"5
1:2000	N-37-144-256-и	0'25"	0'37"5

Пример. Пусть $N = 14$ – порядковый номер ряда, тогда
 $СШ = 14 \times 4^\circ = 56^\circ$; $ЮШ = 56^\circ - 4^\circ = 52^\circ$ (учли, что отсчет угла идет от плоскости экватора)

$$ВД = [n_{\text{зоны}} = (37-30)] 6^\circ = 42^\circ$$

$$ЗД = 42^\circ - 6^\circ = 36^\circ$$

Переход от листа карты масштаба $1 : 1\,000\,000$ к листам карт других масштабов осуществляется по простейшему алгоритму, приведенному на рис. 2.23.

2.7. Вопросы и задания для самопроверки

1. Почему для российских картографов важна модель Земли в виде эллипсоида Крассовского?
2. Проведите анализ, в какой системе координат – географической или геодезической – можно получить более точные координаты реальных объектов.
3. Какой линейный масштаб чаще всего подписывается на картах?
4. Проанализируйте, каким образом на функциях $x = f_1(\varphi, \lambda)$, $y = f_2(\varphi, \lambda)$, $x = f_3(B, L)$ и $y = f_4(B, L)$ может сказаться требование, чтобы изображение картируемого объекта при переходе с поверхности эллипсоида на плоскость карты было однозначным и непрерывным.
5. Покажите, что все виды искажений в картографических проекциях связаны друг с другом.
6. Почему, на ваш взгляд, используется такое большое число (несколько десятков) картографических проекций?

7. Приведите примеры производных проекций, получаемых преобразованием известных вам проекций.
8. Пользуясь номенклатурой листов из табл. 1, продолжите схему алгоритма разграфки, изображенную на рис. 2.23, для карт других масштабов.
9. Почему работа с электронными картами более удобная и производительная, чем с картами на твердом носителе?

Глава 3

МОДЕЛИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

Вводится понятие модели пространственных данных, рассматриваются векторные топологические и нетопологические модели данных. Приводится описание растровых моделей, используемых в ГИС, рассматриваются вопросы преобразования типа «вектор–растр» и «растр–вектор». Значительное внимание уделено моделям поверхностей, известных также под названием геополя.

3.1. Типы пространственных объектов в ГИС

Напомним, что данные, вводимые в ГИС, хранимые и обрабатываемые там, носят название **пространственных или географических данных**, если они снабжены указанием на их локализацию в пространстве с помощью позиционных атрибутов. Именно благодаря атрибуту пространства с помощью программных средств ГИС допускаются и выполняются операции пространственного анализа пространственных данных и моделирования. С другой стороны, введение атрибута «пространство» в описание (цифровое представление) данных об объекте порождает ряд проблем, связанных с вводом данных в компьютерную среду и с оперированием ими.

Каким образом могут быть позиционированы объекты реального мира (местности, территории и т. п.)? Способы местоуказания этих объектов достаточно различны. Мы можем указать положение объекта по отношению к иным известным объектам. О географическом центре России (центре тяжести фигуры в пределах ее сухопутной границы) можно сказать, что он расположен в Эвенкийском автономном округе Красноярского края, указав его географическое положение с точностью до элементов сети административного деления страны на уровне субъектов Федерации. Более точно (но, разумеется, с некоторой ограниченной точностью) его положение может быть определено в системе географических координат: широта 66 град. 25 минут северной широты и 94 град. 15 минут восточной долготы. Такой (абсолютный) способ указания местоположения не только более точен в сравнении с относительным в предыдущем случае, но и более «богат» с точки зрения того, какие возможности использования координатной привязки объектов он предоставляет. Зная координаты Москвы, нетрудно получить расстояние от

географического центра до столицы России. Это можно сделать, используя картометрические операции ГИС, причем как операции на референц-эллипсоиде (в этом случае расстоянию будет соответствовать длина геодезической линии между искомыми пунктами) или на эквивалентном ему шаре (тогда это будет длина отрезка дуги большого круга), так и в проекции карты.

Позиционирование объекта в ГИС выполняется в разных системах координат: в географических координатах (в терминах широты, долготы и высоты относительно уровенной поверхности используемого референц-эллипсоида), в прямоугольных геодезических координатах (относительно линий километровой сетки топографических карт в проекциях Гаусса-Крюгера, универсальной поперечно-цилиндрической проекции Меркатора UTM и т. п.), в условных декартовых координатах X, Y, получаемых путем цифрования картографических источников (в условных прямоугольных координатах цифрователя-дигитайзера). В двух последних случаях предполагается, что тем или иным путем возможен переход к истинным абсолютным географическим координатам путем решения обратной задачи математической картографии и теории картографических проекций: вычисления географических координат объектов по их условным плоским прямоугольным. Программные средства ГИС должны поддерживать поэтому преобразование проекций карт.

Таким образом, пространственный объект должен быть описан не только множеством его характеристик (атрибутов, реквизитов), но и положением в системе координат.

Выделяют четыре **типа пространственных объектов**: точечные (точки), линейные (линии, полилинии), площадные (области, ареалы, полигоны) и поверхности (рельефы), 0-, 1-, 2- и трехмерные соответственно. Часто поверхности называют геополями.

Итак, перечисленные типы пространственных объектов могут иметь разную размерность в геометрическом смысле – быть *точечными* (нулевая длина и ширина, размерность 0), *линейными* (ненулевая длина при нулевой ширине, размерность 1), *площадными* (ненулевые длина и ширина, размерность 2) и *поверхности* (ненулевые длина, ширина и высота, размерность 3). Однако такое деление по размерности условно и зависит от масштаба рассмотрения. Для ГИС этот факт имеет большее значение, чем для традиционной картографии, так как карта в ГИС – объект динамический в общем случае, с меняющимся по ходу работы масштабом рассмотрения. Объекты могут относиться к разным категориям и образовывать целые иерархии, например, линейные объекты могут быть реками (элементы гидрографии), железными дорогами, автомобильными дорогами, линиями улиц (элементы транспортной сети), линиями газопроводов, нефтепроводов (элементы трубопроводной сети). Более того, напри-

мер, автомобильные дороги могут быть далее подразделены на множество различных классов по разным признакам и т. п.

3.2. Понятие о моделях пространственных данных

Рассмотрим принципы организации моделей пространственных данных. Первый из них – **принцип послышной организации данных**. Он очень нагляден и хорошо соотносится с приемами традиционной картографии. Принцип заключается в том, что используется некоторое деление объектов на тематические слои, и объекты, отнесенные к одному слою, образуют некоторую логически (а часто и физически) отдельную единицу данных. Например, они собираются в один файл или в одну директорию, имеют единую и отдельную от других слоев систему идентификаторов. К данным, описывающим один слой, можно обращаться как к некоторому множеству. Чаще всего этот принцип реализуется так. Всё множество объектов разделяется на подмножества. Каждое из подмножеств – это множество *однотипных* и *однородных* объектов, образующих слой данных. Примером точечных слоев могут служить множества населенных пунктов, эпицентров землетрясений, высотных отметок рельефа местности; речная сеть и сеть автомобильных дорог – примеры линейных слоев; контуры типов растительности и типов почв на геоботанических и почвенных картах – источник данных для соответствующих полигональных слоев; поверхности (рельефы,

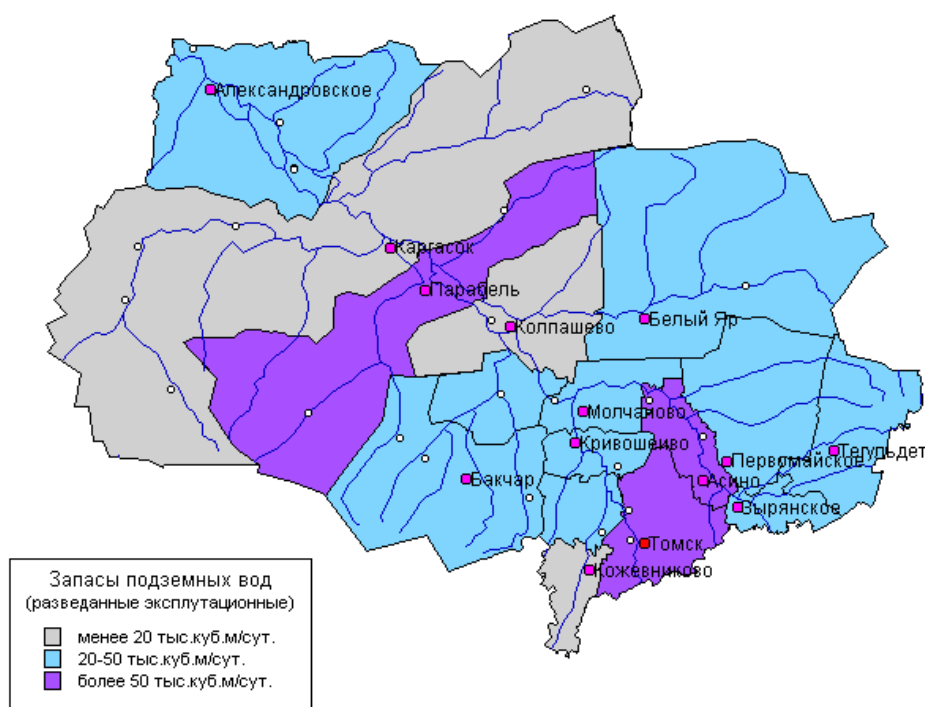
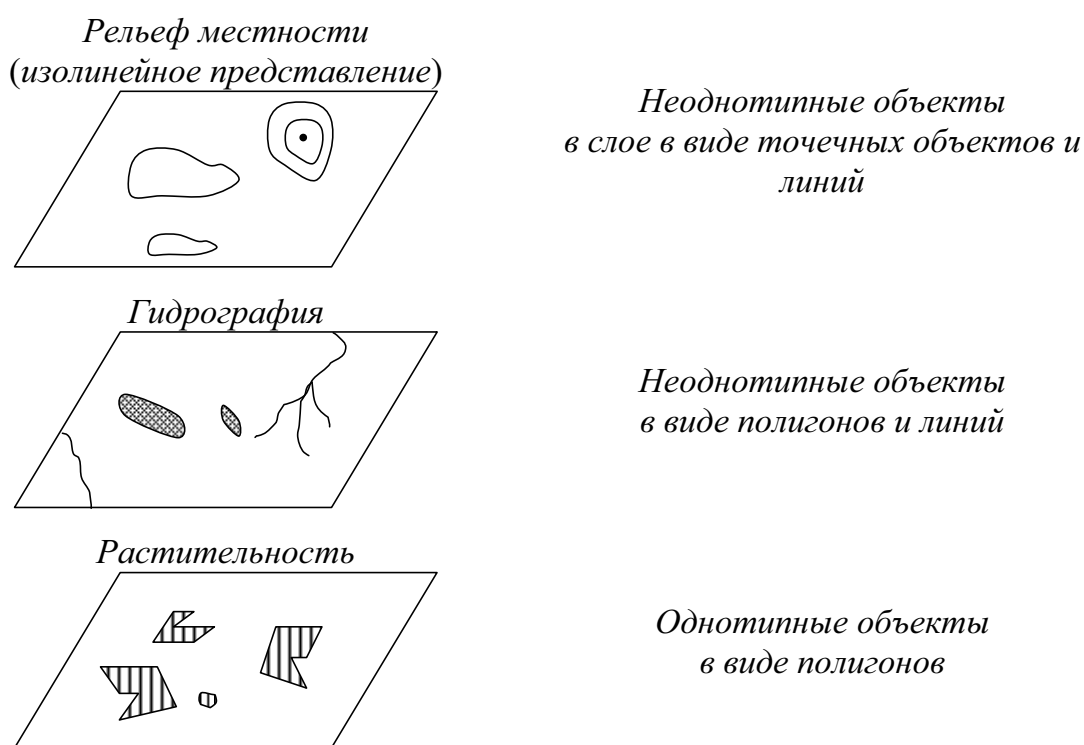


Рис. 3.1. Карта запасов подземных вод Томской области

геополя) могут быть представлены физическим рельефом местности, барическим рельефом или иными геофизическими полями и использоваться для описания особого типа пространственных объектов – тел. В качестве примера на рис. 3.1 приведена карта, состоящая из трех слоев, содержащих однотипные объекты. Первый слой – слой точечных объектов, описывающих населенные пункты. Второй слой – это представление гидросети в виде линейных объектов. Третий слой содержит полигоны, описывающие разведанные запасы подземных вод на территории Томской области.

Это простейший случай, когда объекты в каждом из слоев однотипные. Но может быть послойное разделение, когда объекты неоднотипные (рис. 3.2).



*Рис. 3.2. Послойный принцип организации информации
(включает случай неоднотипных объектов в слое)*

Другой принцип, называемый **объектно-ориентированным**, делает акцент не столько на общих свойствах объектов, сколько на их положении в какой-либо сложной иерархической схеме классификации, на взаимоотношениях между объектами. В силу этого удобно отображаются в слоях различные родственные и генетические отношения между объектами, а также функциональные связи между объектами. Пример реализации такого принципа на рис. 3.3.

Этот подход менее распространен, чем послойный, в основном, из-за больших трудностей при его практической реализации. Сегодня в ор-

организации моделей данных в ГИС преобладает послойный принцип. Вообще существует возможность использования обоих подходов совместно. Это перспективное направление для дальнейших исследований.

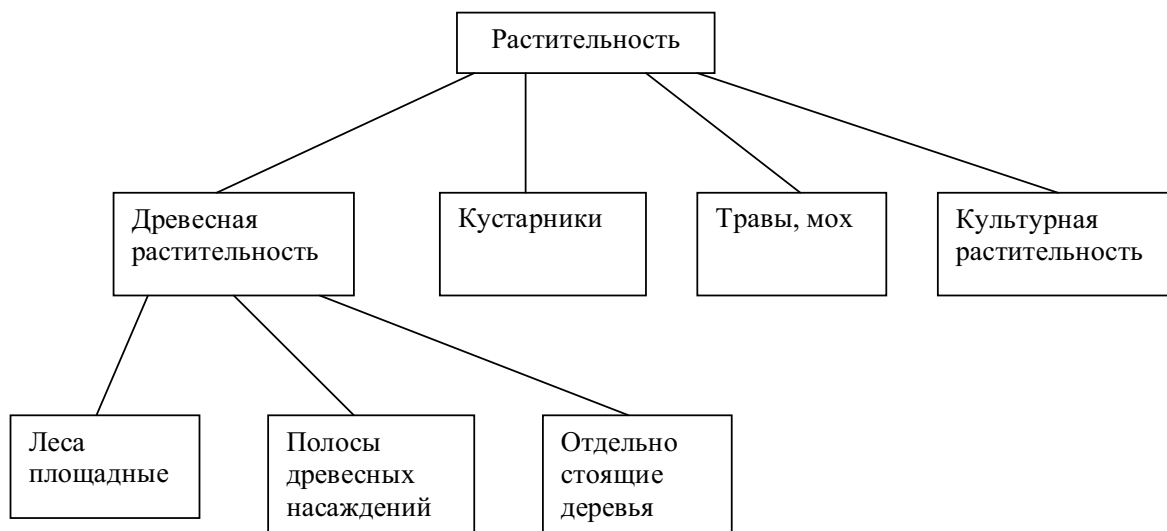


Рис. 3.3. Схема объектно-ориентированной модели данных для описания растительности

При описании в ГИС реальные пространственные объекты разделяются на множество атомарных, элементарных объектов-примитивов. Их иногда называют индивидуальными объектами. К ним принадлежат точки (точечные объекты), линии (линейные объекты), контуры (ареалы, площади, полигоны), поверхности (рельефы, геополя), ячейки регулярных пространственных сетей и элементы разрешения изображений (пиксели). Первые четыре примитива (типа объектов): нуль-, 1-, 2- и трехмерные пространственные объекты ориентированы на их **векторные представления** (когда описание объектов осуществляется путем указания координат объектов и составляющих их частей), остальные связаны с их **растровыми представлениями** в виде совокупности ячеек, на которые разбиваются объекты. Причем при формально едином растровом характере их описания с ними связаны два принципиально различных способа описания: путем соотнесения с ячейками регулярных сетей как элементами территории (территориальными ячейками, территориальными носителями информации) или с элементами растра – регулярной, обычно прямоугольной решетки, разбивающей изображение (но не территорию) на составные части, называемые **пикселями**.

Определение 3.1. *Представление пространственных данных* или *модель пространственных данных* – это способ цифрового описания пространственных объектов, тип структуры пространственных данных (способ структурного описания исходных данных).

Наиболее универсальными и употребительными из моделей пространственных данных являются:

- растровое представление;
- векторное представление;
- регулярно-ячеистое представление;
- квадратомическое представление (квадродерево).

В свою очередь, векторное представление делится на векторно-нетопологическое (модель «спагетти») и векторно-топологическое представления. К менее распространенным или применяемым для представления пространственных объектов определенного типа относятся также

- гиперграфовая модель;
- модель типа TIN и ее многомерные расширения;
- гибридные модели представления пространственных данных.

Определение 3.2. Машинные реализации представления (модели) пространственных данных называют *форматами пространственных данных*.

Кроме пространственных данных в любой ГИС могут быть и другие типы данных. С точки зрения их взаимного использования в ГИС различают следующие типы данных:

- пространственные данные;
- атрибутивные данные, связанные с пространственными данными;
- библиотеки условных знаков, используемые при тематическом картографировании;
- цифровые карты и атласы как некоторые оформленные композиции пространственных и атрибутивных данных, а также оформленные тематические карты и т. д.;
- метаданные – данные о данных (сведения о назначении баз данных, о методах сбора информации и т. д.);
- документные описания пространственных и атрибутивных данных, библиотек знаков, композиций цифровых карт.

В современных ГИС все перечисленные типы данных кроме, в ряде случаев, последнего типа, связанного с документным описанием данных, хранятся в виде баз данных. По мере развития ГИС организация и структура баз данных все усложняется. Более того, системы должны обрабатывать все более сложные запросы к базам данных. Последнее влечет за собой создание более сложных моделей данных, усложнение их логико-математической структуры.

Любая модель данных в ГИС должна иметь дело, в первую очередь, с индивидуальными (элементарными) пространственными объектами. В базы данных по каждому из них должна заноситься информация по крайней мере трех типов: идентификатор, пространственные данные

об объекте и его атрибуты. С каждым индивидуальным объектом должен быть связан уникальный идентификатор, например, какой-то номер, часто формальный, присваиваемый объекту программой или человеком при вводе информации об этом объекте в базу данных. Атрибутивные данные описывают характеристики объекта, причем они могут быть числовыми, текстовыми значениями каких-то характеристик, наиболее адекватно с точки зрения проектировщика баз данных описывающих объект.

Реальные пространственные объекты можно представить совокупностью элементарных объектов, в этих случаях говорят о комплексных объектах, представляющих объединения (постоянные или временные группировки) элементарных объектов. Если такая группа имеет, в свою очередь, уникальный идентификатор, то она тоже может рассматриваться как индивидуальный объект. Такая группировка может быть организована на базе как однотипных, так и разнотипных объектов.

Существуют разные варианты связи пространственных и атрибутивных данных об индивидуальном пространственном объекте. Иногда эти три варианта связи именуют принципами взаимодействия ГИС с базой данных. Однако для всех трех вариантов схема связывания пространственной и атрибутивной информации одна – через идентификаторы ID (рис. 3.4).

*Пространственные
данные*

Атрибутивные данные

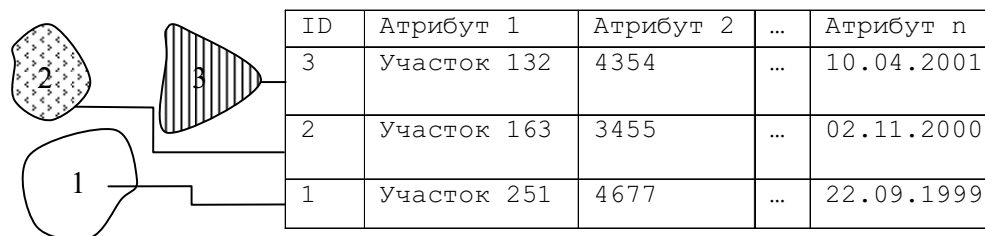


Рис. 3.4. Схема связи пространственных и атрибутивных данных

Первый принцип, иногда называемый **геореляционным**, указывает на то, что пространственный компонент данных об объекте организовывается по-своему, а атрибутивный – по-своему, между ними просто устанавливаются и поддерживаются связи через идентификатор объекта. При реализации этого принципа обычно пространственные данные хранятся отдельно от атрибутивных в своих файлах или системах файлов. Атрибутивные данные организованы в рамках реляционной модели данных в виде таблиц, которые управляются с помощью реляционной системы управления базами данных (СУБД). Эта СУБД может быть встроена в программное обеспечение ГИС как его функциональная подсистема или может быть внешней по отношению к ГИС. Часто в универсальных ГИС (MapInfo,

ArcView, ArcInfo и др.) реализуются оба подхода: есть простая встроенная в ГИС СУБД, работающая с атрибутивными данными, и возможно использование внешних СУБД для управления базами атрибутивных данных. Этот принцип связан с тем, что трудно добиться одновременной оптимизации хранения и пространственных, и атрибутивных данных.

Второй принцип – интегрированное хранение обоих типов данных. В этом варианте предусматривается использование средств реляционных СУБД для хранения как пространственных, так и атрибутивных данных об объекте. В этом случае часть ПО ГИС выступает как бы в качестве некоторой надстройки над СУБД. Этот вариант обладает рядом преимуществ, особенно для крупных хранилищ данных, с которыми работают в активном многопользовательском режиме, когда существенной проблемой становится обеспечение целостности данных.

Наконец, **третий принцип – использование объектного подхода**. Он обладает многими привлекательными сторонами, в особенности в части относительной легкости описания с его помощью сложных структур данных, взаимоотношений между объектами, иерархий объектов и возможностями решать многочисленные задачи моделирования инженерных сетей в среде ГИС. Однако в чистом виде этот подход для большого числа решаемых задач с использованием ГИС не применим или применим с трудом. Гораздо более интересна модификация этого подхода: совместное использование реляционных СУБД и объектного подхода, ведущее к объектно-реляционной модели данных. Однако в этом направлении сделаны только первые шаги, перспективность его еще до конца неясна. Этот модифицированный подход является предметом дальнейших исследований.

Будем рассматривать детально каждый класс моделей пространственных данных.

3.3. Растровые модели данных

3.3.1. Общие положения

Определение 3.3. Растровая модель данных – это цифровое представление пространственных объектов в виде совокупности ячеек растра (пикселей) с присвоенными им значениями класса объектов. Растровое представление предполагает позиционирование объектов указанием их положения в соответствующей растру прямоугольной матрице единообразно для всех типов пространственных объектов (точек, линий, полигонов и поверхностей).

Ранние реализации ГИС (конца 60-х – начала 70-х годов прошлого столетия) ориентировались на «ячеистые» структуры (ячейки регулярных сетей как элементы территории). Затем появились ГИС, в которых исполь-

зовались растровые модели данных (модели, определение которых полностью совпадает с тем современным определением растровых моделей, что мы дали выше). В настоящее время растровые ГИС продолжают повсеместно использоваться. Примером таких ГИС является ГИС Idrisi (США).

Основное преимущество растровой модели – это слияние позиционной и семантической атрибутики растрового слоя в единой прямоугольной матрице, положение элементов (пикселей) которой определяется номером их столбца и строки, а значение элемента является непосредственным указателем ее семантической определенности. С каждым семантическим значением элемента или смысловым кодом, кроме того, может быть связан неограниченный по длине набор атрибутов. При необходимости координаты пикселя могут быть вычислены. На рис. 3.5 приведен пример формирования растровой модели.

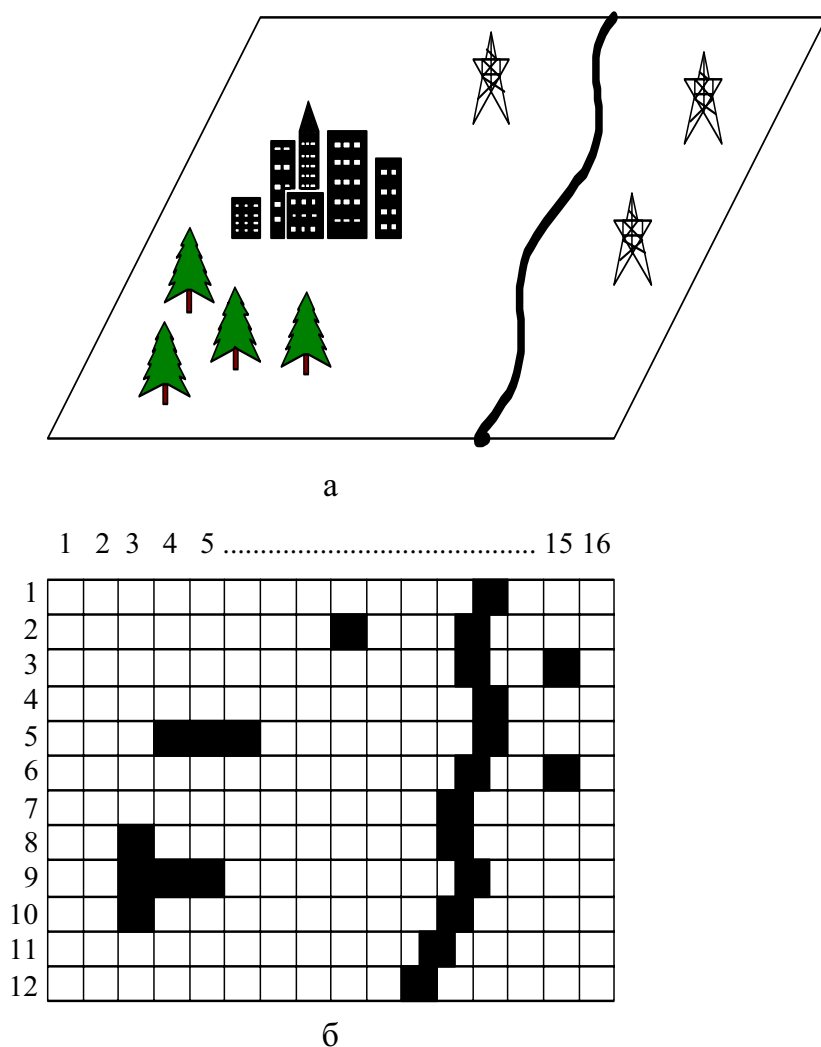


Рис. 3.5. Пример формирования растровой модели а – фрагмент реального мира, б – растровая модель объектов из а (вид сверху)

В растровых моделях дискретизация осуществляется наиболее простым способом – весь объект отображается в пространственные ячейки, образующие регулярную сеть. При этом каждой ячейке растровой модели соответствует одинаковый по размерам, но разный по характеристикам (цвет, плотность) участок поверхности объекта. В ячейке модели содержится одно значение, усредняющее характеристику участка поверхности объекта. В теории обработки изображений эта процедура известна под названием *пикселизация*.

Если векторная модель дает информацию о том, где расположен тот или иной объект, то растровая – информацию о том, что расположено в той или иной точке территории. Это определяет основное назначение растровых моделей – непрерывное отображение поверхности объектов.

В растровых моделях в качестве атомарной модели используют двумерный элемент пространства – пиксель (ячейку). Упорядоченная совокупность атомарных моделей образует растр, который, в свою очередь, является моделью карты или геообъекта.

В отличие от векторных моделей, которые относятся к бинарным или квазибинарным, растровые модели позволяют отображать полутона или цвета. Например, ГИС GeoDraw/GeoGraph может работать с растрами от 256 до 64К цветов.

Элементы бинарной матрицы, описывающей растровую модель, могут принимать только два значения: «1» или «0». В этом случае матрица соответствует черно-белому изображению (рис. 3.5, б).

Как правило, каждый элемент растра или каждая ячейка матрицы должны иметь лишь одно значение плотности или цвета. Это применимо не для всех случаев. Например, когда граница двух типов полигонов может проходить через центр элемента растра, в этом случае элементу дается значение, характеризующее большую часть ячейки или ее центральную точку. Ряд ГИС позволяет иметь несколько значений для одного элемента растра.

При обмене растровыми изображениями между ГИС одним из острых вопросов является передача привязки растров к координатным системам. Стандартные форматы растровых изображений не включают таких параметров, как сдвиг растра относительно начала координат, проекцию растра и т. п. Поэтому в целях обмена изображениями между ГИС перспективно использование соответствующих расширений форматов растров, позволяющих передавать такие параметры в другую ГИС. Примером может являться GeoTIFF.

Заметим, что преобразования (обработка) растровых изображений – это достаточно серьезная проблема с точки зрения качества преобразования и изучается она в теории обработки изображений. Обеспечение высокого качества растра при преобразованиях требует значительных наклад-

ных расходов, поэтому некоторые фирмы-производители программного обеспечения ГИС часто жертвуют качеством для повышения скорости преобразования. Пользователям ГИС, в которых ведется преобразование растровых изображений, следует не ограничиваться вопросом о наличии функций для реализации таких преобразований, а необходимо более подробно изучать вопрос о методах и алгоритмах этих преобразований.

3.3.2. Характеристики растровых моделей

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

Разрешение – минимальный линейный размер наименьшего участка пространства (поверхности), отображаемый одним пикселем.

Пиксели обычно представляют собой прямоугольники или квадраты, реже используются треугольники и шестиугольники. Более высоким разрешением обладает растр с меньшим размером ячеек. Высокое разрешение подразумевает обилие деталей, множество ячеек и минимальный размер ячеек.

Значение – элемент информации, хранящийся в элементе растра (пикселе). Поскольку при обработке применяют типизированные данные, то необходимо определить типы значений растровой модели.

Тип значений в ячейках растра определяется как реальным явлением, так и особенностями ГИС. В частности, в разных системах можно использовать разные классы значений: целые числа, действительные (десятичные) значения, буквенные значения.

Целые числа могут служить характеристиками оптической плотности или кодами, указывающими на позицию в прилагаемой таблице или легенде. Например, возможна следующая легенда, указывающая наименование класса почв: 0 – пустой класс, 1 – суглинистые, 2 – песчаные, 3 – щебнистые и т. п.

Ориентация – угол α между направлением на север и положением колонок растра (рис. 3.6).

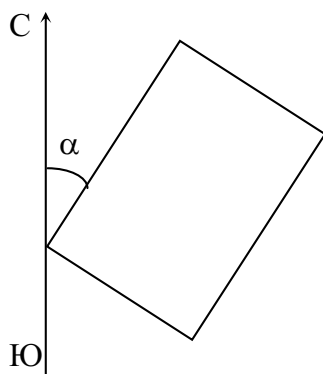


Рис. 3.6. Ориентация растра

Зона растровой модели включает соседствующие друг с другом ячейки, имеющие одинаковое значение. Зоной могут быть отображения отдельных объектов, природных явлений, ареалы типов почв, элементы гидрографии и т. п.

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

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

Необходимо остановиться на вопросах точности отображения в растровых моделях. В растровых форматах в большинстве случаев неясно, относятся координаты к центральной точке пикселя или к одному из его углов. Поэтому точность привязки элемента растра в общем случае определяют как половина ширины и высоты ячейки.

Растровые модели имеют следующие достоинства:

- растр не требует предварительного знакомства с явлениями, данные собираются с равномерно расположенной сети точек, что позволяет в дальнейшем на основе статистических методов обработки получать объективные характеристики исследуемых объектов. Благодаря этому растровые модели могут использоваться для изучения новых явлений, о которых не накоплен материал. В силу простоты эта модель получила наибольшее распространение;
- растровые данные проще для обработки по параллельным алгоритмам и этим обеспечивают более высокое быстродействие по сравнению с векторными моделями при вычислениях на компьютерах;
- многие растровые модели позволяют вводить векторные данные, в то время как обратная процедура весьма затруднительна в случае векторных моделей и использования фрагментов растров;
- процессы растеризации много проще алгоритмически, чем процессы векторизации, которые зачастую требуют экспертных решений.

Наиболее часто растровые модели применяют не только в ГИС, но и при обработке аэрокосмических снимков, полученных при дистанционных исследованиях Земли.

Проводя сравнение векторных и растровых моделей, отметим удобство векторных для организации и работы с взаимосвязями объектов. Тем не менее, используя простые приемы, например, включая взаимосвязи в таблицы атрибутов, можно организовать взаимосвязи и в растровых ГИС.

3.3.3. Метод группового кодирования

Самый простой способ ввода растровых моделей – прямой ввод одной ячейки за другой. Недостатками данного подхода являются требования большого объема памяти компьютера и значительного времени для организации процедур ввода-вывода данных. Например, снимок искусственного спутника Земли Landsat имеет 74 000 000 элементов растра и это требует огромных ресурсов для хранения данных.

При растровом вводе информации в ГИС возникает проблема ее сжатия, так как наряду с полезной может попадать и избыточная (в том числе и бесполезная) информация. Для сжатия информации, полученной со снимка или карты, применяются методы группового кодирования, учитывающие, что довольно часто в нескольких ячейках значения повторяются.

Суть простейшего метода группового кодирования состоит в том, что данные вводятся парой чисел, первое обозначает длину группы, второе – значение. Изображение просматривается построчно, и как только определен тип элемента (ячейки) встречается впервые, он помечается признаком начала. Если за данной ячейкой следует цепочка ячеек того же типа, то их число подсчитывается, а последняя ячейка помечается признаком конца. В этом случае в памяти хранятся только позиции помеченных ячеек и значения соответствующих счетчиков.

Применение такого метода значительно упрощает хранение и воспроизведение изображений (карт) в том случае, когда однородные участки превосходят размеры одной ячейки.

Обычно ввод данных осуществляют слева направо, сверху вниз. Рассмотрим, например, бинарный массив матрицы (5x6):

```
000111
001110
001110
011111
011111
```

При использовании метода группового кодирования он будет вводиться как: 30312031303120511051.

Вместо 30 необходимо только 20 элементов данных. В рассмотренном примере экономия составляет 30 %, однако, на практике при работе с большими массивами бинарных данных она бывает гораздо больше.

Этот метод группового кодирования имеет ограничения и может использоваться далеко не во всех ГИС.

3.4. Регулярно-ячеистое представление данных

Регулярно-ячеистое представление пространственных объектов путем соотнесения объектов с территориальными регулярными ячейками некоторых сетей – это модель, используемая в первых геоинформационных проектах (например, CGIS, Канада). Этот подход включает разбиение территории на ячейки правильной геометрической формы (прямоугольной, квадратной, треугольной и т. п.) в некоторой системе координат. На рис. 3.7 изображен фрагмент городской территории, покрытый прямоугольной сеткой – в качестве ячеек выступают прямоугольные ячейки. Размер ячеек зависит от того, с какой детальностью мы хотим описать территорию. Сеть может строиться, разумеется мысленно, на плоскости или поверхности эллипсоида, в последнем случае регулярными ячейками являются сферические трапеции заданного углового размера. Размеры ячеек могут быть различными и определяются требуемым пространственным разрешением.

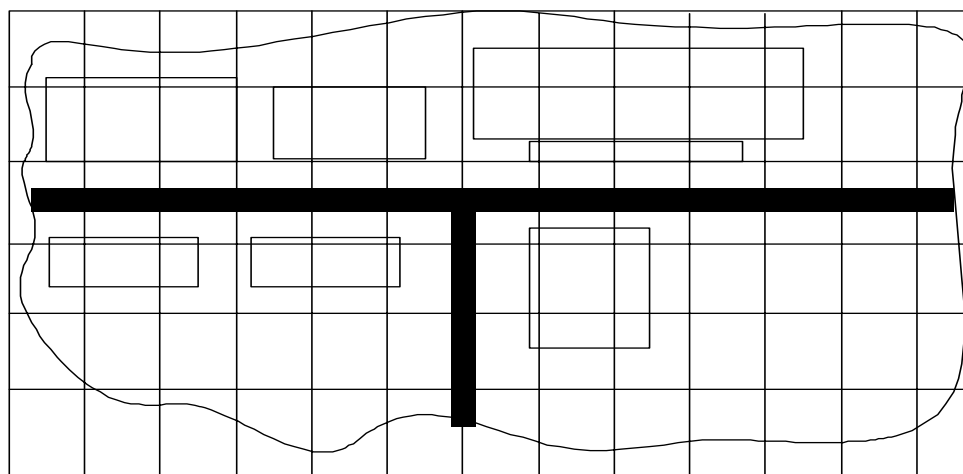


Рис. 3.7. Разбиение фрагмента городской территории на сеть прямоугольников

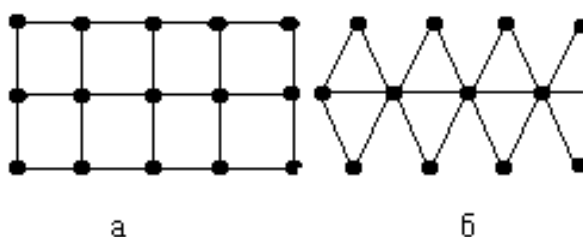


Рис. 3.8. Типы регулярных моделей

Наиболее часто употребляемыми регулярными плоскими моделями являются квадрат (рис. 3.8, а) и треугольник (рис. 3.8, б). Треугольники служат также хорошей основой для создания выпуклых (сферических) покрытий.

В общем случае, кроме регулярных ячеистых структур, бывают нерегулярные и вложенные. Последние делятся на рекурсивные и иерархические. Следует отметить, что в случае необходимости оперировать различным пространственным разрешением применяются системы вложенных друг в друга, обычно иерархических, территориальных ячеек.

3.5. Квадратомическая модель данных

3.5.1. Общие положения

Определение 3.4. Квадратомическое представление или квадродерево – это модель представления пространственных объектов в виде иерархической древовидной структуры, основанной на декомпозиции пространства на квадратные участки или квадратные блоки (квадранты), каждый из которых делится рекурсивно на 4 вложенных до достижения некоторого уровня – числа Мортон, обеспечивающего требуемую детальность описания объектов, эквивалентную разрешению растра.

Квадратомическое представление данных еще называют «дерево квадратов», «Q-дерево» и «4-дерево».

Обычно модель используется как средство снижения времени доступа к данным в базе пространственных данных. Это средство повышения эффективности обработки и компактности хранения данных по сравнению с растровыми представлениями, является «интеллектуализированным» растром.

В случае 3D-систем используется октотомическое дерево. По сути, использование такого дерева является трехмерным групповым кодированием пространственных данных.

Квадратомическая модель используется, в основном, для компактного представления растров, но иногда она применяется и для компактного представления векторных данных. Ниже рассмотрим идею квадратомических деревьев и один из алгоритмов перевода данных в растровом формате в квадратомическое дерево.

3.5.2. Квадратомические деревья

Квадратомическое дерево основано на рекурсивном разделении квадрата на квадранты и подквадранты до тех пор, пока все подквадранты не станут однородными по отношению к значению изображения, например, по цветам или пока не будет достигнут предопределенный заранее наименьший уровень разрешения. Если изображение состоит из $2^n * 2^n$ пикселей, тогда оно полностью представлено на уровне n , а единичные пиксели тогда находятся на нулевом уровне. Квадрат уровня L ($0 < L < n$) содержит $2^L * 2^L$ пикселей, всего 4^L .

В ранних работах по квадратомическим деревьям связи между квадрантом и подквадрантом давались в виде дерева со степенью ветв-

ления, равной 4. В такой структуре связи между родительским и дочерним уровнем определяются системой внешних указателей. Все узловые точки дерева, за исключением корневой, имеют одного родителя, в то же время все они, кроме так называемых листьев, связаны с четырьмя дочерними узловыми точками. Недавние исследования в этой области показали, что для описания больших квадротомических деревьев наиболее подходящей структурой является линейное квадродерево. В таком дереве каждый листовой узел представлен линейным числовым кодом, который базируется на упорядоченном списке узловых точек прародителей. Последующее преобразование дерева в код достигается использованием битового уровня или модулярной арифметики. В настоящее время разработаны несколько квадротомических алгоритмов, использующих свойство линейных квадротомических деревьев. Система линейных кодов, в свою очередь, обеспечивает эффективную связь между структурами пространственных данных и алгоритмами, используемыми в вычислительной геометрии для решения проблем восстановления прямоугольников и определения ближайшего соседа.

Исследования показали, что определенные формы линейных квадротомических деревьев могут быть быстро закодированы. Более того, если существует несколько последовательно закодированных листьев с одинаковым значением, то фиксировать надо код последнего из этих листьев.

Чаще всего используется схема пространственной нумерации (индексирования) элементов квадротомического дерева, известная как матрица Мортонa, основанная на кривых Пиано и числах Пиано или матрица Пиано-Гильберта. Мортоновские числовые последовательности позволяют создавать удобные коды для линейных квадротомических деревьев. Мортоновское число для пикселя получают путем пересчета в двоичной системе строковой и столбцовой координаты данного пикселя. Следует помнить, что чаще всего координаты нумеруются от нуля, а листу квадротомического дерева присваивается мортоновское число. Так как мортоновская последовательность фиксирует Пиксели в двух измерениях одновременно, то такой подход назван двумерным групповым кодированием.

3.5.3. Построение квадротомического дерева для случая растровых полигонов

Пусть в качестве примера объектов в растровом формате имеем простейшие растровые полигоны А и В на рис. 3.9. Изобразим в виде квадрантов результат деления полигона А в соответствии с идеологией квадродерева. Получим структуру в виде дерева степени 4, известного как квадродерево (рис. 3.10).

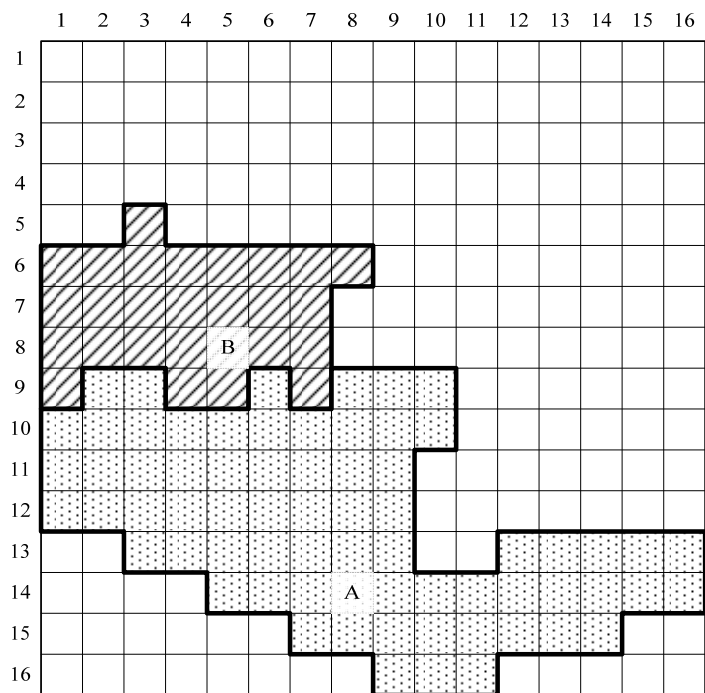


Рис. 3.9. Простейшее растровое изображение

1																
2																
3																
4	1								2							
5																
6																
7																
8																
9	3	4	7	8	13	14	17	18	37		38		44			
10	5	6	9	10	15	15	19	20								
11	11		12		21		22		39	40	43					
12									41	42						
13	23		24	25	30		31		45	46	49	50	58		59	
14			26	27					47	48	51	52				
15	28		29		32		33	34	53		54	55	60	61	64	
16							35	36			56	57	62	63		

Рис. 3.10. Кодирование в виде квадродерева полигона A из рис. 3.9

Учтем, что вся область из $2^n * 2^n$ пикселей начинается из корневого узла и представляется квадродеревом, по крайней мере, из n уровней. В нашем примере это иерархическое квадродерево имеет 4 уровня, а листья находятся на нулевом. Если обозначить \bigcirc – узел, \blacksquare – пиксель со значением 1, а \square – пиксель со значением 0, то результат кодирования из рис. 3.10 будет представлен квадродеревом на рис. 3.11. Из рис. 3.11 видно, что ячейки-пиксели имеют различный размер: минимальный $20 * 20$, затем $21 * 21$, $22 * 22$ и максимальный $23 * 23$. Минимальный размер пикселя имеют все листья. Из рис. 3.10 и 3.11 видим, что пикселем максимального размера являются ячейки 1 и 2, ячейка 44 имеет размер $22 * 22$, пикселем на уровне 1 имеют размер $21 * 21$, к ним относятся пиксели с номерами 11, 12, 21 и т. д. На нулевом уровне находятся листья с минимальным размером пикселей $20 * 20$. Нетрудно видеть, что номер уровня играет важную роль при кодировании растровых изображений: он определяет размер хранимых ячеек раstra.

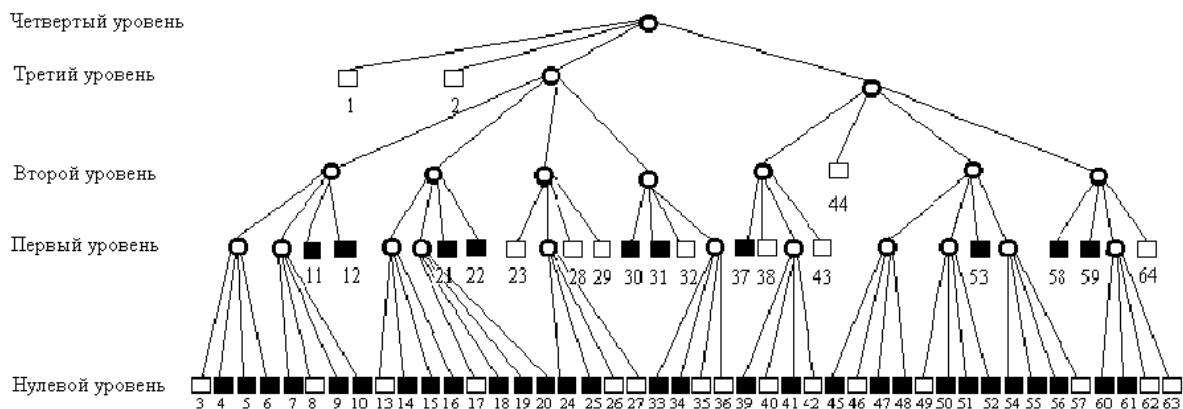


Рис. 3.11. Построенное квадродерево

Из рис. 3.10 и 3.11 также следует, что корневым узлом (четвертый уровень) служит точка сопряжения квадрантов наибольших размеров. Узлами третьего уровня являются точки сопряжения квадрантов, входящих в квадранты наибольшего размера и т. д.

3.6. Векторные модели данных

3.6.1. Общие положения

Векторное представление данных точечного, линейного и площадного (полигонального, контурного) типов объектов имеет аналогии в картографии, где различаются объекты с точечным, линейным и площадным характером пространственной локализации. Это определяет выбор графических средств их картографического отображения. Векторные

модели исторически связаны с устройствами цифрования карт векторного типа (векторными устройствами ввода) – цифрователями (дигитайзерами) с ручным обводом, генерирующими поток пар плановых координат при движении курсора (обводной головки) по планшету цифрователя при отслеживании объектов помещенного на нем оригинала.

Следует отметить, что векторные представления пространственных объектов занимают в памяти компьютеров значительно меньше места, чем растровые.

В качестве примера использования векторных представлений пространственных объектов приведем векторную модель (рис. 3.12) фрагмента реального мира из рис. 3.5, а. Из рис. 3.12 следует, что для представления объектов фрагмента реального мира использованы элементарные объекты: точки, линия и полигоны.

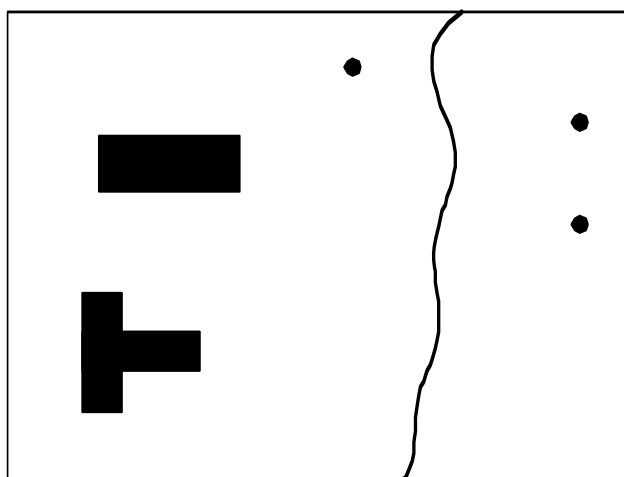


Рис. 3.12. Векторная модель фрагмента реального мира, приведенного на рис. 3.5, а

Дадим определение векторной модели данных.

Определение 3.5. Векторное представление или **векторная модель пространственных данных** – это цифровое представление точечных, линейных и полигональных пространственных объектов в виде набора координатных пар.

Определение 3.6. Если векторное представление пространственных объектов в виде набора координатных пар ведется с описанием только геометрии линейных и полигональных объектов, то это **нетопологическое векторное представление** таких объектов (модель «спагетти»).

Обычно под моделью «спагетти» понимают векторное нетопологическое представление – разновидность векторного представления линейных и полигональных пространственных объектов с описанием их геометрии (но не топологии) в виде неупорядоченного набора дуг или совокупности сегментов.

Определение 3.7. Если векторная модель данных учитывает и геометрию объектов и их топологические отношения (топологии), то говорят о **векторно-топологическом** представлении пространственных объектов.

Итак, будем рассматривать векторные нетопологические модели и векторные топологические модели пространственных объектов. В машинной реализации таким векторным представлениям соответствуют векторные форматы пространственных данных.

3.6.2. Векторные нетопологические модели

Множество *точечных* объектов, образующее слой однородных данных (например, множество объектов, соответствующих населенным пунктам), может быть представлено в векторном формате в виде неупорядоченной (необязательно упорядоченной) последовательности записей, каждая из которых содержит три (не менее двух) числа: уникальный идентификационный номер объекта ID (идентификатор), значение координаты X и значение координаты Y (табл. 2).

Таблица 2

Описание точечных объектов

ID	X	Y
1	x_1	y_1
2	x_2	y_2
3	x_3	y_3
4	x_4	y_4
...		
n	x_n	y_n

Множество *линейных* объектов (например, элементов гидросети), образующих однородный слой (в данном примере он не может содержать границ внутренних водоемов, точнее это не всегда допустимо или желательно), может быть представлено *последовательностью координат точек*, аппроксимирующих кривые, соответствующие этим объектам, ломаными (дугами, нитями), составленными из линейных отрезков (рис. 3.13).

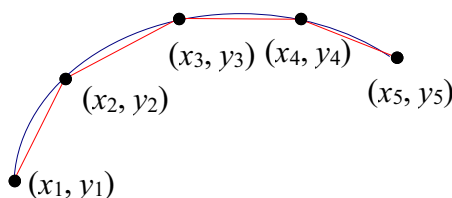


Рис. 3.13. Аппроксимация объекта линейными отрезками

Именно с представлениями линейных объектов в виде последовательности образующих их точек связано изначально понятие о векторном формате представления данных: любая кривая может быть описана с заданной точностью совокупностью отрезков прямых – сегментов или векторов. Линейные отрезки, на которые первоначально разбивается слой линейных сетей, могут быть представлены идентификаторами и упорядоченными последовательностями значений координат образующих их точек. Например, такая модель реализована в векторных форматах ГИС Idrisi и ArcInfo (форматы приведены в табл. 3). Как видно из табл. 3, кроме идентификатора линейного отрезка (№ 1) и координатных пар пяти (в нашем случае) точек, запись должна содержать элемент, позволяющий выделить заданный линейный объект (набор из 4 отрезков) в общей совокупности записей линейных объектов слоя (которому соответствует обычно файл данных). В первом случае в ГИС Idrisi (А) это делается путем помещения вслед за идентификатором (1) целого числа (5), указывающего число координатных пар, во втором в ГИС ArcInfo (В) линейные отрезки отделяются друг от друга меткой например, словом END.

Таблица 3

Векторные форматы представления линейных отрезков

А	В
1 5	1
$x_1 y_1$	$x_1 y_1$
$x_2 y_2$	$x_2 y_2$
$x_3 y_3$	$x_3 y_3$
$x_4 y_4$	$x_4 y_4$
$x_5 y_5$	$x_5 y_5$
	END

Запись линейного объекта может содержать также позиции для семантических (смысловых) атрибутов. Описанные формата представления линейных объектов (линейных сетей или границ контурных объектов) носит название «*спагетти*», поскольку она не содержит аппарата описания топологических отношений между линейными объектами и их элементами, которые могут соответствовать, например, указанию соподчиненности «главный водоток – приток» в линейных сетях или указанию принадлежности линейных отрезков к описываемым ими контурам. Такие модели (представления) называются поэтому *векторными нетопологическими*.

Рассмотрим простейший случай описания контуров (полигонов): каждый именованный контур (со своим идентификатором) представляется записью пар координат, образующих его границу в виде совокуп-

ности линейных отрезков в избранной последовательности (например, по часовой стрелке). Каждый линейный отрезок, заключенный между двумя узловыми точками, может быть описан в общем случае дважды (при движении по и против часовой стрелки). При обходе контура по часовой стрелке полигон должен оставаться справа, при обходе против часов стрелки – слева. Как только координаты узла повторятся, значит контур замкнут, обход закончен. Этот способ представления контурных объектов в виде полигонов (сейчас становится понятным происхождение этого термина, используемого в большинстве ГИС: контур описывается отрезками прямых), является векторным нетопологическим. Он применяется на практике в недорогих программных средствах ГИС, не предусматривающих поддержку векторных топологических представлений и их обработку.

Векторный нетопологический формат, однако, не является эффективным с точки зрения объемов хранимых данных, и, в особенности, с точки зрения возможностей их обработки с использованием широкого комплекса аналитических операций ГИС.

3.6.3. Векторные топологические модели

Более перспективными, особенно в муниципальных ГИС и в ГИС для управления инженерными сетями, являются векторные топологические модели. Векторные топологические представления обязаны своим происхождением задаче описания контурных объектов.

3.6.3.1. Общие положения

Определение 3.8 Топология (от греч. *topos* – место) – раздел математики, изучающий топологические свойства фигур, т. е. свойства, не изменяющиеся при любых деформациях фигур, производимых без разрывов и склеиваний. Примерами топологических свойств фигур являются размерность, число кривых, ограничивающих данную область, и т. д. Так, окружность, эллипс, квадрат и прямоугольник (рис. 3.14) имеют одни и те же топологические свойства, так как эти линии могут быть деформированы одна в другую описанным выше способом без разрывов и склеивания.

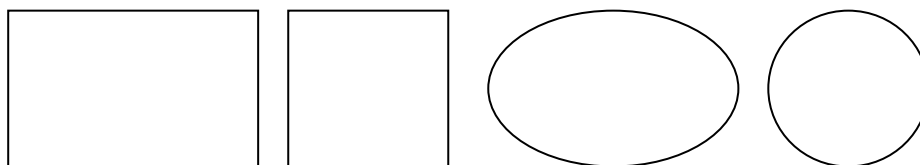


Рис. 3.14. Примеры фигур, имеющих одинаковые топологические свойства

В то же время кольцо и круг обладают различными топологическими свойствами: круг ограничен одним контуром, а кольцо – двумя.

Попытаемся представить «воздушную» конструкцию, состоящую из палочек, скреплённых концами между собой (например, на концах есть крючки для сцепления). Если манипулировать ими как фокусник, то конструкция вследствие *связанности* концов палочек остается целостной: форма её изменяется, но каждая палочка, если она была связана с конкретными соседями, так и осталась с ними связанной, как бы мы не подбрасывали или не сгребали в охапку такую конструкцию.

Пусть конструкцию из связанных палочек можно разместить на плоскости. При этом как бы мы не перемещали палочки, за ними смещаются и соседи (крючки не дают оторваться) – движения как в детской игрушке «змейка». Всё это обусловлено наличием жёстких связей между концами палочек. Здесь мы имеем дело с топологической конструкцией.

Теперь приведем пример *нетопологических* конструкций. Пусть возьмем отдельные спички и сложим из них какую-либо конструкцию на плоскости. Конструкция может быть такой же по форме, как в примере со скреплёнными между собой палочками. Однако, можно взять любую спичку и переместить её. И поскольку она физически не скреплена с соседями, то в случае расположения спичек на плоскости сделать это можно без труда, не потревожив соседние спички. В таком случае говорят, что спички не образуют топологически связанную конструкцию с другими спичками. Более того, конструкция легко рассыпается, если стукнуть по плоскости, на которой ее разместили. Напротив, в примере со скрепленными между собой палочками после встряхивания, может быть, изменится форма конструкции, но связи между соседями *сохранятся*.

Введем понятие топологического пространства, поскольку в ГИС мы имеем дело именно с моделями пространств.

Определение 3.9. Топологическое пространство – математическое понятие, обобщающее понятие метрического пространства. Топологическое пространство – множество элементов любой природы, в котором тем или иным способом определены предельные соотношения.

Определение 3.10. Метрическое пространство – множество точек (элементов), на котором задана метрика.

Определение 3.11. Метрика – математический термин, обозначающий формулу или правило для определения расстояния между любыми двумя точками (элементами) данного пространства (множества).

Картография занимается отображением (моделированием) метрических пространств. Причём выполняется это на плоскости – также метрическом пространстве. Крупномасштабные карты, отображая плоскость,

выполняют отображение «плоскость участка земной поверхности – плоскость карты», а мелкомасштабные выполняют отображение «сферическая поверхность (эллипсоид, геоид) – плоскость карты».

В картографии принципиально работают с топологическими пространствами и обойти это нет не только необходимости, но и возможности. Другими словами, изображение на карте объектов принципиально топологично, поскольку изображение лежит на плоскости – в топологическом пространстве. Действительно, если нарисовать карту на плоской резине, а потом растянуть её в разных направлениях, то объекты (картографические изображения) деформируются, но отношения (связи) между их элементами останутся без изменений; смежные линии разных фигур, как бы связанные своими концами с другими элементами, так и остались в этом «виде». Лишь формы линий изменятся. Именно поэтому окружность, эллипс, прямоугольник и квадрат имеют одни и те же топологические свойства при деформациях.

А теперь возвратимся к ГИС. Так вот, в *топологических ГИС* изображение картографического объекта образуется взаимосвязанными элементами и разорвать между ними связи можно только выполняя явно такие специальные операции. А в *нетопологических ГИС* конструкции действительно рассыпаются как спички. Вы можете взять объект или часть его и переместить в другое место экрана компьютера. При этом видно, что выполнить такую операцию легко, и объект с готовностью отрывается от соседей.

Конечно, в нетопологических ГИС «спичками» являются более сложные элементы, чем отрезки прямых. В строгом смысле полностью нетопологических ГИС *вообще не бывает*. Это все звучит удивительно, но это так. ГИС, которую называют нетопологической, на самом деле может иметь в качестве элементарных «спичек» довольно сложные конструкции, например, полигоны или полилинии (надломите спичку в нескольких местах, но не ломая окончательно, – и вы получите более сложный – полилинейный – объект). Так вот, сама полилиния или полигон по отдельности являются топологическими конструкциями. Сложность в том, что их ни с какими другими самостоятельными объектами на карте в нетопологических ГИС скрепить уже нельзя.

Такая ситуация, например, имеет место в объектных ГИС. Так в ГИС MapInfo вы легко можете нарисовать полигон и при этом хорошо видно, что этот полигон является топологической конструкцией: вам ни за что не удастся «вынуть» из полигона какое-нибудь его ребро, значит полигон создан не из «спичек». Тогда что же – MapInfo является топологической ГИС? – Нет! Просто в геоинформатике давно уже произошло редуцирование понятий. ГИС MapInfo на самом деле поддерживает толь-

ко так называемую внутриобъектную топологию, т. е. формирует и соблюдает топологические отношения в пределах таких базовых объектов как полилинии и полигоны, которые состоят из примитивов (точек и отрезков прямых). Последние же являются элементарными, а потому – нетопологическими «микроструктурами». Однако, ГИС-специалисты не называют MapInfo топологической ГИС, поскольку внутриобъектной топологии мало для того, чтобы носить высокое звание топологической системы; нужно, чтобы топологические отношения (скрепления) можно было устанавливать не только между элементами в объектах, но и между любыми отдельными объектами, например, соседними полигонами, имеющими общие вершины (рис. 3.15, а) или грани (рис. 3.15, б).

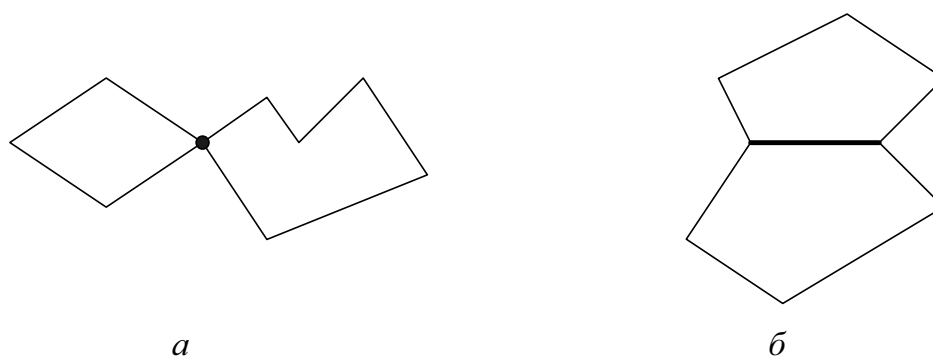


Рис. 3.15. Примеры топологических отношений между объектами

В общем смысле слово *топологический* означает, что в модели пространственного объекта хранятся взаимосвязи, которые расширяют использование данных в ГИС для различных видов пространственного анализа.

Элементы топологии, входящие в описание моделей данных в ряде топологических ГИС, в простейшем случае определяются связями между элементами основных типов координатных данных. Например, в логическую структуру описания данных могут входить указания о том, какие линии входят в район, в каких точках эти линии пересекаются и т. п.

Топологическое векторное представление данных отличается от нетопологического наличием исчерпывающего списка взаимоотношений между пространственными объектами, графическими примитивами без изменения хранимых координат для этих объектов. Необходимая процедура при работе с топологической моделью – подготовка геометрических, в первую очередь, данных для построения топологии. Этот процесс не может быть полностью автоматизирован уже на данных средней сложности и реализуется только при дополнительных затратах труда, обычно значительных. Таким образом, пространственные данные, хранимые в системе, не предусматривающей поддержки топологии, не могут быть надежно преобразованы в топологические данные другой системы по чисто автоматическому алгоритму.

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

3.6.3.2. Основные топологические характеристики в моделях данных ГИС

Топологические модели в ГИС задаются совокупностью следующих характеристик.

1. Связанность векторов – это характеристика, когда полигоны, линии, (полилинии) и точечные векторные объекты хранятся не как независимые наборы точек, а как взаимосвязанные друг с другом объекты, хотя бы через одну точку.
2. Связанность и примыкание полигонов – характеристика о взаимном расположении полигонов и об узлах пересечения их контуров, вносимая в БД.
3. Пересечение – характеристика о типах пересечений, позволяет воспроизводить мосты и просто дорожные пересечения (рис. 3.16, а). Так Т-образное пересечение (3 линии) является трехвалентным, а Х-образное (4 линии сходятся в точке пересечения) называют четырехвалентным.
4. Близость – показатель пространственной близости линейных или полигональных объектов (рис. 3.16, б), оценивается числовым параметром, в данном случае имеет значение δ .

Топологические характеристики линейных объектов могут быть представлены визуально с помощью связанных графов. Граф сохраняет структуру модели со всеми узлами и пересечениями. Он напоминает карту с искаженным масштабом. Примером такого графа может служить схема метрополитена. Разница между картой метро и схемой метро показывает разницу между картой и графом.

Узлы графа, описывающего карту как некоторую модель, соответствуют пересечениям дорог, местам смыкания дорог с мостами и т. п. Ребра такого графа описывают участки дорог. В отличие от классической сетевой модели в данной модели длина ребер может не нести информационной нагрузки.

Топологические характеристики полигональных объектов могут быть представлены с помощью графов покрытия и смежности.

Ребра графа покрытия описывают границы между полигонами, а его узлы (вершины) представляют точки смыкания этих полигонов. Степень вершины такого графа – это число полигонов, которые в ней смыкаются. Граф смежности – это как бы вывернутый наизнанку граф покрытия. В нем полигоны отображаются узлами (вершинами), а пара

смыкающихся полигонов – ребрами. На основе такого графа ГИС может выдать ответ на запрос является ли проходимой рассматриваемая территория, разделенная на проходимые и непроходимые участки.

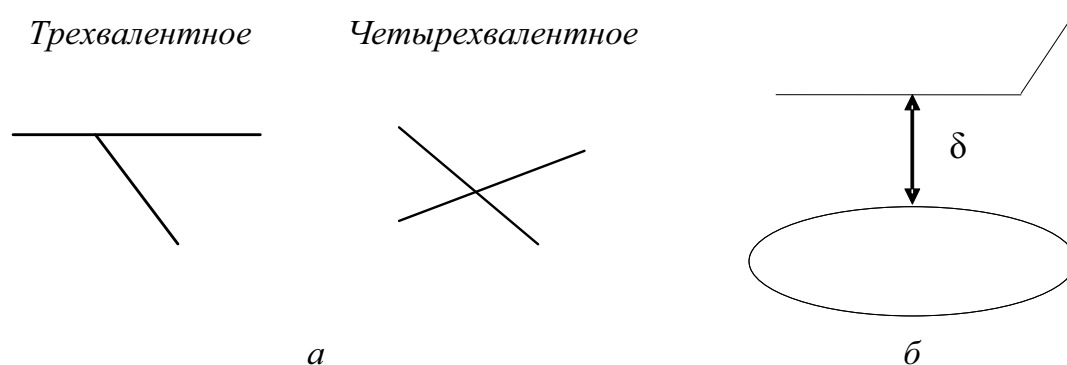


Рис. 3.16. Примеры пересечений (а) и оценки близости (б) объектов

Топологические характеристики сопровождаются позиционной и атрибутивной информацией. Вершина графа покрытия может быть дополнена координатными точками, в которых смыкаются соответствующие полигоны, а ребрам приписывают левосторонние и правосторонние идентификаторы.

Практически, создавая электронную карту, после введения точечных объектов при построении линейных и полигональных объектов необходимо «создать» топологию. Эти процессы включают вычисление и кодирование связей между точками, линиями и полигонами.

Пересечения и связи имеют векторное представление. Топологические характеристики заносятся при кодировании данных в виде дополнительных атрибутов. В большей степени процесс создания топологии осуществляется автоматически во многих топологических ГИС в ходе детализации данных.

Объекты связаны множеством отношений между собой. Это определяет эффективность применения реляционной модели баз данных, в основе которой используется понятие *отношения*. Простейшие примеры таких связей: «ближайший к ...», «пересекает», «соединен с ...». Подробнее об этом написано в п. 5.2. Анализ отношений.

Каждому объекту можно присвоить признак, который представляет собой идентификатор ближайшего к нему объекта того же класса; таким образом, как в этом примере, кодируются связи между парами объектов. В векторных топологических ГИС часто кодируются два особых типа связей: связи в топологических сетях и связи между полигонами. Топологические сети состоят из объектов двух типов: линии (границы, ребра, дуги) и узлы (вершины, пересечения, соединения).

Простейший способ кодирования связей между ребрами и узлами заключается в присвоении каждому узлу дополнительных атрибутов – идентификаторов узлов на каждом конце ребра (входной узел и выходной узел).

В этом случае при кодировании геометрии будут иметь место два типа записей:

1. Координаты (традиционное описание геометрии объектов в векторных нетопологических ГИС).
2. Атрибуты ребер: входной узел, выходной узел, длина, описательные характеристики (дополнительное описание, чтобы учесть топологию этих объектов).

Такая структура данных позволяет, перемещаясь от ребра к ребру, определять те из них, у которых перекрываются номера узлов.

3.6.3.3. Линейно-узловая топологическая модель

Одной из разновидностей векторно-топологического представления пространственных объектов является линейно-узловая модель. Именно эта простая модель наиболее часто применяется в векторных топологических ГИС, например, в ArcInfo, GeoDraw/GeoGraph.

Определение 3.12. *Линейно-узловое представление* – это векторная модель, описывающая не только геометрию пространственных объектов, но и топологические отношения между узлами, дугами и полигонами. Именно эта модель позволяет описывать контурные объекты в виде множества трех элементов: узлов, дуг и собственно полигонов.

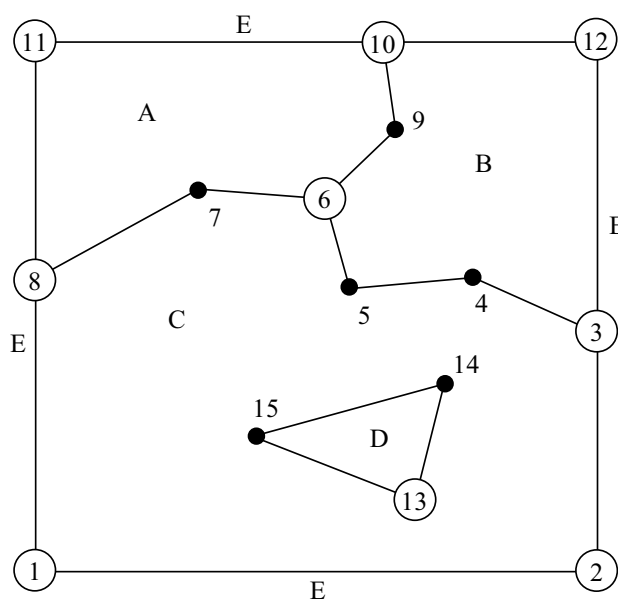


Рис. 3.17. Пример линейно-узловой топологии

На рис. 3.17 приведен пример такого представления. Узлы 1, 2, 3, 6, 8, 10, 11, 12, 13. Промежуточные точки линейных сегментов (дуг): 4, 5, 7, 9, 14, и 15. Дуги (1–2), (2–3), (3–6), (6–8), (8–1), (8–6), (6–10), (10–11), (11–8), (3–12), (12–10), (10–6), (6–3), (13–14), (14–15), (15–13). Полигоны: А, В, С

и D («остров», анклав, для описания которого вводится фиктивный узел 13). E – это полигон, внешний по отношению ко всем полигонам в пределах прямоугольного участка. Между объектами на рис. 3.17 установлены некоторые топологические отношения, необходимым элементом которых является связь имен полигонов и дуг. Последним приписывается указатель правого и левого полигонов, конвенциализируя направление обхода контуров. Фиктивный узел 13 нужен для организации полигона D.

3.7. Преобразования «вектор–растр» и «растр–вектор»

Операции преобразования данных из векторного представления в растровое и обратно важны для многих ГИС, но особенно они необходимы в ГИС, поддерживающих как растровые, так и векторные форматы. Преобразования типа «вектор-растр» (векторно-растровое преобразование) – это типичная задача растровых ГИС (IDRISI, EPPL7 и т. д.) с поддержкой векторного ввода данных. Задача растрово–векторного преобразования актуальна для векторных ГИС (MapInfo, ArcView и т. п.), когда в них необходимо ввести растровые изображения.

Определение 3.13. Векторно-растровое преобразование или растеризация – это преобразование (конвертирование) векторного представления пространственных объектов в растровое путем присваивания элементам растра значений, соответствующих принадлежности или непринадлежности к ним элементов векторных записей объектов.

Алгоритм векторно-растрового преобразования довольно прост, а результаты его применения вполне однозначны. В качестве иллюстрации работы алгоритма рассмотрим пример. Пусть имеем набор векторных данных в виде полигонов с их номерами (рис. 3.18, а). Наложим на исходное изображение регулярную квадратную или прямоугольную сеть с необходимым размером ячеек (рис. 3.18, б). Покажем точками центры ячеек. Это делается для удобства при реализации операции принадлежности ячейки полигону: именно положение геометрического центра ячейки показывает принадлежность ячейки полигону. Ячейка получает номер того полигона, к которому она принадлежит (рис. 3.18, в).

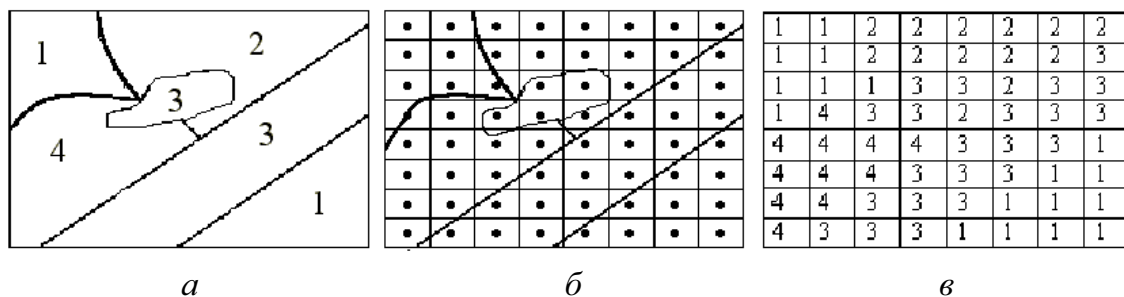


Рис. 3.18. Схема преобразования «вектор – растр»

Определение 3.14. Растрово–векторное преобразование, векторизация – это автоматическое или полуавтоматическое преобразование (конвертирование) растрового представления объектов в векторное с помощью определенного набора операций. В этот набор включаются, как правило, скелетизация растровой записи линии, ее «утонышение», генерализация с применением операторов разрядки, т. е. устранение избыточных промежуточных точек в цифровой записи линий, их сглаживание, упрощение рисунка, устранение разрывов и удаление висячих линий.

Растрово-векторное преобразование поддерживается специализированными программными средствами – векторизаторами, или в ГИС спецмодулями. Простые векторизаторы, выполняющие трассировку растровых изображений, могут входить в состав графических редакторов или в состав программных средств ГИС, обслуживая чисто графические операции.

Отметим, что процесс векторизации включает ряд трудо- и времяемких операций, значительная часть из которых поддается автоматизации. К таким операциям относятся: индикация и устранение разрывов линий, их утонышение или «скелетизация» изображения. После этих операций обычно применяются автоматизированные операции корректировки геометрии и топологии результирующей векторной записи, выполняемые опытным оператором. При векторизации возможно появление побочных эффектов. Один из таких эффектов проявляется в виде небольших по размерам «паразитных» полигонов, нарушающих топологию совокупности естественных полигонов. Для удаления паразитных полигонов часто используется ценз отбора, связанный с их размером.

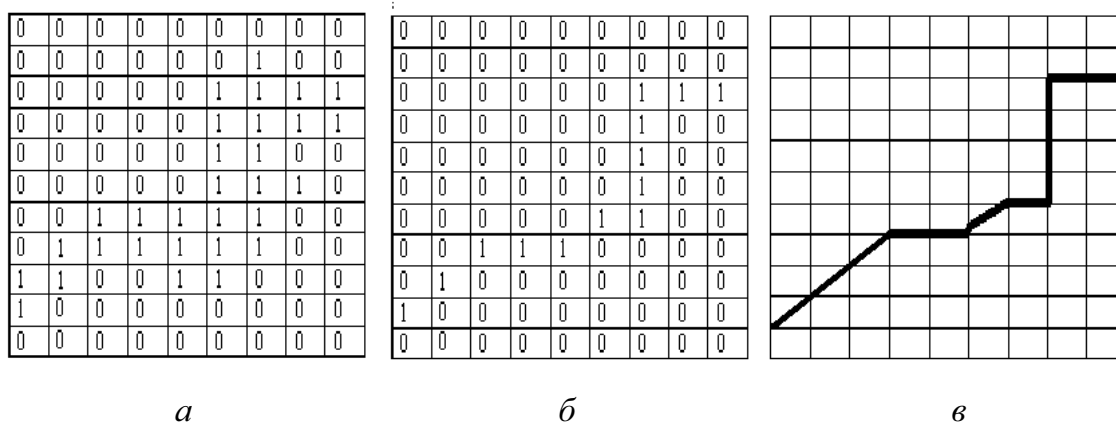


Рис. 3.19. Пример векторизации линии из растрового формата в векторный

В качестве примера векторизации рассмотрим преобразование линии из растрового формата в векторный. Пусть имеем исходное растровое изображение (рис. 3.19, а). Здесь нулями и единицами показаны значения поля в пикселях (прямоугольниках или квадратах). Единица в том или ином прямоугольнике говорит о том, что он описывает про-

пространственный объект. На рис. 3.19 приводится результат утоньшения линии и выделения каркасной линии (скелета). На рис. 3.19, в приведен векторный объект – результат от применения этих операций.

3.8. Модели поверхностей (геополей)

3.8.1. Общие положения

Определение 3.15. *Поверхность (геополе, рельеф)* – трехмерный объект (3D) – один из четырех основных типов пространственных объектов, определяемый не только плановыми координатами x , y , но и аппликатой z (значение геополя), т. е. определяемый тройкой координат.

Ранее мы рассматривали модели для следующих трех типов пространственных объектов: точки, линии и полигоны. Все эти три типа являются плоскими или планиметрическими объектами. Здесь же будем рассматривать поверхности, которые являются трехмерными или, как говорят за рубежом, 3D-объектами. Примерами поверхностей служат рельеф местности, распределение полей температур, осадков, геофизические поля (магнитные, электрические поля Земли и т. п.) и т. д. Все эти поверхности иногда называют общим термином – географические поля или геополя. Цифровые модели геополей и будут являться предметом дальнейшего рассмотрения.

Вообще с математической точки зрения размерность геополя равна 2: географические координаты x и y – это независимые параметры модели, а значения геополя z зависят от этих параметров как функция

$$z = f(x, y).$$

Однако в отличие от площадных объектов геополе невозможно «полностью» отобразить на плоскости, поэтому и в картографии, и в геоинформатике эти модели обычно показывают способом изолиний. Для того, чтобы отделить такие модели от моделей площадных объектов, придумали специальное название 2,5D цифровые модели, подчеркивая тем самым, что хотя модель в математическом плане и двумерна, отображена она может быть только в трехмерном пространстве. ГИС, позволяющие работать с такими моделями, называют соответственно 2,5D ГИС.

3.8.2. Цифровые модели геополей

Определение 3.16. *Цифровая модель геополя* – это способ цифрового описания пространственных объектов, имеющих непрерывный характер в трехмерном пространстве. Цифровая модель геополя подразумевает, что для каждой точки внутри области определения геополя можно однозначно определить значение геополя в этой точке.

Следует различать цифровые модели геополя и формы их визуального представления. Формы визуального представления геополя ориен-

тированы, в первую очередь, на **графическое** представление данных, а цифровые модели – на их **математическое** представление.

Для реальных явлений практически невозможно подобрать простое аналитическое описание геополя в виде функции $z = f(x, y)$. Поэтому в качестве цифровых моделей геополей применяются кусочно-составные поверхности. Чаще всего для этого используются модели, основанные на регулярной сети (grid-модели, сеточные функции), и модели, основанные на триангуляционной сети (TIN-модели).

3.8.2.1. Регулярная сеть

Определение 3.17. *Регулярная сеть* (grid) – это цифровая модель геополя, в основу которой положена сеть точек, каждой из которых сопоставлено значение геополя в этой точке. Причем точки (узлы) расположены в определенной регулярной форме, кроме того, задан способ вычисления значений геополя (далее значений геополя) между узлами сети.

Классификация регулярных сетей может проводиться по форме ячеек сети и по способу вычисления значения геополя между узлами сети. Рассмотрим это подробнее.

1. По форме ячеек сети. Различают сети с квадратными, прямоугольными и гексагональными (треугольными) ячейками. Однако на практике, в основном, используют регулярные сети с квадратной (рис. 3.20) и прямоугольной ячейками. Это обусловлено относительной простотой математического аппарата для оперирования такими данными и простотой алгоритмов их анализа.

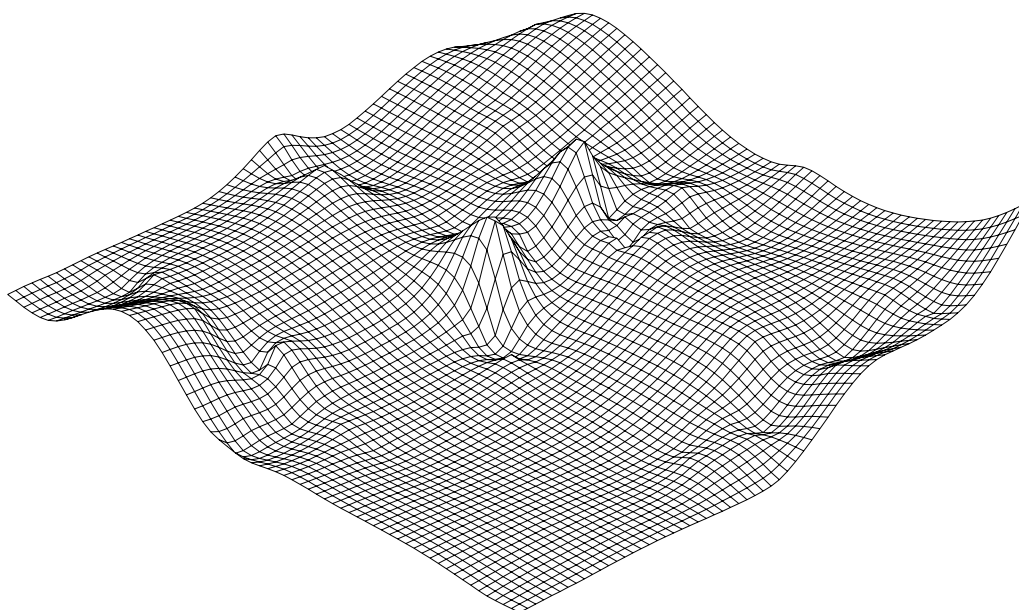


Рис. 3.20. Пример регулярной сети

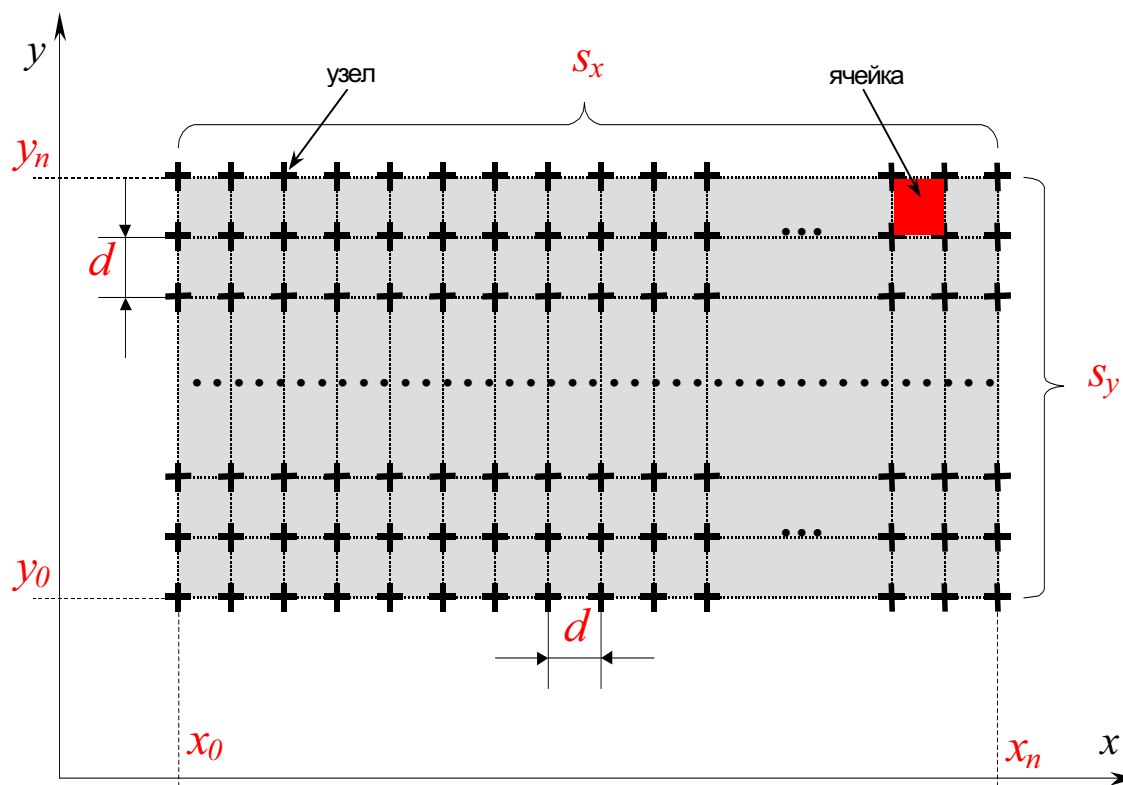


Рис. 3.21. Геометрия регулярной сети

На рис. 3.21 показаны параметры геометрии регулярной сети с квадратными ячейками, где

- x_0 – минимальное значение x -координаты сети;
- y_0 – минимальное значение y -координаты сети;
- x_n – максимальное значение x -координаты сети;
- y_n – максимальное значение y -координаты сети;
- s_x – число узлов по оси x (ширина);
- s_y – число узлов по оси y (высота);
- d – расстояние между узлами (шаг сети).

Фактически регулярная сеть представляет собой матрицу значений геополья, где каждая ячейка матрицы соответствует узлу регулярной сети.

2. По способу вычисления значений геополья между узлами сети. Наиболее часто встречаются следующие способы.

Способ ближайшего соседа. Это наиболее простой способ вычисления значения геополья между узлами сети. Значение геополья в точке приравнивается к значению геополья в ближайшем узле регулярной сети. Такие регулярные сети называют *ячейковыми*. В итоге поверхность представляет собой набор смежных горизонтальных участков.

Регулярные сети, в которых значение геополья в произвольной точке вычисляется на основе значений геополья в ближайших узлах сети, называют *решетчатыми*. Рассмотрим некоторые из них.

Билинейная интерполяция. Этот способ предполагает использование билинейной интерполяции для вычисления геопоя в искомой точке значениям геопоя в четырех ближайших узлах сети. В итоге поверхность представляет собой набор смежных билинейных поверхностей. Очевидно, что первая производная на границах ячеек будет иметь разрыв.

На рис. 3.22 показана схема вычисления значения геопоя в произвольной точке сети (рассмотрен случай сети с квадратной ячейкой), где

z_1, z_2, z_3 и z_4 – значения геопоя в четырех ближайших узлах;

z – значение геопоя в искомой точке;

d – шаг между узлами;

d_x, d_y – расстояния до узла № 1 по оси x и y соответственно.

$$z_5 = \frac{d_y(z_2 - z_1)}{d}, \quad z_6 = \frac{d_y(z_4 - z_3)}{d}, \quad z = \frac{d_x(z_6 - z_5)}{d}.$$

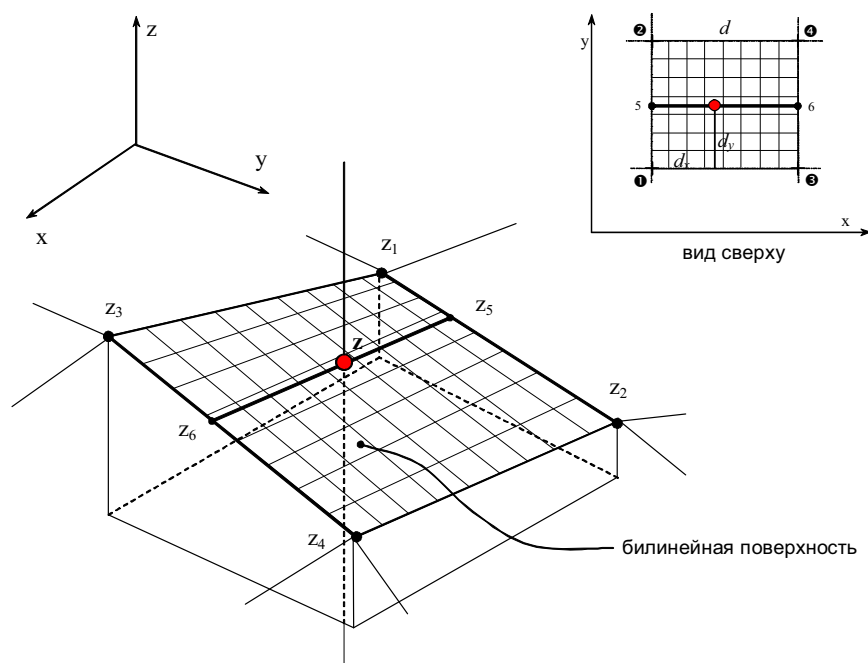


Рис. 3.22. Схема билинейной интерполяции

Сплайн-интерполяция. Этот способ также предполагает использование интерполяции. Но для построения локальной сплайн-поверхности необходимы значения геопоя уже не в 4, а в 16 ближайших узлах сети. Наиболее часто используют бикубические сплайны, прежде всего из-за их особых свойств. Такая поверхность будет иметь минимальную кривизну, а первая и вторая производные на границах ячеек будут непрерывные. Рассмотренный способ на практике встречается реже, чем способ билинейной интерполяции, так как, во-первых, с вычислительной точки зрения он уступает билинейной интерполяции, а, во-вторых, при уменьшении размеров

ячейки сети точность аппроксимации поверхности увеличивается незначительно. Кроме того, при использовании сплайнов возникает вопрос о том, как вычислять значения в граничных областях, где не всегда можно задействовать 16 ближайших узлов. Тем не менее, при большом шаге между узлами сети этот способ, по-видимому, является оптимальным как с вычислительной точки зрения, так и с точки зрения точности аппроксимации.

Возможны и другие способы вычисления значений геополя между узлами регулярной сети. Однако заметим, что не всякий базис при сплайн-интерполяции можно использовать. Например, сглаживающие поверхности Безье в качестве базиса не подходят, поскольку поверхность должна точно проходить через опорную регулярную сеть, что является обязательным условием.

Остановимся на вопросе точности аппроксимации исходной поверхности. Очевидно, что точность аппроксимации исходной поверхности, представленной регулярными сетями с различными способами вычисления значения геополя между узлами сети, будет различной. На рис. 3.23 показан пример такой аппроксимации поверхности (вид при вертикальном сечении).

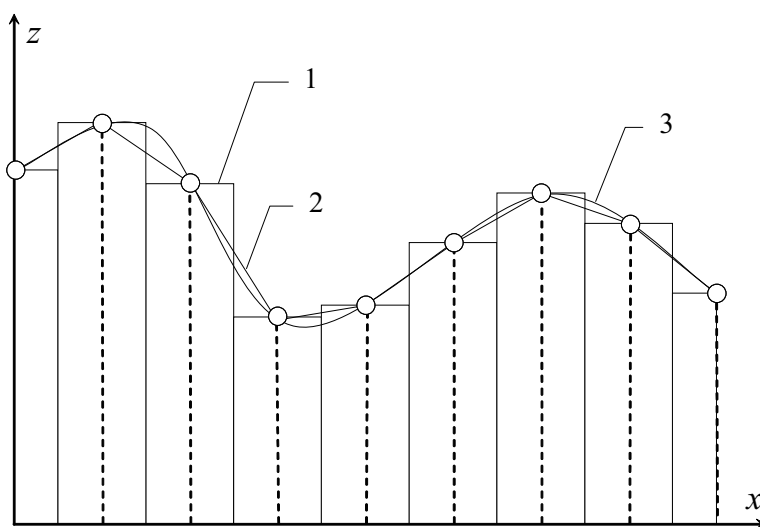


Рис. 3.23. Сравнение способов аппроксимации поверхности по точности

Можно показать, что точность аппроксимации эквивалентна точности методов интегрирования. Так на рис. 3.23 метод ближайшего соседа (1) соответствует методу прямоугольников, метод билинейной интерполяции (2) – методу трапеций, а метод сплайн-интерполяции (3) – методу парабол (методу Симпсона). Как известно, метод трапеций точнее метода прямоугольников, а метод парабол точнее метода трапеций. Таким образом, при одинаковом шаге сети из рассмотренных способов сплайн-интерполяция наиболее точно аппроксимирует исходную поверхность, а метод ближайшего соседа – наименее точно.

3.8.2.2. Триангуляционная сеть

Определение 3.18. Триангуляционная сеть (Triangulated Irregular Network, TIN) – цифровая модель геополя, в основу которой положена триангуляция.

Определение 3.19. Триангуляция – планарный граф, получающийся при соединении точек отрезками, такой, что нельзя добавить ни одного нового отрезка без нарушения планарности (т. е. без пересечения отрезками друг друга).

Одно и то же множество точек можно триангулировать разными способами. Для построения триангуляции наиболее часто используется критерий Делоне. Критерий Делоне предполагает, что описанная окружность треугольника не должна содержать в себе вершины других треугольников сети (рис. 3.24).

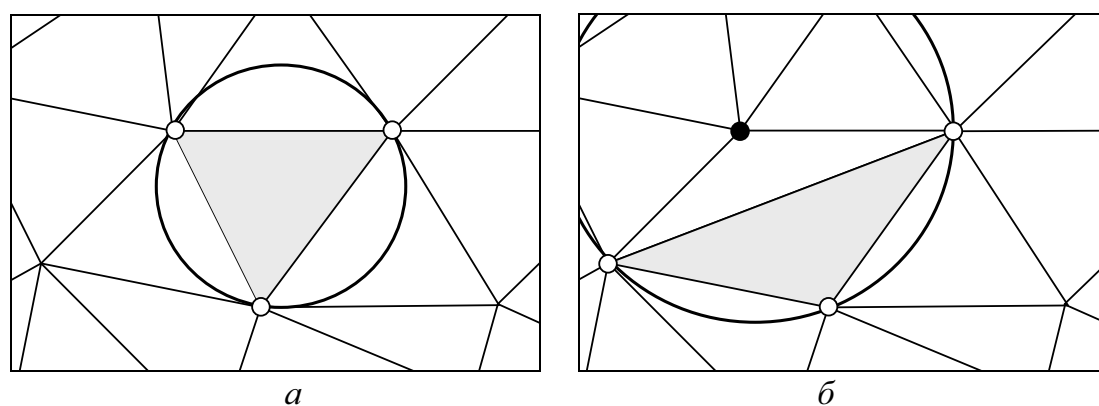


Рис. 3.24. Критерий Делоне

a – критерий выполнен, *б* – критерий не выполнен

Пример триангуляционной сети, построенной с использованием этого критерия, представлен на рис. 3.25.

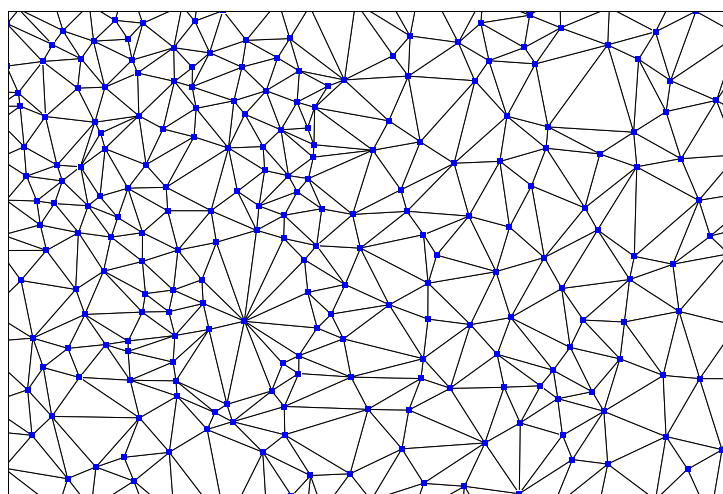


Рис. 3.25. Триангуляционная сеть

Как и в случае моделей, базирующихся на регулярной сети, в триангуляционных моделях значение геополя в произвольной точке можно вычислить по-разному. Рассмотрим такие способы подробно.

Ближайший сосед. Такой способ предполагает устанавливать значение геополя в произвольной точке равным значению геополя в ближайшем узле триангуляционной сети. В итоге поверхность представляет собой набор смежных горизонтальных участков. Проекция такой поверхности на плоскость XOY называется *диаграммой Вороного* (зоны влияния). Такие диаграммы рассмотрены подробнее в 0.

Линейная интерполяция. Метод линейной интерполяции предполагает вычисление значения геополя внутри каждого треугольника независимо от других треугольников сети. Три вершины любого треугольника сети составляют пространственный треугольник. Зная координаты точки, можно легко по уравнению плоскости вычислить значение геополя в искомой точке. Этот метод наиболее часто используется в триангуляционных сетях.

Сплайн-интерполяция. Метод сплайн-интерполяции также предполагает вычисление значения геополя внутри каждого треугольника. При этом обычно применяют бикубические сплайны, которые строятся отдельно для каждого треугольника сети. Далее, зная координаты точки, можно по уравнениям сплайнов вычислить значение геополя в искомой точке. Однако для построения сплайн-поверхности помимо опорных точек необходима дополнительная информация. Для «склейки» сплайнов на ребрах треугольников используют значения первых производных.

На практике для вычисления значения геополя внутри треугольника чаще всего используется линейная интерполяция. Это объясняется, во-первых, простотой анализа такой триангуляционной сети (по сравнению со случаями использования полиномов), во-вторых, тем, что сами триангуляционные модели, как правило, применяются в тех случаях, когда число исходных точек (n , следовательно, и треугольников сети) достаточно велико, что позволяет с приемлемым качеством аппроксимировать исходную поверхность. Однако использование полиномов позволяет существенно повысить как качество трехмерной визуализации триангуляционной сети, так и точность анализа поверхности.

3.8.2.3. Сравнение регулярных и триангуляционных сетей

Очевидно, что модель геополя должна позволять описывать его с максимальной точностью. При этом для работы с такой моделью использование оперативной памяти компьютера должно быть минимальным, а сама модель должна быть как можно менее избыточной. Кроме того, алгоритмы анализа модели должны быть по возможности простыми и эффективными.

Учитывая изложенное, проведем сравнение регулярных и триангуляционных сетей по следующим критериям: используемая оперативная память компьютера, точность аппроксимации исходной поверхности, избыточность модели, сложность анализа модели.

1. Используемая оперативная память компьютера.

При одинаковом числе узлов для хранения триангуляционной сети требуется в несколько раз больше памяти по сравнению с регулярной сетью. Это связано с тем, что узлы триангуляционной сети расположены, как правило, неравномерно. Поэтому возникает необходимость хранить координаты каждого узла (x, y, z) , а также информацию о топологии сети. Напомним, что для хранения регулярной сети достаточно хранить лишь матрицу значений геополя и геометрию сети. Координаты узлов можно легко вычислить, зная геометрию сети.

В то же время шаг регулярной сети, как правило, много меньше среднего расстояния между ближайшими исходными точками, что ведет к существенному увеличению занимаемой памяти. Таким образом, однозначно сказать, какая из моделей менее требовательна к памяти ЭВМ сложно – все зависит от параметров самой модели и требуемой степени детализации при описании геополя.

2. Точность аппроксимации исходной поверхности.

Триангуляционные сети по сравнению с регулярными сетями имеют одно большое достоинство. Как правило, исходные данные, необходимые для построения модели геополя, имеют нерегулярный характер. Кроме того, дополнительно могут использоваться особые линии: структурные линии, линии разломов и др. При создании триангуляционной сети все исходные данные не теряются, а включаются в модель, в то время как при создании регулярной сети эти данные в модель не включаются, что снижает точность аппроксимации поверхности.

С другой стороны, при создании регулярных сетей по нерегулярным исходным точкам возможно использование сложных детерминистических и геостатистических методов, позволяющих с высокой точностью рассчитывать значение геополя в точках, где измерения отсутствуют. Таким образом, с точки зрения возможности точного использования исходных данных триангуляционные модели предпочтительней, в то время как математический аппарат наиболее развит для регулярных моделей.

3. Избыточность модели.

Если плотность исходной сети точек соответствует сложности исследуемого явления, то триангуляционные модели, построенные по такой сети, описывают это явление без избыточности. Регулярные сети, напротив, описывают его с избыточностью. Ведь участки, в которых значение геополя не изменяется, в триангуляционной сети могут описы-

ваться одним или несколькими треугольниками, а в регулярной сети для этого потребуется намного большее число узлов.

4. Сложность анализа модели.

В настоящее время разработано большое число математических методов анализа регулярных сетей. Это связано с тем, что регулярная сеть, по сути, является матрицей, а алгоритмы обработки матриц хорошо известны и исследованы. Многие алгоритмы, применяемые для обработки изображений, легко применимы к анализу регулярных сетей. Напротив, алгоритмы для анализа триангуляционных сетей существенно сложнее, что затрудняет их использование.

Как видно, избыточность регулярных моделей приводит к дополнительным расходам оперативной памяти компьютера, однако это компенсируется относительной простотой анализа таких моделей. Напротив, анализ триангуляционных сетей существенно сложнее, но расходы оперативной памяти, как правило, меньше.

Триангуляционные сети наиболее популярны при моделировании рельефа местности. Это объясняется следующими причинами:

- как правило, исходные точки, на основе которых формируется триангуляционная сеть, снимаются в характерных точках рельефа (в точках локальных минимумов и максимумов, в точках перегиба поверхности, в седловых точках);
- при моделировании рельефа необходимо учитывать дополнительную информацию об обрывах, оврагах, выступах и т. п.: это легко сделать в рамках триангуляционной сети;
- число исходных точек может достигать нескольких миллионов, а триангуляционная сеть позволяет хранить данные без избыточности.

Регулярные модели наиболее популярны при моделировании геополей, общая картина о которых наблюдателю неизвестна. Такие модели применяются в геологии, геофизике, экологии и других областях, где объем исходных данных, используемых для моделирования, не так велик, а оперативное получение дополнительного значения геополя затруднительно или невозможно (например, может потребоваться бурение новой скважины или проведение дополнительных дорогостоящих геофизических исследований). Кроме того, использование большого числа математических методов позволяет формировать различные варианты таких моделей и оценивать их адекватность. Именно эти аргументы для многих исследователей при выборе модели геополя позволяют остановиться на регулярной модели геополя.

Существует модель, сочетающая в себе особенности регулярных и триангуляционных моделей – TGRID (triangulated grid). Такая модель позволяет использовать дополнительные данные для описания так называемых барьеров поверхности (breaks, barriers) при интерполяции ис-

ходных данных. Например, в качестве барьеров в случае модели рельефа местности могут выступать обрывы, скальные выступы и другие характерные формы рельефа.

3.9. Вопросы и задания для самопроверки

1. С чем суть принципа послойной организации данных?
2. Перечислите типы пространственных объектов, используемых в ГИС.
3. Чем отличаются регулярно-ячеистые модели данных от растровых моделей данных?
4. В чем отличие моделей пространственных данных от форматов представления этих данных?
5. Какие существуют варианты связи пространственных и атрибутивных данных?
6. Назовите основные характеристики растровых моделей пространственных данных.
7. Известный Интернет-ресурс Google Maps для хранения космоснимков использует квадротомическую модель пространственных данных. Как вы думаете, почему разработчики выбрали именно эту модель?
8. Чем отличаются векторные топологические и нетопологические модели?
9. Какие проблемы возникают при преобразовании растровых моделей в векторные?
10. Какая модель – регулярная или триангуляционная – лучше подходит для моделирования рельефа и почему?

Глава 4

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

Ниже излагаются принципы и методы визуализации пространственных данных, последовательно раскрываются особенности визуализации векторных и растровых данных, дается понятие тематических карт и описываются методы их создания в ГИС. Рассматривается проблема генерализации и способы ее решения в ГИС. Описываются способы визуализации геополей, такие как изолинии, изоконтур, трехмерная визуализация и др.

4.1. Общие принципы визуализации пространственных данных

Несомненным достоинством ГИС является возможность наглядного представления пространственных данных в виде карты. Рассмотрим, благодаря чему это достигается.

Главный принцип при визуализации пространственных данных в ГИС – использование *послойной организации* пространственных данных. При этом однотипные данные группируются в *слои*. Под однотипными данными можно понимать объекты, имеющие схожую семантику или объекты, имеющие одинаковую размерность или топологическую структуру. Так, на топографической карте можно выделить следующие слои: участки леса, гидросеть, населенные пункты, рельеф местности, автодороги, железные дороги и т. д.

Послойная организация пространственных данных имеет следующие достоинства:

- возможность изменять *видимость* слоев при визуализации карты;
- возможность изменять *порядок* слоев при визуализации карты;
- возможность независимой настройки параметров визуализации каждого слоя;
- возможность независимого пространственного *анализа* по слоям;
- возможность формирования карты из слоев различной степени детализации и происхождения.

Учитывая, что в ГИС могут использоваться как векторные, так и растровые модели данных, то при послойной организации данных полу-

чаются *векторные слои* и *растровые слои*. Причем одному растровому изображению соответствует растровый слой.

В некоторых ГИС схожие по атрибутам векторные слои или серию растровых слоев можно объединять в один так называемый *сшитый* слой. Такой слой для пользователя выглядит единым, хотя и сформирован из нескольких независимых. Подобная операция позволяет манипулировать серией слоев как единым целым.

Если число слоев в карте велико, то управлять ими достаточно сложно. Поэтому существуют ГИС, в которых можно формировать *группы слоев*. Например, в группу «Рельеф» могут входить следующие слои: горизонтали, отметки высот, овраги и др. При изменении видимости такой группы меняется видимость всех слоев, входящих в эту группу.

В современных ГИС на порядок слоев не накладывается никаких ограничений. Однако целесообразно придерживаться следующего порядка расположения слоев (снизу – вверх).

1. Растровые слои.
2. Слои с площадными объектами.
3. Слои с линейными объектами.
4. Слои с точечными объектами.
5. Слои с текстовыми объектами.

Такой порядок позволяет добиться видимости большинства объектов карты.

Визуализация пространственных данных в виде карты является для ГИС основным, но не единственным способом. Ниже описаны также особенности трехмерной визуализации пространственных данных. Рассмотрим эти способы подробнее.

4.2. Визуализация векторных данных

В современных ГИС встречается два альтернативных подхода к визуализации векторных данных. Первый подход предполагает *хранение графических свойств* объектов вместе с их геометрическими характеристиками (координатами). Такой подход также используется во всех векторных графических редакторах. Достоинством этого подхода является самодостаточность слоя: единожды сформировав графические стили объектов, можно не заботиться о правилах визуализации этого слоя. К его недостаткам следует отнести необходимость изменения графического стиля у всех объектов при изменении правила визуализации объектов. Так в ГИС MapInfo Professional данный подход является основным.

Во втором подходе графические свойства не являются самостоятельными свойствами объектов, а являются зависимыми, например, от значений атрибутов. В этом случае используется понятие *визуализа-*

тора данных – набора правил для визуализации данных на карте. Достоинством подхода является простота изменения правила визуализации, а недостатком – необходимость задавать правила визуализации при формировании новой карты. Многие универсальные ГИС, например, ArcView, используют данный подход для визуализации данных.

4.2.1. Условные знаки

Вспомним, что карта является моделью реального мира. На карте размещаются элементы, изображающие реальные объекты или явления. Основным элементом всех картографических изображений являются **условные знаки**, с помощью которых такие объекты или явления изображаются на карте. В картографии выделяет три основных типа условных знаков: точечные, линейные и площадные.

Точечными условными знаками на карте изображают объекты или явления, размеры которых в масштабе карты пренебрежимо малы. Размер условного знака выбирается не пропорционально размеру изображаемого объекта, а так, чтобы он хорошо воспринимался человеком.

Линейными условными знаками на карте изображают объекты или явления, существенно протяженные в масштабе карты, но имеющие пренебрежимо малую ширину.

Площадными условными знаками на карте изображают объекты или явления, существенно протяженные в масштабе карты. Каждый площадной условный знак на карте заполняет некоторую замкнутую область.

Для отображения объектов или явлений, которые не удается представить описанными условными знаками, используют *специальные условные знаки*. Кроме того, в картографии также применяют и *текстовые условные знаки*, используемые для представления текстовых подписей на карте.

4.2.2. Визуализация точечных объектов

Для визуализации точечных объектов используются следующие основные способы (рис. 4.1).

Простые фигуры. Это наиболее простой способ, реализованный во многих ГИС.

Векторные шрифты. Этот способ предполагает использование символов из векторных шрифтов (TrueType, OpenType, Type I). Такие шрифты легко и без потери качества масштабируются и отрисовываются средствами операционной системы. Поэтому такой способ визуализация точечных объектов есть почти во всех современных ГИС. В этом способе можно использовать эффекты тени, поворота символа, рамки, каймы и др. К недостаткам способа можно отнести сложность формирования собственного символа (для этого потребуется специальная программа) и монохромность символа.

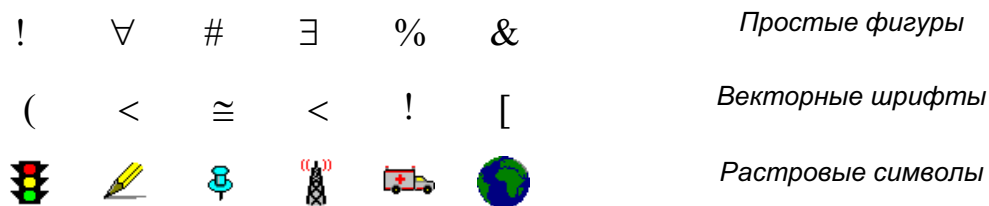


Рис. 4.1. Основные способы визуализации точечных объектов

Растровые символы. В этом способе точечные объекты визуализируются с помощью растровых символов. Как правило, такие символы являются растрами с небольшими размерами в пикселях – 32x32, 64x64, 128x128 и т. п. К достоинствам этого способа можно отнести возможность использования цветных символов и легкость создания новых. Недостатком способа является низкое качество символов при печати карты.

В некоторых ГИС имеется возможность использовать для визуализации точечных объектов *векторные символы*, хранящиеся в векторных файлах. Это могут быть как монохромные, так и полноцветные изображения. Обычно для этого используют форматы WMF или EMF. Для формирования новых символов необходимо использовать векторный графический редактор с возможностью сохранения изображения в указанных форматах.

Отметим, что при переносе карт на другой компьютер необходимо позаботиться о наличии таких же шрифтов или файлов с изображениями на другом компьютере.

4.2.3. Визуализация линейных объектов

Для визуализации линейных объектов используются следующие основные способы: сплошные, пунктирные и штрихпунктирные линии, линии с нанесенными точечными символами и др. (рис. 4.2). При настройке стиля линии можно задавать ее цвет и толщину.

4.2.4. Визуализация площадных объектов

При визуализации площадных объектов графический стиль имеет две компоненты: стиль границы и стиль заливки. Для визуализации границы площадного объекта используют те же способы, что и для визуализации линейных объектов. Для заливки (закраски) площадных объектов используются следующие основные способы.

Прозрачная заливка. Данный способ используется в тех случаях, когда необходимо показать лишь контур (границу) объекта или когда объект перекрывает другие объекты и это нежелательно (рис. 4.3, а).

Однородная сплошная заливка (рис. 4.3, б) является наиболее распространенным способом визуализации площадных объектов.

Заливка по шаблону (штриховка) предполагает мозаичное заполнение объекта некоторым шаблоном. Шаблон представляет собой не-

большой монохромный растр, для которого пользователь может задавать основной и фоновый цвета (рис. 4.3, в).

Градиентная заливка. Этот способ позволяет закрасить объект несколькими цветами, плавно переходящими друг в друга (рис. 4.3, г). Пользователь дополнительно может задавать направление градиентной заливки (горизонтальное, вертикальное, диагональное и др.), число основных цветов и другие параметры.

Текстурная заливка схожа с заливкой по шаблону, только вместо монохромного растра используется полноцветное изображение (рис. 4.3, д).

Векторная заливка также предполагает мозаичное заполнение объекта. Заполнение может производиться небольшими векторными элементами, точечными символами или векторными рисунками (рис. 4.3, е).

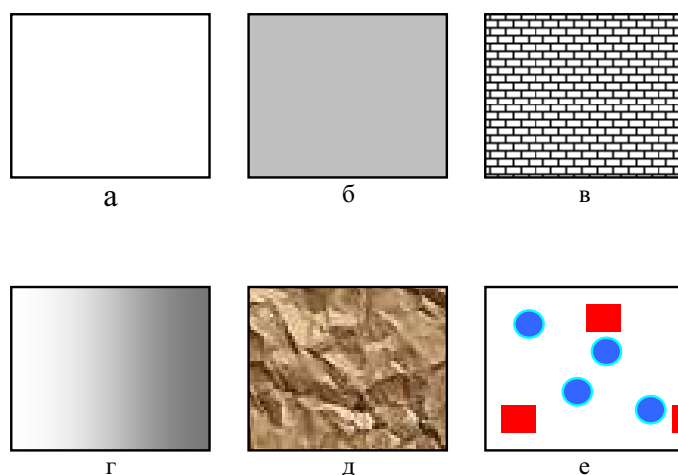


Рис. 4.3. Способы визуализации площадных объектов
а – прозрачная, б – однородная, в – по шаблону,
г – градиентная, д – текстурная, е – векторная

В большинстве ГИС используются *немасштабируемые* условные знаки. При изменении масштаба карты размер точечного объекта или ширина линейного объекта остается постоянной. В некоторых ГИС поддерживаются также *масштабируемые* условные знаки.

4.2.5. Визуализация текстовых объектов

Текстовые объекты предназначены для подписывания объектов карты. В современных ГИС используется два альтернативных подхода к подписыванию объектов. Первый из них предполагает формирование *вручную* независимых текстовых объектов. Как правило, все текстовые объекты карты размещают в одном слое. Если таких подписей много, формируют не один, а несколько текстовых слоев, что облегчает управление подписями. Достоинство данного подхода заключается в его универсальности и широких возможностях. Однако формировать такие

объекты приходится вручную: определять текстовое содержимое, географическое положение, стиль текста.

Во втором подходе ГИС *автоматически* создает подписи на основе какого-либо правила. Обычно текстовое содержимое подписи соответствует значению выбранного пользователем атрибута объекта, а географическое положение соответствует центру подписываемого объекта. Часто такие подписи являются *динамическими*. Это означает, что при изменении данных, на основе которых создана подпись, подпись также автоматически изменяется. Данный подход позволяет очень быстро подписать все объекты слоя, просто задав правило подписывания. В некоторых ГИС такие текстовые объекты не являются независимыми, а формируются системой «на лету» при показе карты.

Подписи бывают *масштабируемые* и *немасштабируемые*. В первом случае при изменении масштаба карты размер подписей также изменяется. Во втором случае размер подписей остается величиной постоянной. Для настройки стиля текстовых объектов используются: шрифт, размер шрифта, цвет шрифта, курсив, подчеркивание, разрядка и др.

4.3. Тематические карты

Определение 4.1. Тематические карты – это карты, созданные по определенной теме и предназначенные для демонстрации каких-либо объектов или явлений.

Геоинформационные системы позволяют достаточно быстро создавать тематические карты, используя определенный набор *автоматизированных* процедур. Такие процедуры позволяют на основе четко формализованных *правил* наглядно представить данные с помощью различных изобразительных приемов.

В ГИС под созданием тематической карты понимается процесс тематического выделения (оформления) какого-либо слоя с помощью определенного правила. В ГИС тематические карты могут быть выполнены двумя альтернативными способами.

1. *Формирование нового тематического слоя*. Этот способ предполагает создание дополнительно слоя, который содержит тематические объекты. Такой слой является особым и, как правило, *динамическим*. Последнее означает, что при изменении данных в исходном слое, тематический слой автоматически обновляется. Достоинством способа является возможность эффективно управлять таким слоем, например, изменять его видимость. Кроме того, для одного исходного слоя можно сформировать несколько тематических слоев, отражающих разные явления. Данный способ создания тематических карт используется в MapInfo Professional.

2. *Тематическое выделение слоя.* В данном способе задается правило визуализации объектов слоя. В п. 4.2. было сказано о двух альтернативных подходах к визуализации векторных данных. Тематическое выделение слоя предполагает использование второго подхода – визуализатора данных. Таким образом, объекты слоя либо визуализируются единообразно, либо тематически.

4.3.1. Понятие тематической переменной

Правило визуализации тематических данных обязательно включает в себя указание источника этих данных. Это может быть какой-либо атрибут или вычисляемое выражение по одному или нескольким атрибутам.

Определение 4.2. Тематическая переменная – переменная, используемая в процедуре тематического выделения объектов слоя. Для каждого объекта принимает значение, равное значению соответствующей записи в определенном поле или значению, полученному вычислением значений полей из этой записи.

Рассмотрим основные методы (тематические визуализаторы), используемые для создания тематических карт.

4.3.2. Метод диапазонов

В методе диапазонов используется одна тематическая переменная числового типа. Суть метода заключается в следующем. Интервал значений тематической переменной разбивается на *диапазоны*, число которых может настраивать пользователь. Каждому диапазону назначается свой уникальный графический стиль. В итоге объекты, попавшие в один диапазон, на карте визуализируются стилем этого диапазона.

Разбиение на диапазоны можно выполнять по-разному. В большинстве ГИС поддерживаются следующие способы:

Равные диапазоны – ширина всех диапазонов одинаковая. Например, 1–100, 101–200, 201–300 и т. д.

Равное количество объектов – ширина диапазонов вычисляется таким образом, чтобы число объектов, попавших в каждый диапазон, было приблизительно одинаковым.

Равная площадь объектов – ширина диапазонов вычисляется таким образом, чтобы суммарная площадь объектов, попавших в каждый диапазон, была приблизительно одинаковой.

Диапазоны, заданные пользователем – ширина каждого диапазона задается пользователем.

Кроме этих способов встречаются и другие, основанные, например, на квантовании, дисперсии данных и т. п.

Существуют различные способы формирования графических стилей диапазонов. Наиболее часто используется градиентный способ. В этих способах ГИС может автоматически рассчитывать для каждого диапазона:

- *цвет* на основе выбранной пользователем цветовой схемы (рис. 4.4);
- *штриховку*;
- *ширину линии*;
- *размер символа* (рис. 4.5);
- *поворот символа*.

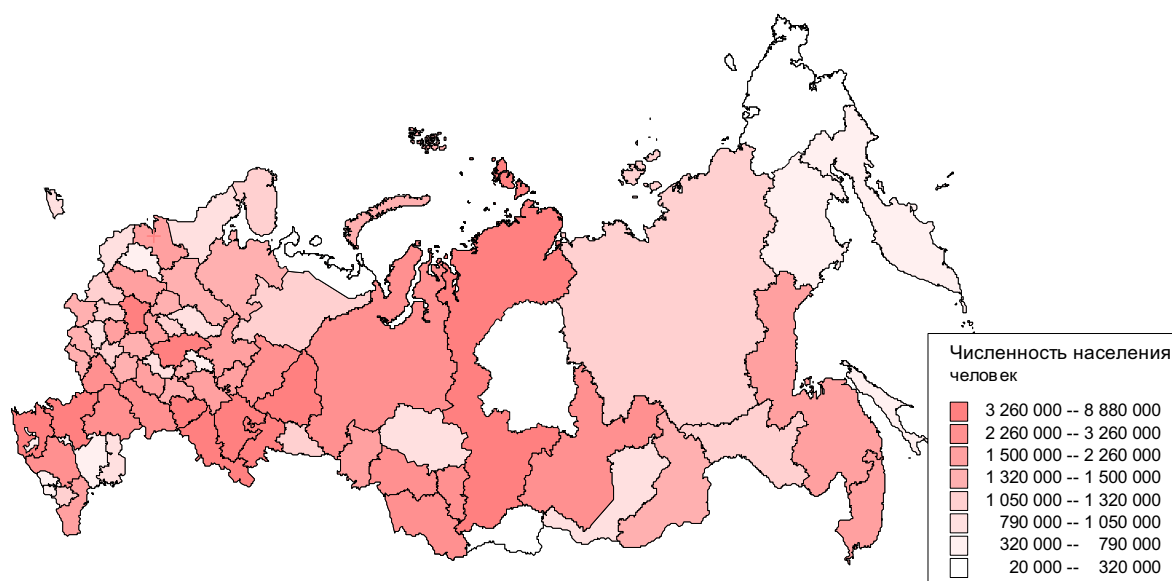


Рис. 4.4. Тематическая карта, построенная методом диапазонов для слоя с площадными объектами

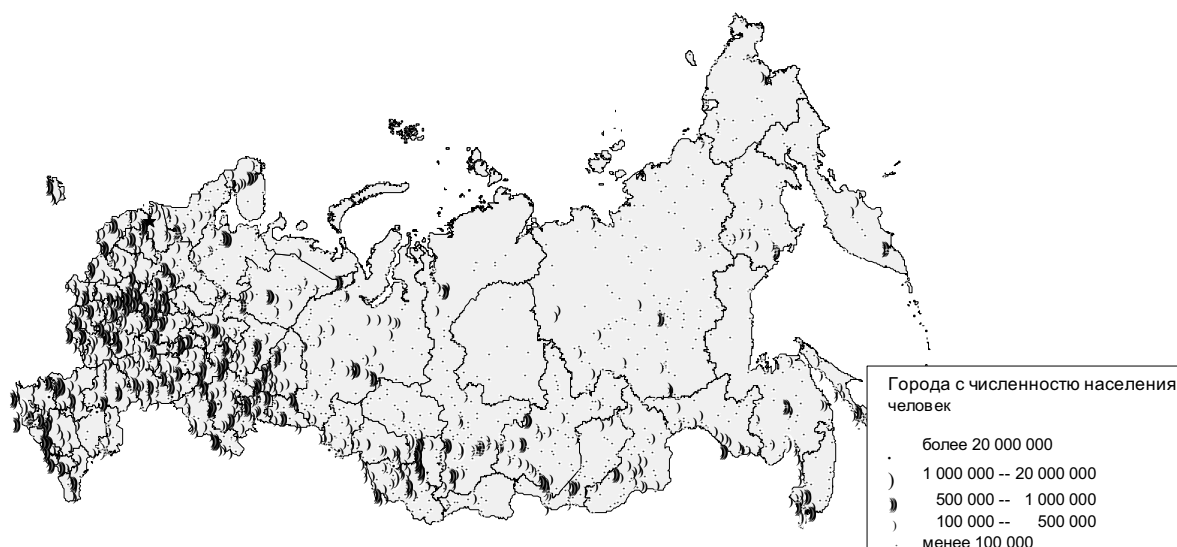


Рис. 4.5. Тематическая карта, построенная методом диапазонов для слоя с точечными объектами

Если метод диапазонов применяется к слою с площадными объектами, то такая карта называется *картограммой*.

Метод диапазонов может применяться не только к слоям с площадными объектами, но к слоям с линейными или точечными объектами. Для слоя с линейными объектами можно использовать расчет цвета и ширины линий, а для слоя с точечными объектами цвет, размер символа или поворот символа.

4.3.3. Метод диаграмм

В методе диаграмм используется две и более тематических переменных числового типа. Метод предполагает построение диаграмм около каждого объекта слоя (обычно центр диаграммы совпадает с центроидом объекта). Наиболее часто используются столбчатые и круговые диаграммы, также называемые *картодиаграммами*.

В *столбчатой диаграмме* (рис. 4.6) каждый столбец соответствует одной тематической переменной, а его высота пропорциональна значению тематической переменной для данного объекта (как правило, используются линейная, квадратичная и логарифмическая зависимости). Дополнительно пользователь может настраивать графические стили столбцов, их ширину, ориентацию и др.

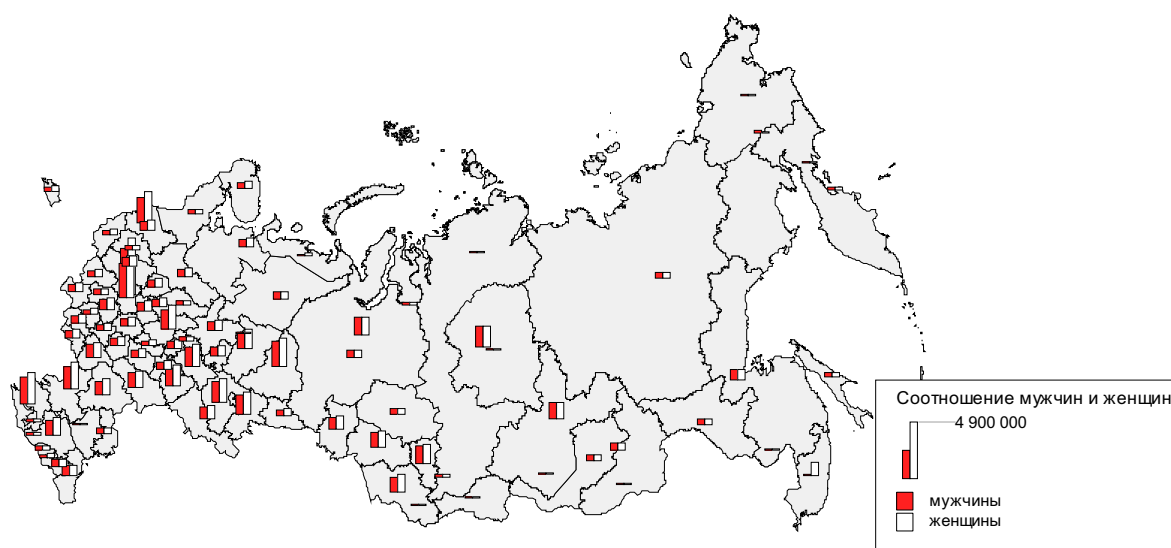


Рис. 4.6. Тематическая карта, построенная методом столбчатых диаграмм

В *круговой диаграмме* (рис. 4.7) каждый сектор соответствует одной тематической переменной, а его угол пропорционален значению тематической переменной для данного объекта. Круговые диаграммы бывают двух типов: с фиксированным радиусом и с переменным. В последнем случае радиус может вычисляться пропорционально сумме значений все секторов диаграммы или пропорционально дополнитель-

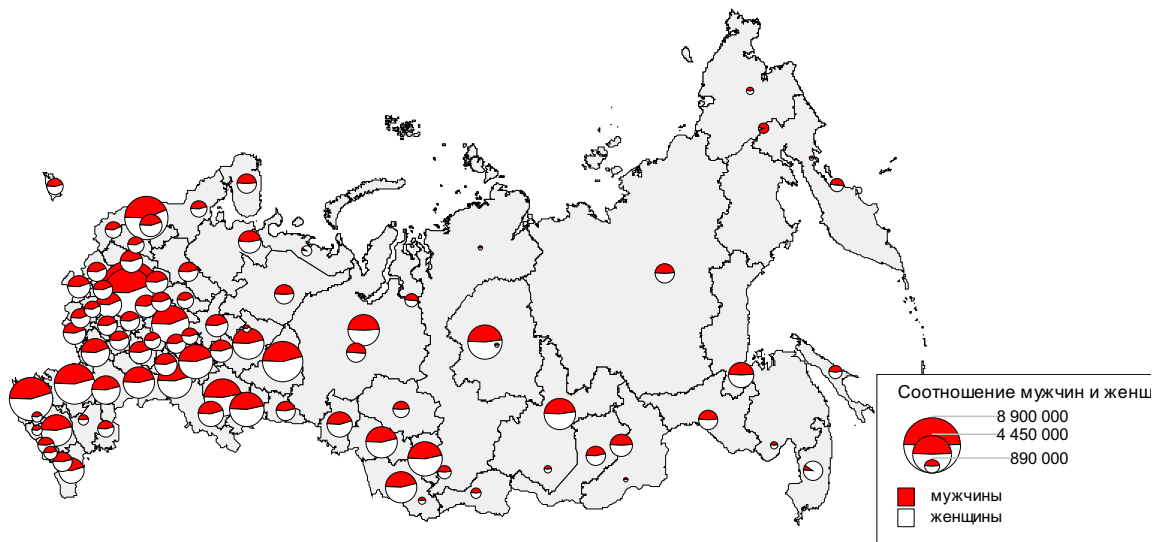


Рис. 4.7. Тематическая карта, построенная методом круговых диаграмм
 ной тематической переменной. Обычно дополнительно пользователь может настраивать графические стили секторов, их ориентацию и др.

4.3.4. Метод размерных символов

В методе размерных символов используется одна тематическая переменная числового типа. Метод предполагает формирование точечного символа, размер которого пропорционален значению тематической переменной для данного объекта (как правило, используются линейная, квадратичная и логарифмическая зависимости). Пользователь может задавать правила такой пропорции и используемый тип символа.



Рис. 4.8. Тематическая карта, построенная методом размерных символов

Данный метод похож на метод диапазонов в случае точечных объектов, когда каждому диапазону соответствует символ определенного размера. Однако в методе диапазонов два объекта, имеющие различные значения тематической переменной, но попадающие в один диапазон, на карте будут показаны одинаковым символом. В методе размерных символов такие объекты будут иметь разный все же размер.

4.3.5. Метод плотности точек

В методе плотности точек используется одна тематическая переменная числового типа. Суть метода заключается в следующем. Каждый площадной объект случайно и равномерно покрывается сетью точек, причем число этих точек пропорционально значению тематической переменной для данного объекта (рис. 4.9). Очевидно, что этот метод применим только для слоев с площадными объектами. Обычно пользователь может задавать правила такой пропорции и используемый тип точки.

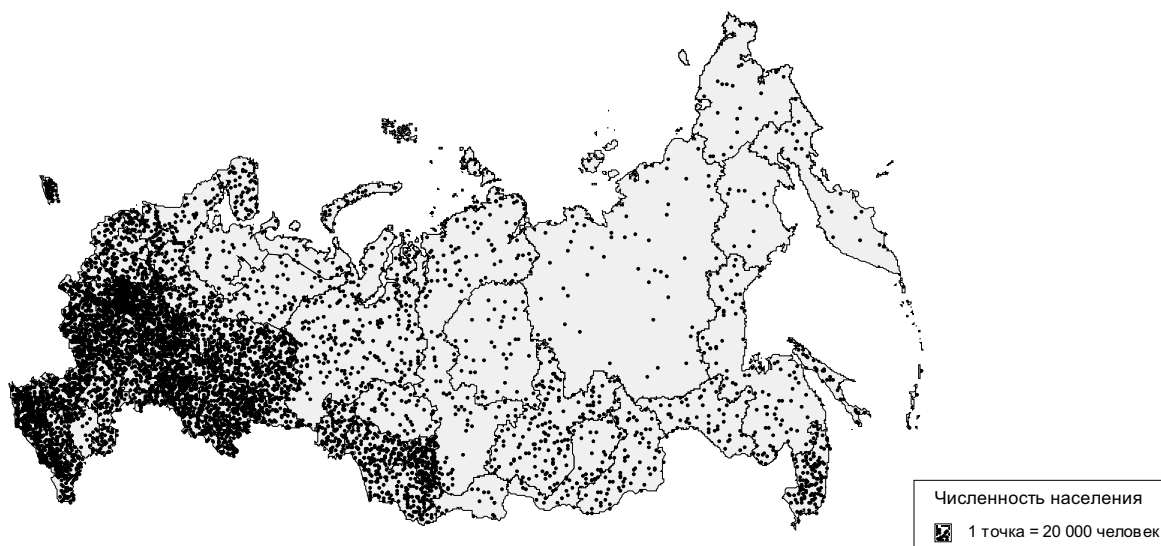


Рис. 4.9. Тематическая карта, построенная методом плотности точек

4.3.6. Метод индивидуальных значений

В методе индивидуальных значений точек используется одна тематическая переменная, произвольного типа. Здесь каждому уникальному значению тематической переменной соответствует группа, имеющая уникальный графический стиль. Такой метод используют для группировки объектов по категориям (рис. 4.10).

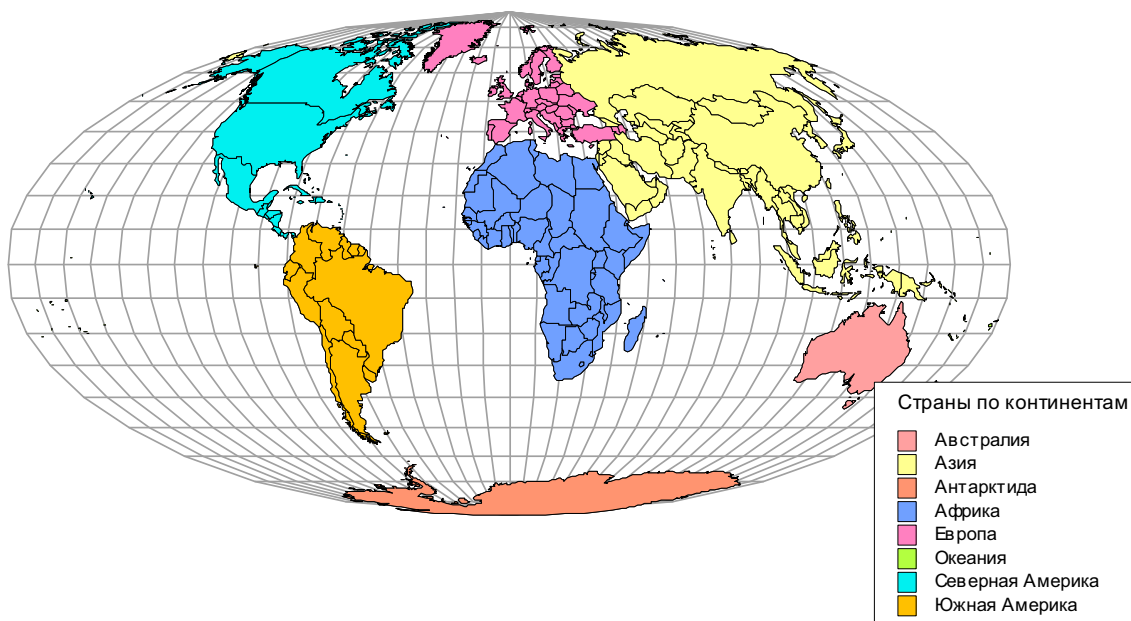


Рис. 4.10. Тематическая карта, построенная методом индивидуальных значений

4.4. Визуализация растровых данных

В ГИС для визуализация растровых данных также используется принцип послойной организации карты. При этом каждое изображение будет представлено в виде отдельного слоя. В современных ГИС как векторных, так и растровых в карте могут быть одновременно показаны и векторные, и растровые слои.

Учитывая, что карта может быть показана в различных проекциях, важно чтобы в ГИС был предусмотрен механизм *перепроецирования* растровых слоев. Если перепроецирование векторных слоев реализуется относительно легко, то перепроецирование растровых слоев более сложная задача. На практике для этого обычно используют алгоритмы ближайшего соседа и кубическую свертку. Задача перепроецирования особенно актуальна при совмещении векторных данных и данных дистанционного зондирования Земли, например, космоснимков.

Растровые данные имеют различное происхождение. Это может быть отсканированное изображение бумажной карты, используемое в качестве подложки карты, аэро- или космоснимок. В последнем случае изображение может быть сделано не в оптическом диапазоне, а, например, в инфракрасном или быть многоканальным, что требует особых способов его визуализации.

1. Визуализация полноцветных и черно-белых изображений выполняется обычно «один к одному». При этом обычно пользователь может настраивать яркость, контрастность, баланс цветов и степень

прозрачности растра. Последнее позволяет размещать растровые слои над векторными и при этом не перекрывать их полностью.

2. Для визуализации многоканальных растровых данных наиболее часто используется так называемая **RGB-композиция**. Каждый канал композиции соответствует одному из каналов многоканального изображения. Однако если каналов больше трех, то канал композиции может соответствовать нескольким каналам исходного изображения, объединенных определенным правилом.
3. Для одноканального изображения применяют *визуализацию по уникальным значениям*, суть которой схожа с методом индивидуальных значений, используемого для построения тематических карт. Данный способ предполагает использование специальной таблицы соответствия уникального значения пикселя и его цвета при визуализации, называемой **палитрой**. В ГИС также применяют *визуализацию по диапазонам значений*, суть которой схожа с методом диапазонов, используемого для построения тематических карт.

Большинство современных ГИС поддерживает как широко известные растровые форматы GIF, JPEG, TIFF, BMP и др., так и форматы спутниковых снимков, например формат BIL (SPOT).

4.5. Проблема генерализации

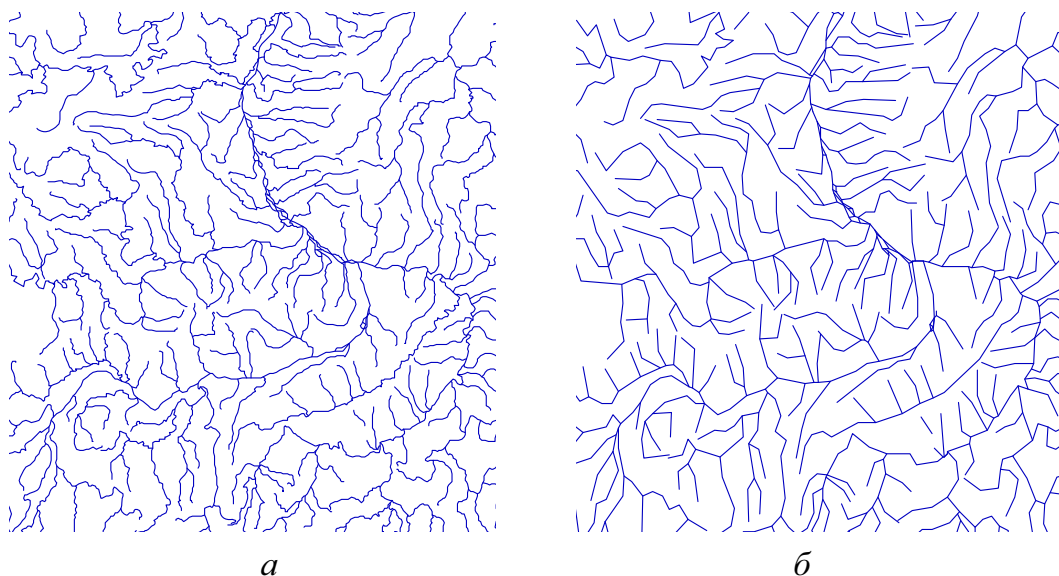
В ГИС карту, в отличие от ее бумажного варианта, можно визуализировать с различным масштабом. Однако при уменьшении масштаба часто возникает проблема с перегруженностью карты. Под **генерализацией** понимается процесс, позволяющий выявить главные элементы карты, которые будут перенесены на карту меньшего масштаба, а остальные будут удалены.

Несмотря на наличие определенных методик, сформированные еще в эпоху бумажной картографии, задача генерализации является достаточно слабо формализованной и субъективной, требующей творческого подхода. Тем не менее, в ГИС существуют определенные методы и процедуры, позволяющие автоматизировать отдельные этапы этой задачи.

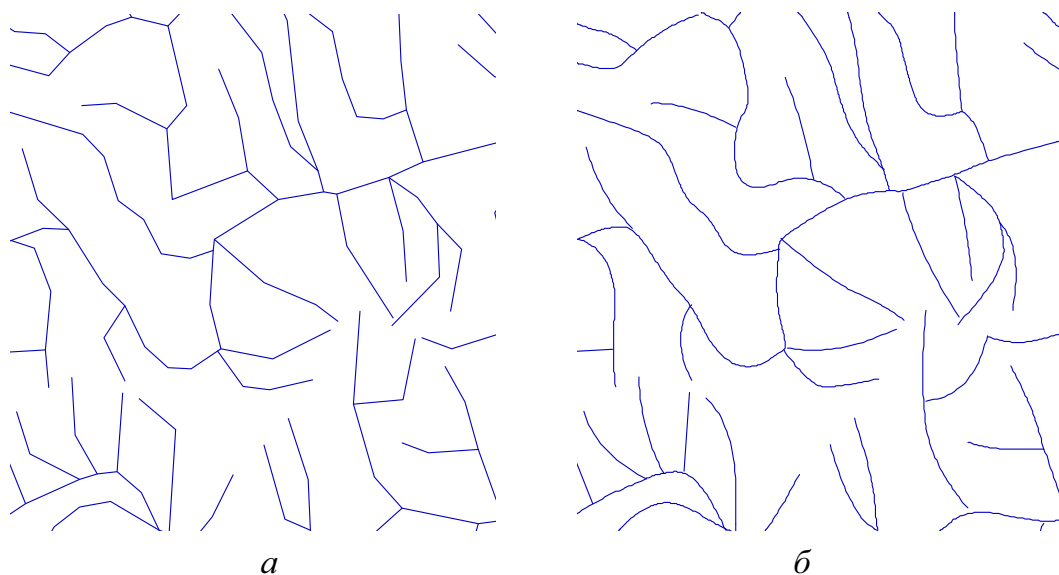
Одним из первых решений, реализованных в ГИС, стало использование так называемого **масштабного эффекта**. Суть решения достаточно проста: для слоя задаются диапазоны масштаба карты, в пределах которого слой является видимым. При выходе за пределы диапазоны объекты слоя не визуализируются. Очевидно, что использование масштабного эффекта может решить задачу генерализации лишь отчасти.

Существуют и другие решения данной задачи. Как правило, они представлены в ГИС виде отдельных операций. Рассмотрим наиболее часто используемые из них.

1. *Удаление мелких объектов.* Данная операция позволяет удалить объекты, площадь и/или линейные размеры которых меньше заданной величины.
2. *Упрощение объектов.* Эта операция позволяет упростить форму линейных или площадных объектов за счет удаления почти совпадающих узловых точек или почти лежащих на одной прямой. При этом обычно задается максимальное расстояние между точками и максимальное отклонение от прямой линии, соединяющей соседние точки. На рис. 4.11 показан пример карты гидросети до операции (а), и после нее (б).



*Рис. 4.11. Пример упрощения карты гидросети
а – до операции, б – после операции*



*Рис. 4.12. Пример сглаживания карты гидросети
а – до операции, б – после операции*

3. *Сглаживание объектов.* Эта операция позволяет сгладить форму линейных или площадных объектов за счет применения методов аппроксимации. На рис. 4.12 показан пример карты гидросети до операции (а), и после нее (б).
4. *Объединение близко расположенных объектов.* При выполнении данной операции объекты, расстояние между которыми меньше заданной величины будут объединены.
5. *Снижение размерности.* Как правило, эта операция заменяет площадные объекты, имеющие площадь меньше заданной на точечные объекты, или имеющие линейные размеры вдоль некоторого направления на линейные объекты.
6. *Оконтуривание групп объектов.* Данная процедура позволяет заменить группу близко расположенных объектов одним площадным объектом.

4.6. Визуализация геополей

Рассмотрим наиболее часто используемые способы визуального представления геополей.

1. Способ изолиний (изоконтуров).

Определение 4.3. Изолиния – линия равного значения какой-либо величины на географической карте, вертикальном разрезе или графике.

На географической карте изолинии представляют собой проекцию горизонтальных сечений геополя (горизонтали). Как правило, такие сечения проводятся с равным шагом значений геополя (рис. 4.13, а)

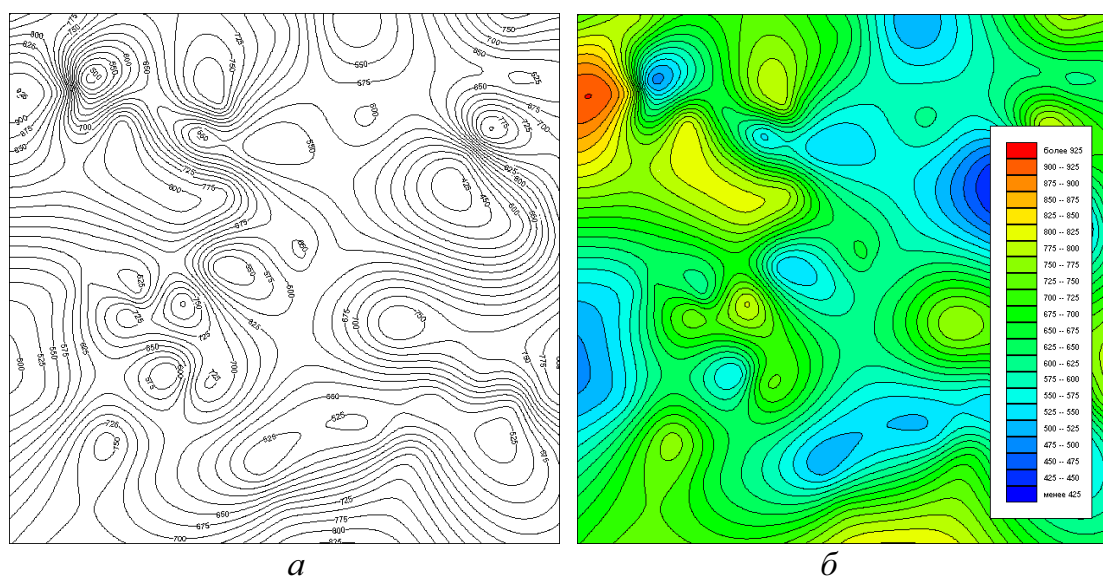


Рис. 4.13. Способы визуального представление геополя
а – изолинии, б – изоконтурами

Определение 4.4. Шаг изолиний – разница значений геополя двух соседних изолиний.

Разновидностью изолинейного способа является представление геополей в виде изоконтуров (рис. 4.13, б) При этом область определения геополя разделяется на дискретный набор зон, где каждая зона является изоконтуром.

Определение 4.5. Изоконтур – это область, ограниченная двумя соседними изолиниями, а также границей исследуемой области.

2. Градиентный (растровый) способ.

Для визуализации геополей также используют градиентный способ (рис. 4.14). Суть его заключается в представлении геополя в виде растра, где каждому пикселю задается цвет, зависящий от значения геополя в этой точке.

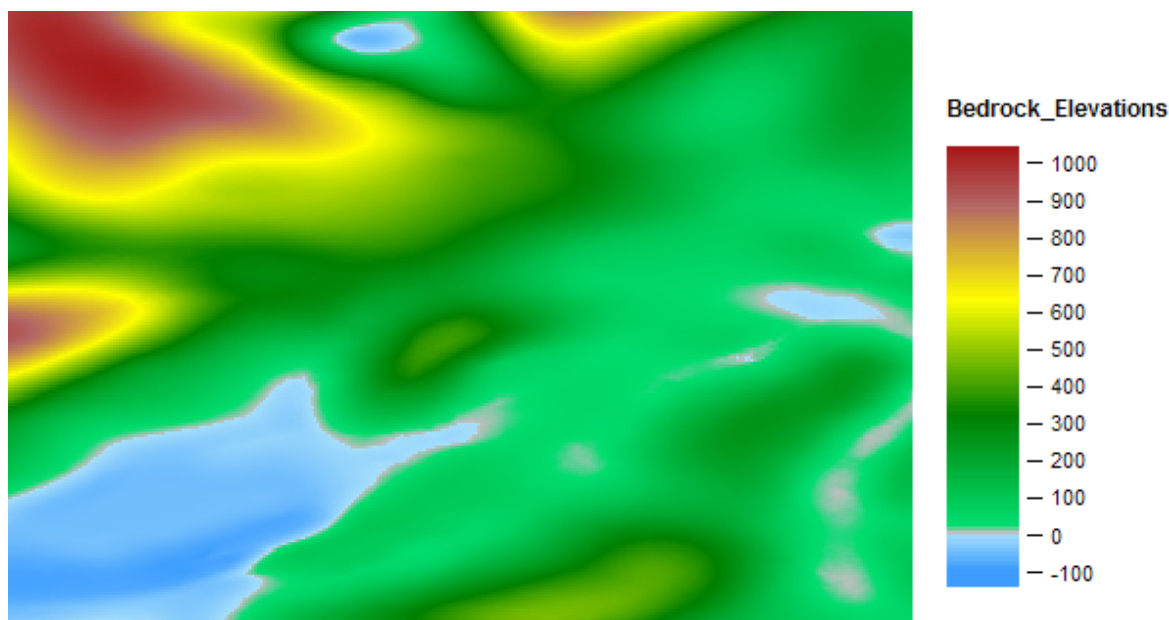


Рис. 4.14. Градиентный способ визуализации геополей

3. Способ на основе карт освещенности.

Карты освещенности (теневые рельефы, отмывка рельефа) представляют собой растры, где яркость каждого пикселя зависит от величины освещенности данного участка геополя. При этом геополе рассматривается как рельеф местности, освещаемый точечным источником света. Как правило, используют упрощенную модель расчета освещенности, заключающуюся в том, что освещенность каждой точки геополя вычисляется только в зависимости от положения этой точки относительно источника освещения. Карты освещенности хорошо совмещаются с градиентным способом (рис. 4.15).

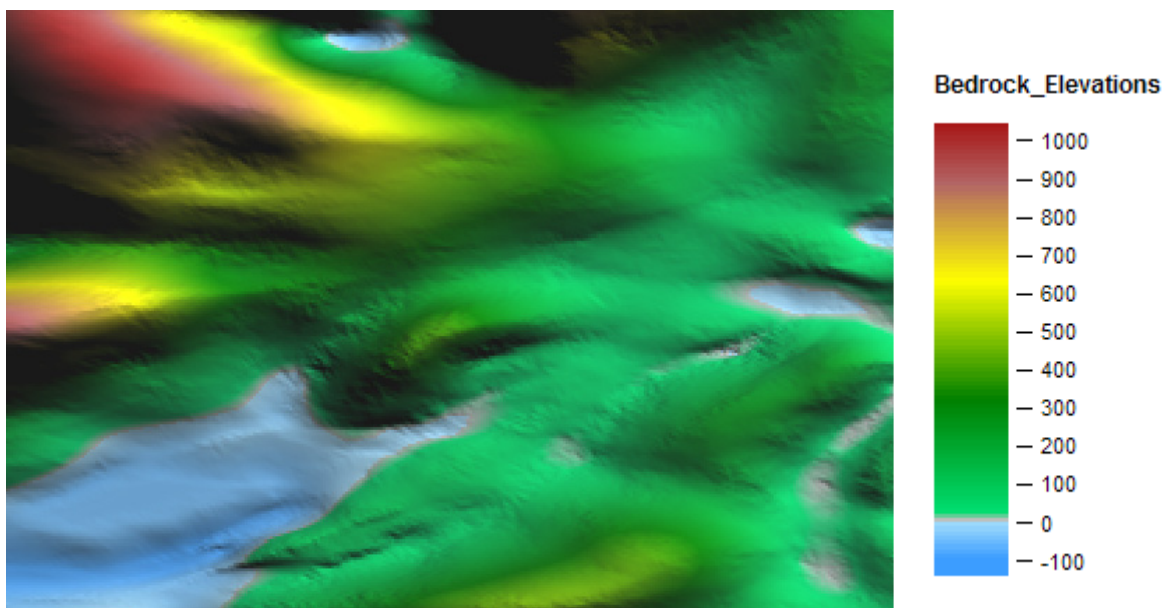


Рис. 4.15. Визуализации геополей в виде отмывки рельефа

4. Трехмерная визуализация.

Трехмерная визуализация как способ визуализации геополей особенно актуальна для визуализации цифровых моделей рельефа местности. Использование современных средств машинной графики позволяет выполнять интерактивную трехмерную визуализацию геополей в реальном времени (рис. 4.16). Возможны варианты каркасной и сплошной визуализации геополей. Данный способ позволяет эффективно исследовать геометрию поверхности с любых позиций для наблюдения, выявлять характерные участки геополя зрительно, даже без привлечения аналитических функций.

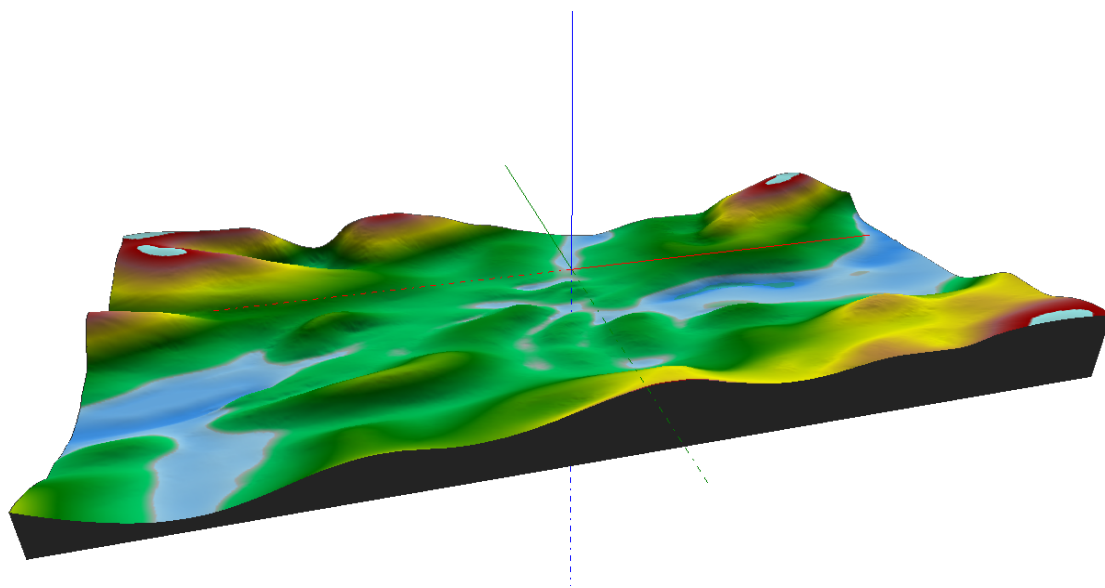


Рис. 4.16. Трехмерная визуализации геополей

4.7. Вопросы и задания для самопроверки

1. Какие преимущества дает послойная организация пространственных данных при их визуализации?
2. Назовите механизмы группировки слоев.
3. Какой рекомендуется порядок слоев при создании карты?
4. В чем принципиальная разница в визуализации векторных данных в MapInfo Professional и ArcView?
5. Как вы думаете, какие основные сложности могут возникнуть с графическими стилями объектов при переносе данных из одной ГИС в другую?
6. Можно ли считать карту тематической, если она сделана без использования автоматизированных средств тематического выделения?
7. Какие основные сложности возникают при визуализации растровых данных?
8. Назовите основные средства автоматизированного решения задачи генерализации.
9. В чем преимущество трехмерной визуализации пространственных данных?

Глава 5

ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ В ГИС

Рассматриваются особенности пространственного анализа данных в ГИС: описываются типовые измерительные операции, раскрывается суть пространственных отношений, являющихся основой для выполнения пространственных запросов в ГИС. Рассматриваются оверлейные и другие операции, позволяющие решать задачи пространственного анализа данных.

5.1. Измерительные операции

Под *измерительными операциями* будем понимать операции, позволяющие определять различные пространственные характеристики объектов по карте. Рассмотрим основные измерительные операции, присущие большинству ГИС.

Определение координат точки на карте. Эта измерительная операция позволяет определить координаты указанной курсором точки. Как правило, значения координат показываются в строке состояния (или иной области) ГИС при перемещении курсора. При этом координаты обычно показываются в исходных координатах объектов. Однако в некоторых ГИС пользователь может задать иную картографическую проекцию и ГИС будет «на лету» пересчитывать координаты курсора в указанную проекцию. Для выполнения этой измерительной операции обычно нет необходимости выбирать какой-либо инструмент или задавать специальный режим работы ГИС. Напротив, эта функция всегда доступна и активна.

Измерение расстояний. Эта измерительная операция предназначена для вычисления расстояния между двумя точками карты или расстояние вдоль произвольной ломаной линии. В последнем случае вычисляется не только длина последнего сегмента ломаной, но и ее общая длина. Как правило, вычисления производятся в текущих единицах измерения расстояний (например, в километрах), которые можно изменять. Для выполнения этой измерительной операции обычно необходимо активировать данный режим, выбрав соответствующий инструмент. В некоторых ГИС вычисление расстояний автоматически выполняется при операциях создания (рисования) нового линейного объекта, что позволяет интерактивно оценивать длину этого объекта. Данная операция может быть исполь-

зована, например, для определения протяженности планируемого маршрута экспедиции, длины строящегося газопровода и др.

Измерение площадей и периметров. Эта измерительная операция позволяет вычислить *площадь и периметр* некоторого полигона (многоугольника), заданного пользователем. Как и при вычислении расстояний, вычисления площадей и периметров производятся в текущих единицах измерения площадей, которые можно изменять. Для выполнения этой измерительной операции также обычно необходимо активировать данный режим, выбрав соответствующий инструмент. Данная операция может быть использована, например, для определения площади лесного пожара, когда пользователь очертил его границу и др.

Отметим, что в некоторых ГИС измерение расстояний, площадей и периметров можно выполнять с учетом особенностей земной поверхности. Делается это двумя способами.

Первый способ измерения – *по поверхности референц-эллипсоида*. При этом все его параметры уже содержатся в выбранной картографической проекции и пользователю необходимо лишь указать, что вычисления необходимо производить не на плоскости карты, а на поверхности референц-эллипсоида. Очевидно, что такой подход позволяет вычислять пространственные характеристики объектов более точно, чем при вычислениях на плоскости. Особенно это актуально для больших территорий, где кривизна поверхности Земли приводит к значительным искажениям при проецировании. При работе с декартовыми координатными системами необходимости вычисления на эллипсоиде нет.

Второй способ измерения – *по рельефу местности*. Учет рельефа местности, представленного подходящей цифровой моделью позволяет еще более точно вычислить пространственные характеристики объектов. В п. 5.10. это будет рассмотрено подробнее.

5.2. Анализ отношений пространственных объектов

Ключевыми отношениями при анализе отношений являются *бинарные отношения*. С использованием этих отношений анализируются отношения двух пространственных объектов, причем эти объекты могут быть разных типов: точечные, линейные и площадные. При выявлении бинарного отношения необходимо ответить на вопрос: находятся ли два объекта в заданном отношении? Именно на основе бинарных отношений строятся пространственные запросы, являющиеся основным механизмом пространственного анализа данных в ГИС. Рассмотрим основные бинарные отношения.

Отношение «*Совпадает*». Два объекта находятся в этом отношении, если все узловые вершины объекта А совпадают с узловыми вершинами объекта В.

Отношение «Содержит в себе». Два объекта находятся в этом отношении, если объект А содержит в себе объект В, т. е. границы объекта В полностью находятся внутри границ объекта А (рис. 5.1). Очевидно, это отношение может быть применено только к объектам равной размерности (о размерности объектов см. п. 3.1).

В некоторых ГИС это отношение бывает представлено двумя вариантами. Первый вариант имеет такое же название, однако производится сравнение объекта А не самим объектом В, а с его центроидом. Такой подход позволяет выполнять анализ существенно быстрее, однако он не гарантирует полной точности. Второй вариант обычно называется «Полностью содержит в себе». В этом случае сравнение объекта А производится с самим объектом В.

Содержит в себе		Объект А		
		Точечный	Линейный	Площадной
Объект В	Точечный			
	Линейный	Не определено		
	Площадной	Не определено	Не определено	

Рис. 5.1. Отношение «Содержит в себе»

Отношение «Содержится в». Два объекта находятся в этом отношении, если объект А содержится внутри объекта В, т. е. границы объекта В полностью находятся внутри границ объекта А (рис. 5.2). Это отношение является обратным к отношению «Содержит в себе». В некоторых ГИС это отношение также бывает представлено двумя вариантами. Первый вариант имеет такое же название, однако при анализе используется не сам объект А, а его центроид. Второй вариант обычно называется «Полностью содержится в».

Отношение «Граничит с». Два объекта находятся в этом отношении, если они соприкасаются только своими границами, но не своими внутренними областями (рис. 5.3).

Отношение «Пересекается с». Два объекта находятся в этом отношении, если они имеют хотя бы одну общую точку (рис. 5.4). Легко показать, что если объекты находятся в отношениях «Содержит в себе», «Содержится в» или «Граничит с», то они также находятся в отношении «Пересекается с».


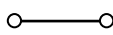
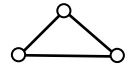






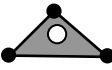
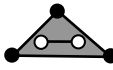

Содержится в		Объект А		
		Точечный 	Линейный 	Площадной 
Объект В	Точечный 		Не определено	Не определено
	Линейный 			Не определено
	Площадной 			

Рис. 5.2. Отношение «Содержится в»


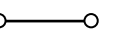
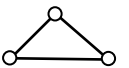


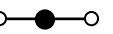
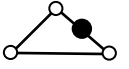

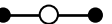
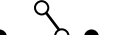
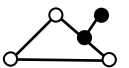


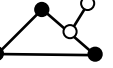

Граничит с		Объект А		
		Точечный 	Линейный 	Площадной 
Объект В	Точечный 			
	Линейный 			
	Площадной 			

Рис. 5.3. Отношение «Граничит с»

Пересекается с		Объект А		
		Точечный	Линейный	Площадной
Объект В	Точечный			
	Линейный			
	Площадной			

Рис. 5.4. Отношение «Пересекается с»

Отношение «Отделен от». Два объекта находятся в этом отношении, если они не имеют ни одной общей точки (рис. 5.5). Это отношение является обратным отношением «Пересекается с».

Отделен от		Объект А		
		Точечный	Линейный	Площадной
Объект В	Точечный			
	Линейный			
	Площадной			

Рис. 5.5. Отношение «Отделен от»

Встречаются и другие виды бинарных отношений, которые, как правило, являются частными случаями рассмотренных отношений. Кроме бинарных отношений в ГИС используются и другие отношения. Существуют отношения, в которых кроме двух объектов необходимо

указывать дополнительные параметры. Примером может служить отношение «Удален на расстояние», где необходимо задать значение расстояния, при котором объекты будут находиться в этом отношении.

5.3. Пространственные запросы

Пространственные запросы основаны на анализе пространственных характеристик объектов и пространственных отношений объектов между собой. Поэтому пространственные запросы можно разделить на две группы: запросы с использованием пространственных функций и запросы с использованием пространственных операторов.

1. Запросы с использованием *пространственных функций*. В этих запросах анализируются пространственные характеристики объектов. Каждую пространственную характеристику скалярного типа можно представить в виде функции, аргументом которой, как правило, является пространственный объект, а значением функции – определенная пространственная характеристика этого объекта. Рассмотрим типичные пространственные функции.

Координата X (Объект) – как ответ на запрос возвращает пользователю значение координаты X точечного объекта.

Координата Y (Объект) – возвращает значение координаты Y точечного объекта.

Площадь (Объект) – вычисляет значение площади площадного объекта.

Периметр (Объект) – вычисляет значение периметра площадного объекта.

Длина (Объект) – вычисляет значение длины линейного объекта.

Расстояние (Объект1, Объект2) – вычисляет расстояние между двумя объектами.

Общая форма пространственного запроса с использованием пространственных функций выглядит так:

Найти объекты множества, где <пространственная функция> <оператор сравнения> <числовое значение>.

Примеры запросов с использованием пространственных функций:

Найти озера с площадью более 100 квадратных километров – Функция «Площадь».

Найти автодороги, протяженностью менее 10 километров – Функция «Длина».

Найти магазины, отдаленные от станций метро не далее, чем на 500 метров – Функция «Расстояние».

Во многих универсальных ГИС такие пространственные функции можно использовать в явном виде при формировании пространственных

запросов. В системах, где эти функции отсутствуют, приходится хранить значения пространственных характеристик объектов в атрибутах самих объектов, обеспечивая синхронизацию их значений при изменении формы или положения объектов. Напротив, использование пространственных функций позволяет не хранить пространственные характеристики объектов в качестве атрибутов объектов, а вычислять их.

2. Запросы с использованием *пространственных операторов*. В этих запросах анализируются пространственные отношения объектов. Чаще всего для этого используются бинарные отношения. Поэтому названия пространственных операторов совпадает с названием используемых отношений, рассмотренных нами ранее в п. 5.2. В отличие от функции, где аргументом, как правило, является один объект, операторы всегда сравнивают два пространственных объекта.

Общая форма пространственного запроса с использованием пространственных операторов выглядит так:

Найти объекты множества А, которые находятся в отношении <пространственный оператор> к объектам множества В.

Примеры запросов с использованием пространственных операторов:

Найти государства, имеющие выход к морю – Оператор «Граничит с».

Найти автодороги, пересекающиеся с железными дорогами – Оператор «Пересекается с».

Найти районы, на территории которых есть несанкционированные свалки – Оператор «Содержит в себе».

В ГИС встречается два основных варианта формирования и выполнения пространственных запросов: интерактивное применение инструментов выбора и использование построителя запросов (формирование запроса с помощью диалогового окна).

1. *Интерактивное применение инструментов*. В большинстве ГИС имеется набор специальных инструментов выбора объектов на карте, использование которых автоматически приводит к выполнению пространственного запроса. Рассмотрим основные из них.

Выбор – осуществляет поиск объектов, содержащих в себе указанную точку (оператор «Содержит в себе»).

Выбор в прямоугольнике – осуществляет поиск объектов, находящихся внутри нарисованного пользователем прямоугольника (оператор «Содержится в»).

Выбор в радиусе – осуществляет поиск объектов, находящихся внутри нарисованной окружности (оператор «Содержится в»).

Выбор в полигоне – осуществляет поиск объектов, находящихся внутри нарисованного или выбранного многоугольника (оператор «Содержится в»).

Выбор пересекающих – осуществляет поиск объектов, пересекающих нарисованный или выбранный объект (оператор «Пересекается с»).

Дополнительно к этим инструментам обычно имеется команда, позволяющая *инвертировать* результаты запроса. Команда может быть использована для запросов, имеющих отрицание.

2. *Использование построителя запросов.* Этот вариант формирования и выполнения запроса традиционно реализуется в виде диалогового окна. При использовании пространственных функций пользователь задает исходное анализируемое множество объектов, необходимую функцию, оператор сравнения и числовое значение. При использовании пространственных операторов пользователь задает первое множество объектов, оператор и второе множество объектов. Множество объектов может соответствовать одному слою карты или выборке из слоя, сделанной пользователем.

5.4. Оверлейные операции

Оверлейные операции позволяют вычислить объединение, пересечение, разность и др. между двумя пространственными объектами или двумя множествами объектов, например, двумя слоями карты. Обычно такие операции применимы только для объектов одинакового типа.

1. *Объединение объектов.* Операция объединения объектов предполагает формирование объекта, точки которого принадлежат как первому объекту, так и второму, то есть по правилу логического ИЛИ (рис. 5.6). Возможно создание как нового объекта без модификации исходных, так и модификация первого исходного и удаление других исходных объектов.

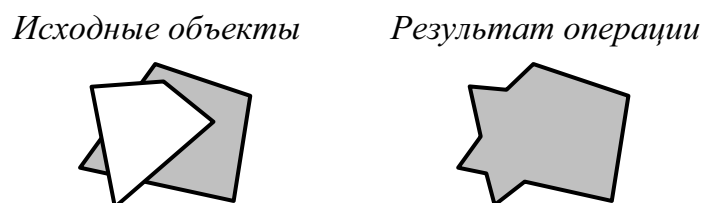


Рис. 5.6. Операция объединения

2. *Пересечение объектов.* Операция пересечения объектов предполагает формирование объекта, точки которого принадлежат первому и второму объектам, то есть по правилу логического И (рис. 5.7).

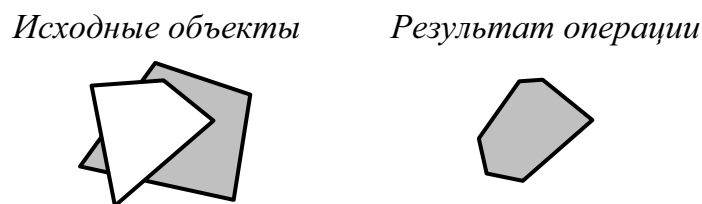


Рис. 5.7. Операция пересечения

3. *Разность объектов.* Операция разности объектов предполагает формирование объекта, точки которого принадлежат первому объекту, но не принадлежат второму (рис. 5.8). В некоторых системах эта операция также называется «Удалить часть».

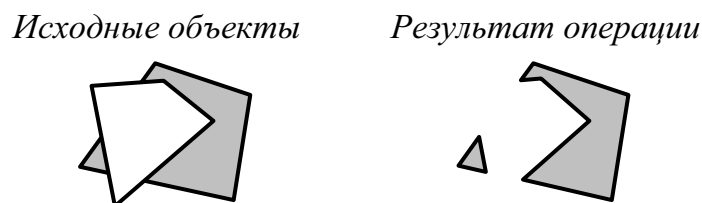


Рис. 5.8. Операция разности

4. *Симметрическая разность объектов.* Операция симметрической разности объектов предполагает формирование объекта, точки которого принадлежат первому или второму объекту, но не обоим сразу (рис. 5.9).

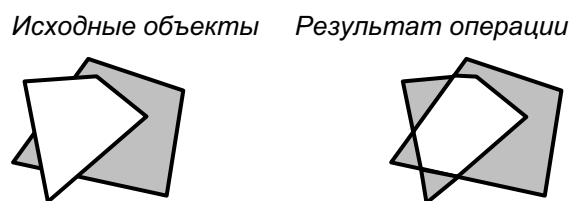


Рис. 5.9. Операция симметрической разности

5.5. Операции отсечения и разрезания

1. *Отсечение объектов.* Операция отсечения предполагает удаление части объекта, лежащей вне области отсечения. В качестве области отсечения может быть использован только площадной объект, а в качестве исходного множества – линейные и площадные объекты (рис. 5.10). Если исходные объекты являются площадными, то операция отсечения эквивалентна операции пересечения. В некоторых системах эта операция также называется «Удалить внешнюю часть».

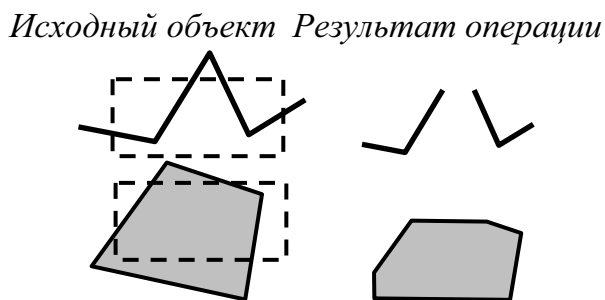


Рис. 5.10. Операция отсечения

2. *Разрезание объектов.* Операция разрезания предполагает разделение объекта на части вдоль произвольной линии. В качестве такой линии может быть использован как линейный, так и площадной объекты, а в качестве исходного множества – линейные и площадные объекты (рис. 5.11).

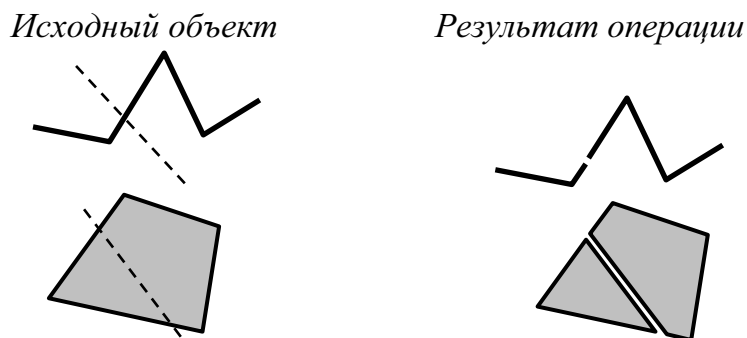


Рис. 5.11. Операция разрезания

5.6. Агрегация и дисагрегация атрибутов объектов

Рассмотренные в п. 5.4. и 5.5. операции присущи не только ГИС, но многим векторным графическим редакторам. Однако в отличие от них, объекты в ГИС характеризуются не только пространственным положением, но и атрибутами. Очевидно, что рассмотренные операции должны также влиять и на значения атрибутов. Например, при объединении двух избирательных округов в один общая численность избирателей должна быть просуммирована, средний возраст избирателей усреднен и т. д. При изменении формы земельного участка его стоимость также должна быть пересчитана, например, пропорционально его площади.

Во многих ГИС операции объединения, разрезания, отсечения и др. связаны с механизмом агрегации и дисагрегации атрибутов. При этом в таких операциях задаются правила вычисления каждого из атрибутов на основе исходных значений атрибутов. Наиболее часто используются следующие правила:

- использовать исходное значение атрибута (используется для не числовых атрибутов);
- вычислить минимальное, максимальное, сумму, среднее или взвешенное среднее (используется при операциях объединения);
- вычислить значение пропорционально изменению площади объекта (используется при операциях разрезания и отсечения).

5.7. Буферные зоны

Буферной зоной вокруг объекта A является объект, граница которого равноудалена от границ объекта A на заданное значение R (радиус буфера).

Для точечного объекта буферная зона представляет собой круг заданного радиуса, а для линии – коридор с закругленными концами. Схема построения буферной зоны для полилинии показана на рис. 5.12.

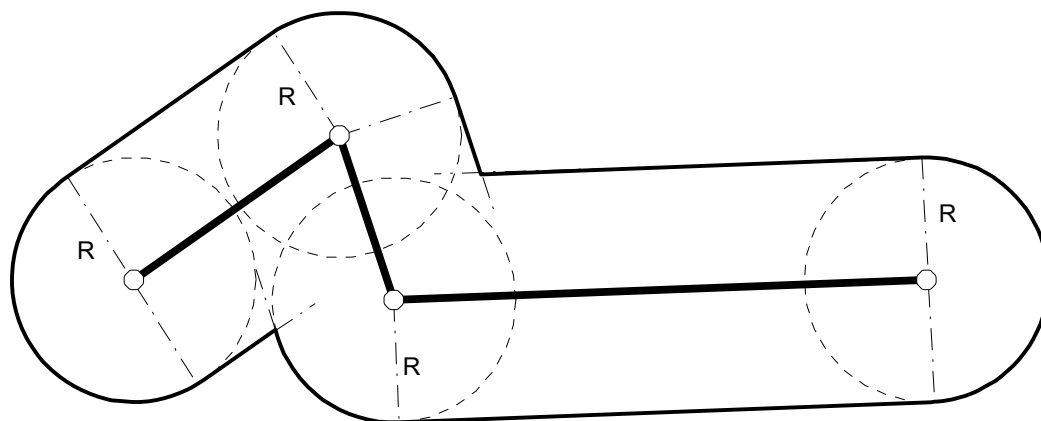


Рис. 5.12. Схема построения буферной зоны

Буферные зоны могут быть использованы для формирования коридоров вырубке леса при строительстве линий электропередач, линий газопроводов, построении санитарно-защитных зон вокруг опасных объектов, водозаборов и др.

В ГИС для представления буферных зон используются полигоны. Учитывая, что при формировании буферной зоны создаются окружности, буферная зона, представленная полигоном, лишь аппроксимирует реальную зону. Как правило, перед построением буфера пользователь определяет, каким количеством сегментов будет аппроксимирована окружность.

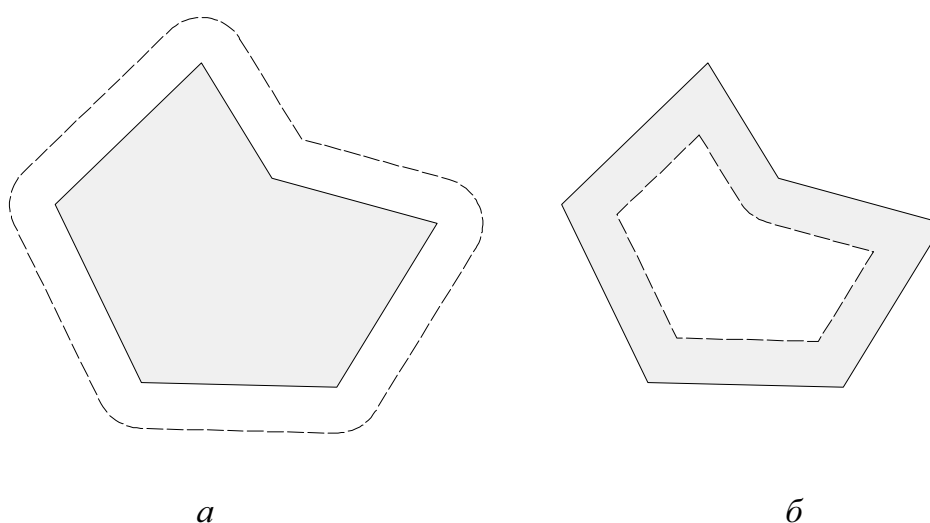


Рис. 5.13. Буферная зона с положительным (а) и отрицательным (б) радиусами

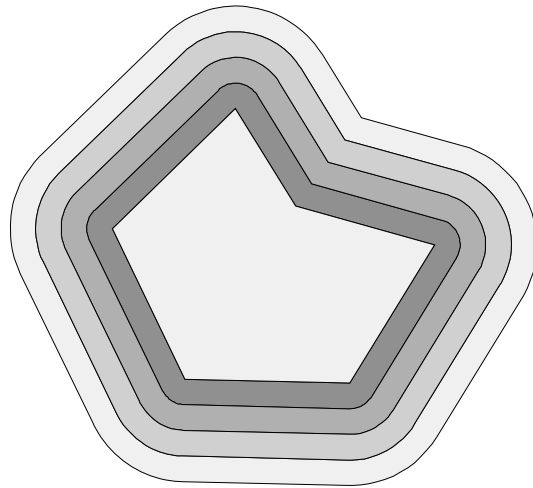


Рис. 5.14. Кольцевые буферные зоны

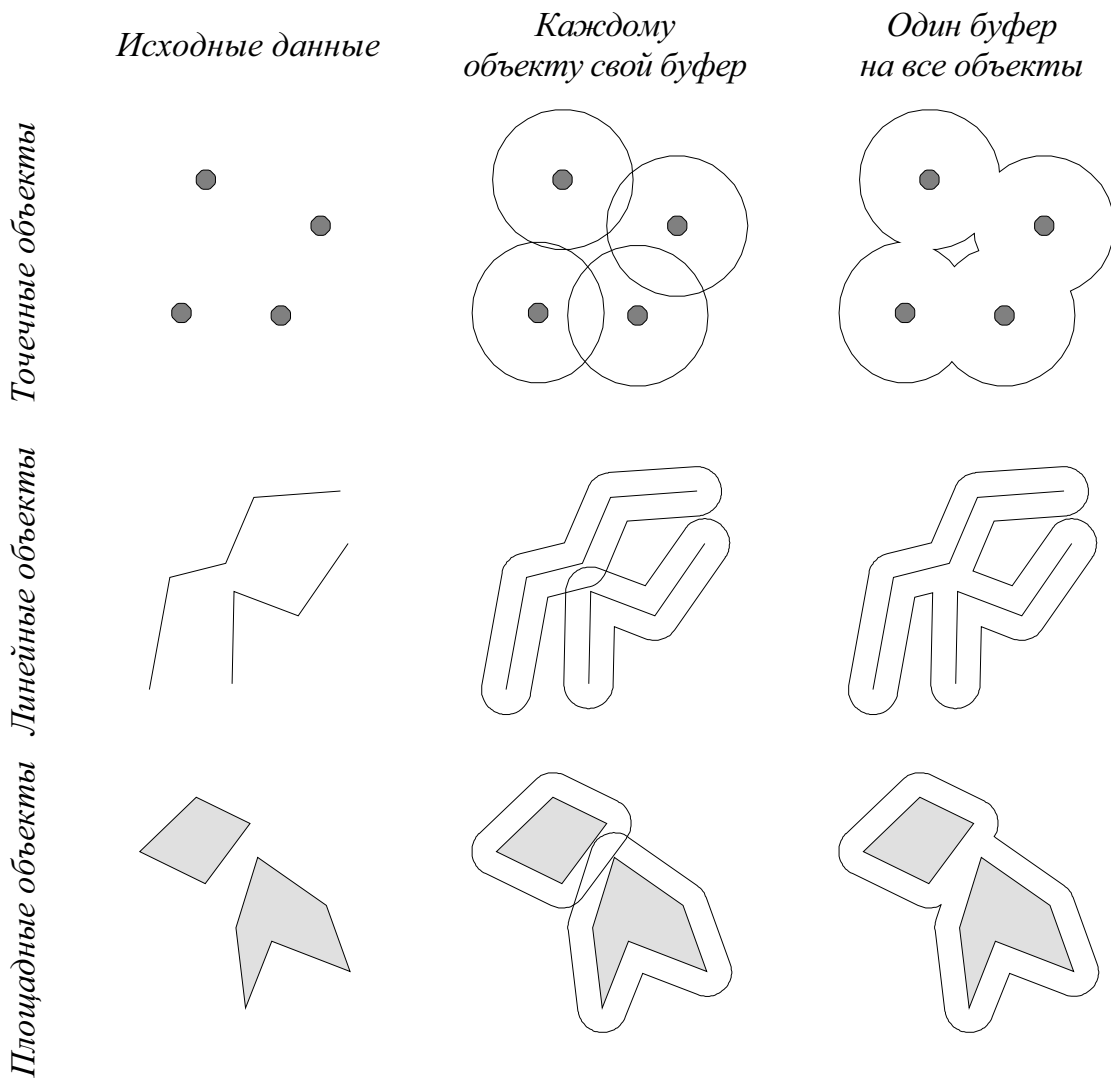


Рис. 5.15. Буферные зоны для различных типов объектов

В качестве значения радиуса буфера может быть использована константа, заданная пользователем или значение выбранного атрибута. В первом случае радиус буферной зоны для всех объектов будет одинаковым, а во втором – различным. При построении буферных зон для площадных объектов можно использовать как положительные, так и отрицательные значения радиуса. В этом случае буферная зона будет находиться внутри объекта (рис. 5.13).

Часто возникает необходимость построить не одну буферную зону, а серию зон с разными радиусами. Многие ГИС имеют возможность формирования такой серии кольцевых буферных зон (рис. 5.14).

На рис. 5.15 показаны примеры построения буферных зон для объектов разных типов. На практике буферные зоны часто строятся сразу для группы объектов. При этом возможны два варианта формирования зон: каждому объекту своя буферная зона и одна буферная зона на все объекты.

5.8. Зоны близости

При решении ряда прикладных задач, требуется определить области, любая точка внутри которых ближе к некоторой точке исходного множества, чем к любой другой. Такие области получили название *зон близости* или *диаграммы Вороного* (иногда говорят зоны влияния, полигоны Тиссена, ячейки Дирихле). Пример зон близости показан на рис.

Известно, что границы диаграмм Вороного являются отрезками перпендикуляров, восстановленных к серединам сторон треугольников в триангуляции Делоне, построенной на том же множестве исходных точек.

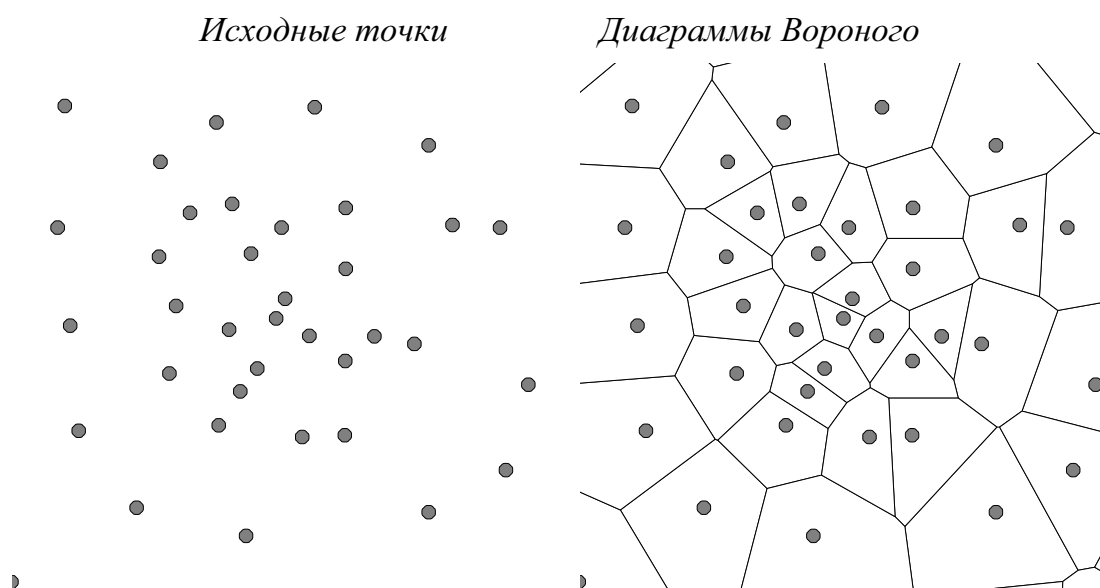


Рис. 5.16. Зоны близости

5.9. Анализ инженерных сетей

Существуют пространственные объекты, структура которых может быть описана как сеть. К таким объектам относятся сети автомобильных и иных дорог, кабельные сети, сети тепло-, водо-, газо- и нефтепроводов и т. д. Все вышеуказанные объекты обычно называют *инженерными сетями* или сетями инженерных коммуникаций. Математически инженерную сеть можно представить в виде графа. Поэтому для ее анализа используют методы и алгоритмы теории графов.

Перечислим задачи, традиционно решаемые на основе транспортных сетей.

1. Поиск кратчайшего расстояния между двумя заданными точками сети.
2. Поиск кратчайшего маршрута обхода заданного набора пунктов (задача коммивояжера).
3. Поиск ближайших пунктов обслуживания.
4. Расчет транспортной доступности.
5. Расчет транспортных потоков.

В сфере трубопроводного транспорта (водо-, газо- и нефтепроводы) можно выделить следующие задачи:

1. Расчет установившегося потокораспределения (гидравлический расчет).
2. Анализ переключений запорной арматуры.
3. Вычисление товаротранспортной работы.
4. Оптимизация режимов работы сети.
5. Локализация аварийных участков (рис. 5.17).

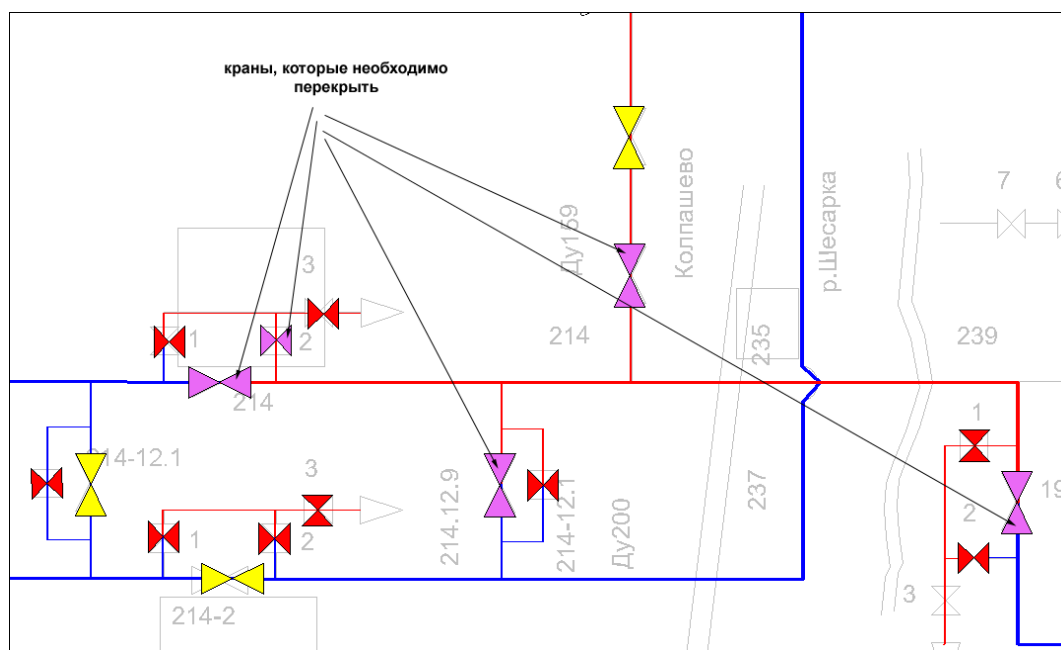


Рис. 5.17. Результат локализации аварийного участка

5.10. Анализ геополей

Очевидно, что полноценный анализ поверхностей (геополей) возможен лишь на основе моделей поверхностей. В п. 3.8. были рассмотрены две основные модели поверхностей, используемые в ГИС: регулярная сеть и триангуляционная сеть. Перечислим наиболее распространенные задачи анализа геополей.

Задачи, связанные с анализом рельефа местности:

- вычисление различных величин по поверхности (расстояния, площади и т. д.);
- вычисление различных вторичных признаков рельефа (уклонов, экспозиций, кривизны и др.);
- анализ видимости вдоль произвольной линии;
- вычисление зон видимости из заданной точки или группы точек;
- вычисление объема между двумя поверхностями и др.

Гидрологические задачи, решаемые на основе моделей рельефа местности:

- вычисление зон возможного подтопления;
- вычисление направлений водотока;
- вычисление зон водосбора и др.

В некоторых задачах анализа геополей, в том числе и в ряде вышеперечисленных, на определенных этапах может выполняться вычисление новых геополей, являющихся функцией от нескольких исходных геополей. Анализ геополей дополнительно предполагает частотный анализ, корреляционный анализ и другие виды статистического анализа, применяемого к геополям.

Отметим, что методы и алгоритмы решения большинства описанных ниже задач анализа геополей используют в качестве цифровой модели геополя регулярную сеть. Это связано с тем, что алгоритмы обработки данных на регулярной сети проще алгоритмов обработки данных триангуляционной сети.

Рассмотрим алгоритмы, наиболее часто применяемые для анализа геополей. Большая часть их них используется для анализа цифровых моделей рельефа местности, являющихся двумерными геополями.

5.10.1. Понятие уклона и экспозиции рельефа местности

Под *уклоном* понимают угол φ между вектором нормали \bar{N} к поверхности и вектором \bar{Z} , параллельным оси OZ и проходящим через точку A поверхности, в которой необходимо вычислить уклон (рис. 5.18).

Значение уклона находится в диапазоне $\left[0, \frac{\pi}{2}\right]$.

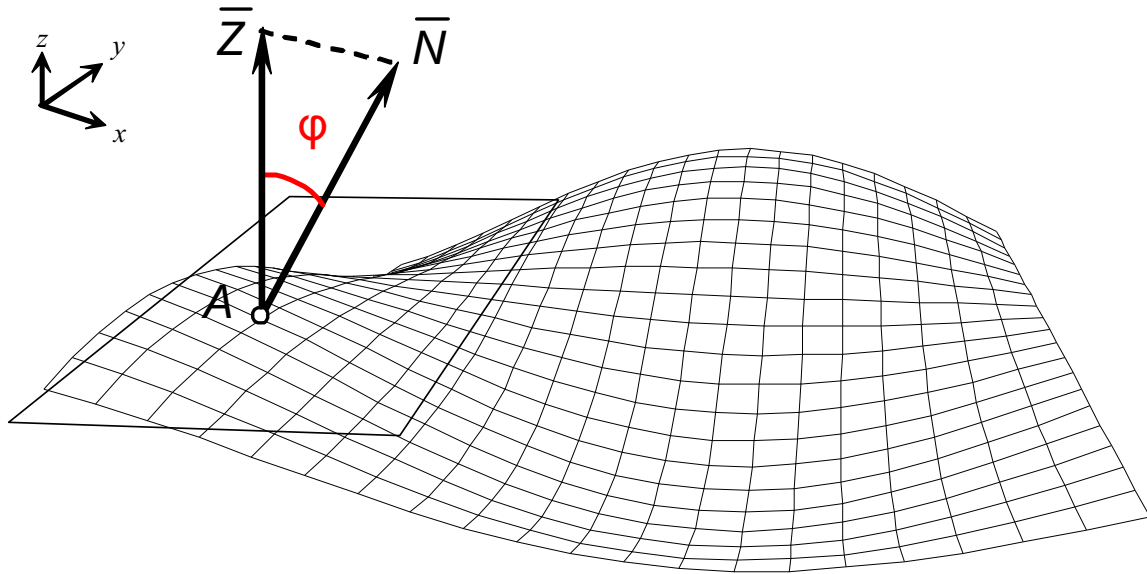


Рис. 5.18. Схема определения уклона

Под экспозицией (ориентацией склона) понимают угол ω между проекцией вектора нормали к поверхности на горизонтальную плоскость \bar{N}^* и вектором \bar{Y} , параллельным оси ОУ и проходящим через точку А поверхности, в которой необходимо вычислить экспозицию (рис. 5.19).

Таким образом, нулевому значению экспозиции соответствует направление на север, а отсчет ведется по часовой стрелке.

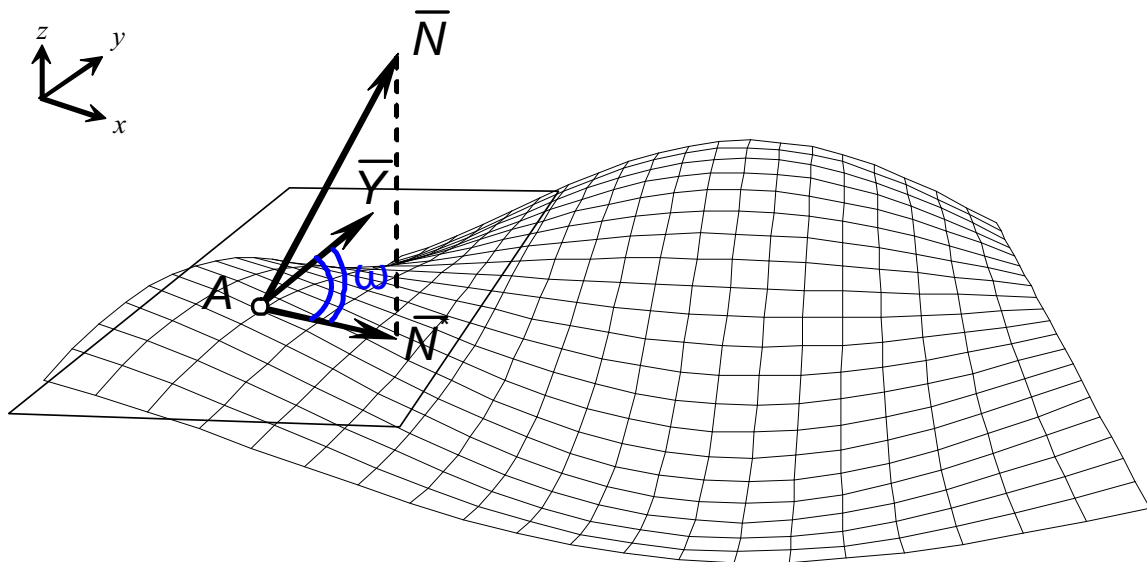


Рис. 5.19. Схема определение экспозиции

5.10.2. Расчет уклонов и экспозиций рельефа местности

Данный алгоритм расчета позволяет по исходной регулярной сети сформировать новую регулярную сеть, в которой каждому узлу соответствует значение уклона или экспозиции. Для расчета значений уклона и экспозиции в узле (i, j) регулярной сети будут использоваться следующие формулы:

$$H = \frac{z_{i-1,j} - z_{i+1,j}}{2 \cdot c} \quad (5.1)$$

$$G = \frac{z_{i,j+1} - z_{i,j-1}}{2 \cdot c} \quad (5.2)$$

$$\varphi = \text{Arc tan} \left(\sqrt{G^2 + H^2} \right) \cdot \frac{180^\circ}{\pi} \quad (5.3)$$

$$\omega = \text{Arc tan} \left(\frac{H}{G} \right) \cdot \frac{180^\circ}{\pi} \quad (5.4)$$

ГДЕ $z_{i-1,j}, z_{i+1,j}, z_{i,j+1},$

$z_{i,j-1}$ – значение геополя в узлах с указанными индексами,

φ – значение уклона в градусах,

ω – значение экспозиции в градусах.

Из выражений (5.1) и (5.2) видно, что при вычислении уклонов и экспозиций используются соседние к расчетному узлы. Поэтому получаемая регулярная сеть с уклонами или экспозициями будет содержать по осям x и y на два узла меньше, чем исходная регулярная сеть.

Суть алгоритм расчета заключается в следующем. Для каждого узла регулярной сети по формулам (5.1)–(5.4) вычисляется уклон или экспозиция. Вычисленное значение записывается в выходную матрицу. После вычисления уклонов или экспозиций для всех узлов на основе такой выходной матрицы создается новая регулярная сеть.

5.10.3. Расчет линии видимости

Задача расчета линии видимости предполагает вычисление точек на поверхности (рельефе местности), которые видны наблюдателю вдоль некоторой линии. При этом дополнительно могут быть заданы высота наблюдателя H_A над поверхностью и высота наблюдаемых точек над поверхностью H_B . На рис. 5.20 показана схема определения линии видимости.

Алгоритм расчета линии видимости следующий. На первом этапе формируется профиль вдоль исходной линии. Далее для каждой точки профиля формируется отрезок AB , где точка A соответствует положению

наблюдателя, а точка B соответствует положению наблюдаемой точки (текущей точке профиля). Причем точка A поднята над поверхностью на величину H_A , а точка B – на величину H_B . Затем выполняется проверка пересечения этим отрезком построенного ранее профиля рельефа. Если пересечений нет, то точка B видна из точки A , иначе – не видна. На рис. 5.20 точка B не видна из точки A , так как отрезок AB пересекает линию профиля дважды в точках, отмеченных крестами. Жирной линией показаны части профиля, точки которого видны из точки A при $H_B = 0$.

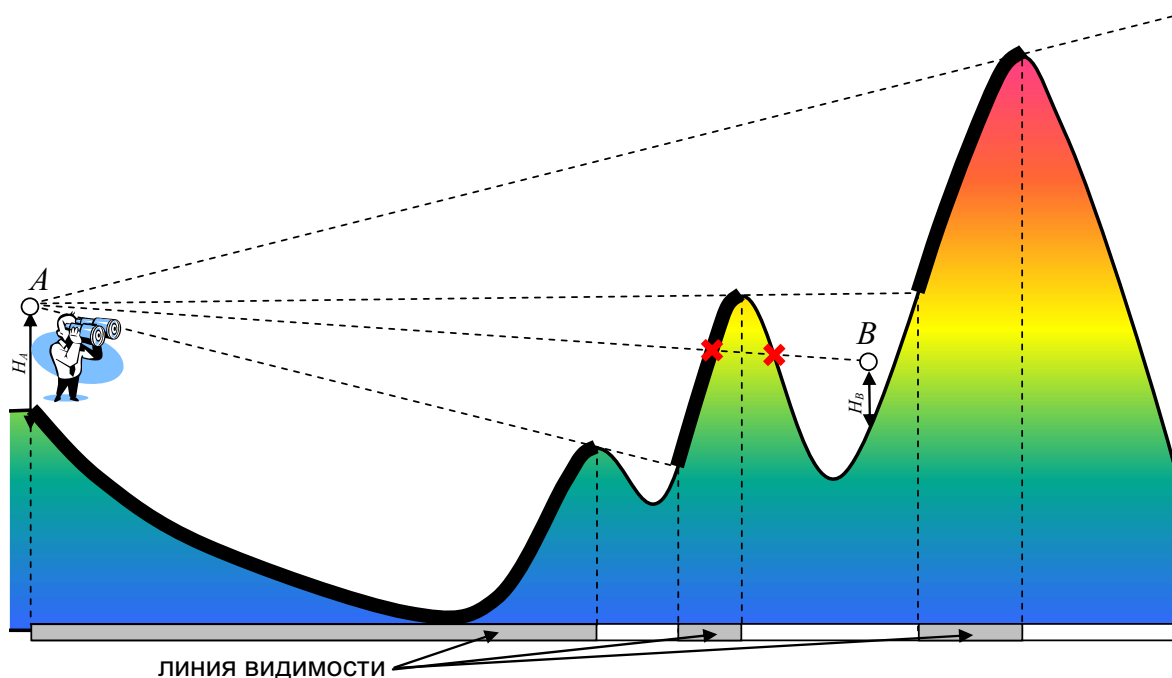


Рис. 5.20. Схема определения линии видимости

Результат работы алгоритма может быть представлен подобно тому как это изображено рис. 5.20 в виде сегментов линии видимости на карте, соответствующих участкам видимости, или в виде сегментов линии видимости, наложенных на трехмерную модель рельефа (жирные линии на профиле).

Замечание. Если расчет линии видимости производится на достаточно протяженном участке, то необходимо учитывать кривизну поверхности Земли.

5.10.4. Расчет зон видимости

Расчет зон видимости/невидимости. Эта задача предполагает нахождение зон, все точки которых видны из точки наблюдения. Возможны два подхода к решению такой задачи.

Первый подход предполагает *радиальное построение линий видимости* вокруг точки наблюдения. При этом на карте строятся линии ви-

димости через заданный угол, например, через 5 градусов (рис. 5.21). Достоинство этого подхода – высокая скорость работы, а недостаток – сложность выявления границ зон видимости/невидимости на карте.

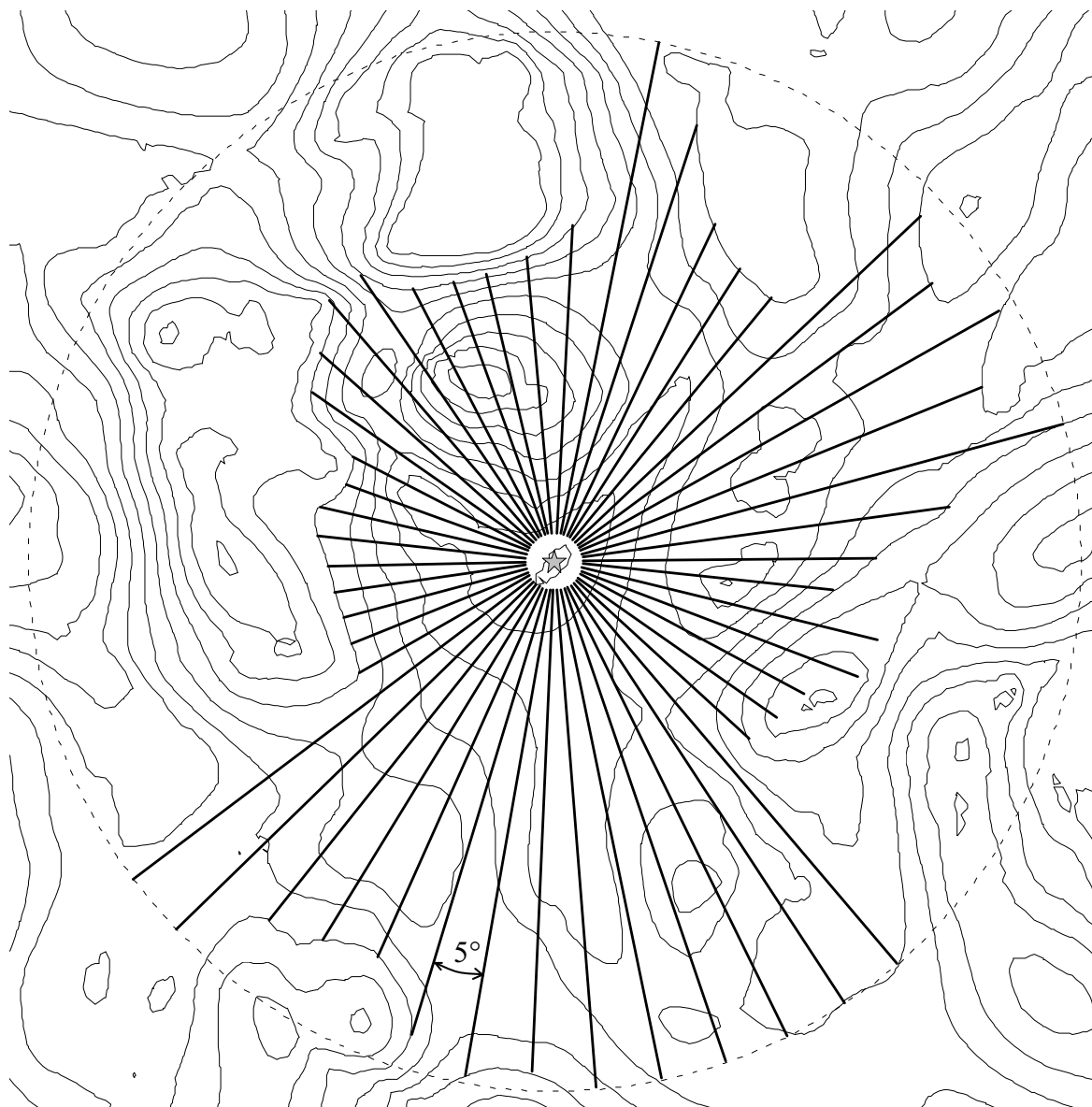


Рис. 5.21. Радиальное определение зон видимости

Второй подход предполагает расчет зон видимости/невидимости в виде *регулярной сети*, где значение каждого узла сети является признаком видимости/невидимости между точкой обзора и текущим узлом сети (рис. 5.23, б). При этом в качестве исходной модели поверхности может быть использована как регулярная, так и триангуляционная сеть. Так как результат расчета является регулярной сетью, то по ней нетрудно построить зоны видимости в виде *изоконтуров*.

Расчет зон с минимальной высотой видимости. Этот вариант предполагает вычисление минимальной высоты H_{min} , на которую необходимо поднять наблюдаемую точку B (рис. 5.22), чтобы эта точка (точка C) стала видимой из точки наблюдения A^1 . Как и при расчете линии видимости дополнительно могут быть заданы высота наблюдателя H_A над поверхностью и высоты наблюдаемых точек над поверхностью H_B .

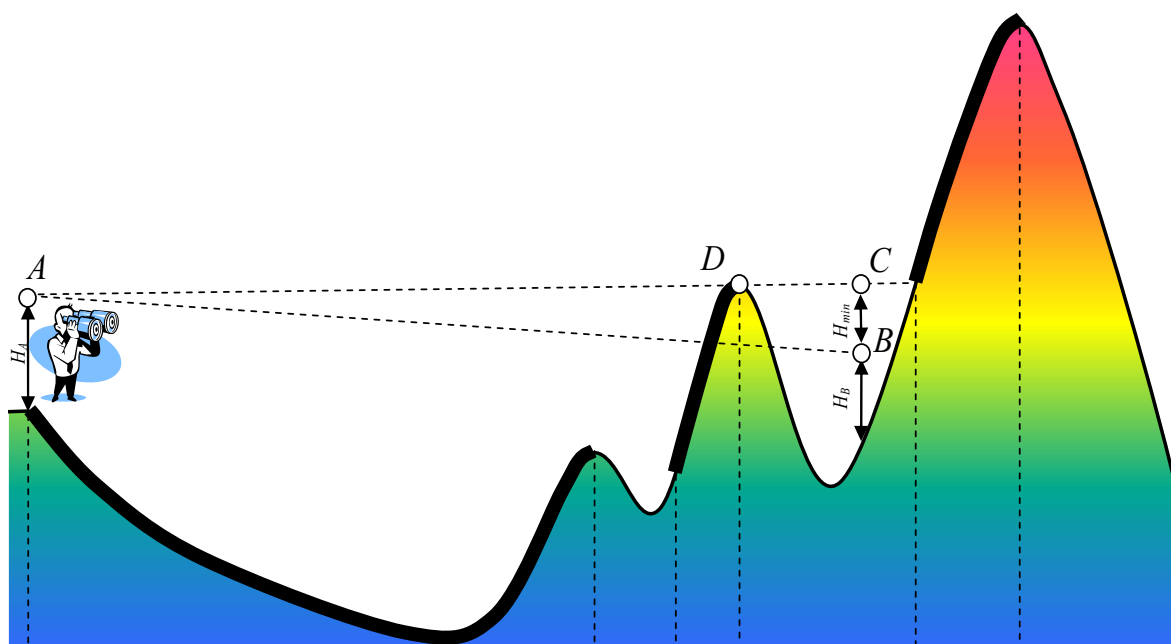
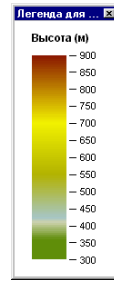
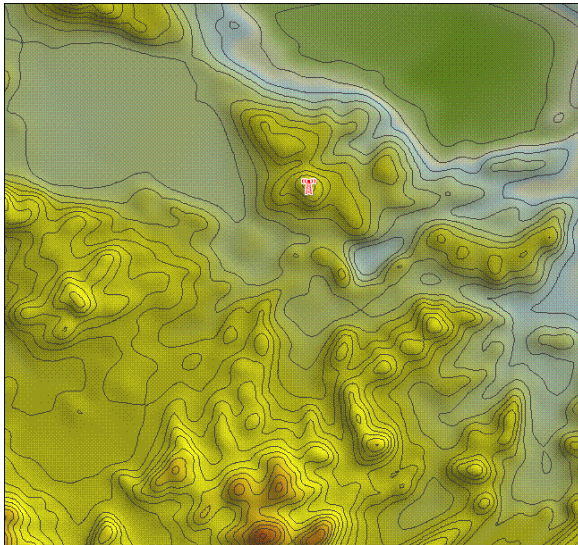


Рис. 5.22. Определение минимальной высоты для видимости

Алгоритм расчета H_{min} основан на алгоритме построения линии видимости и работает следующим образом. Если текущая точка B , для которой необходимо рассчитать H_{min} , не видна из точки наблюдения A , то нужно найти точку D , являющуюся последней видимой точкой профиля перед точкой B . Далее необходимо найти точку C , являющуюся точкой пересечения прямой, проходящей через точки A и D , и вертикальной прямой, проходящей через точку B . Расстояние между точками C и B и есть искомая высота H_{min} . Если текущая точка B видна из точки наблюдения A , то $H_{min} = 0$.

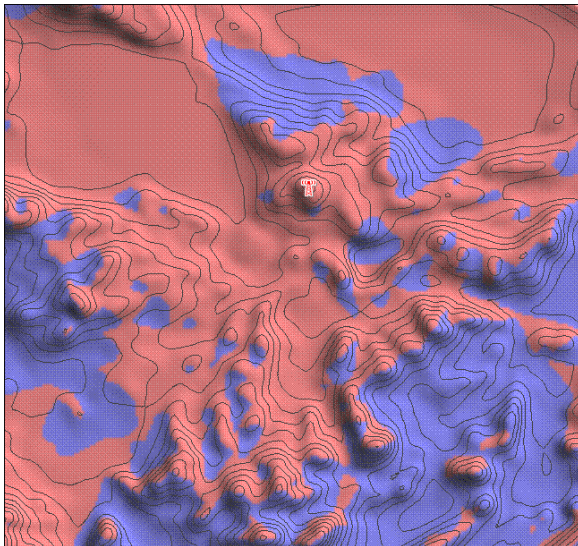
Для того, чтобы сформировать карту, показывающую минимальные высоты для видимости, нужно создать регулярную сеть со значениями H_{min} . Пример такой карты показан на рис. 5.23, в.

¹ Для того, чтобы точка C была видна из точки A , ее необходимо поднять на бесконечно малую величину ϵ .



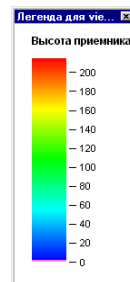
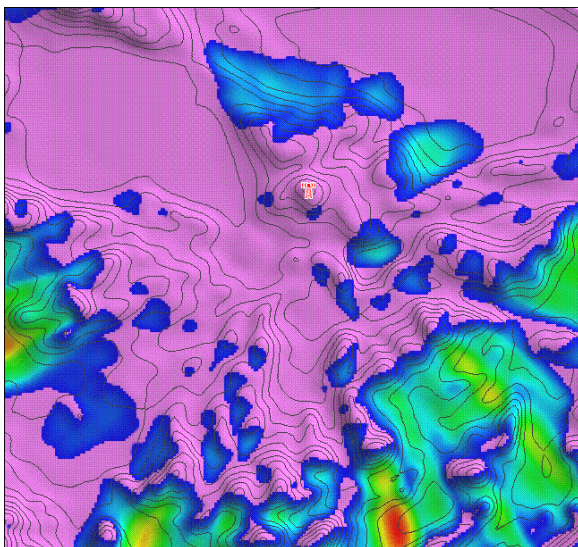
Исходный рельеф с нанесенными изолиниями и точкой обзора ($h=50$ м).

а



Результат расчета простой видимости: высота точки обзора над рельефом 50 м, высота точки наблюдения 0 м. Результирующая сеть раскрашена с отмывкой рельефа по исходному рельефу.

б



Результат вычисления высоты, необходимой для видимости: высота точки обзора над рельефом 50 м, высота точки наблюдения 0 м. Результирующая сеть также раскрашена с отмывкой рельефа по исходному рельефу.

в

Рис. 5.23. Зоны видимости по рельефу местности

Замечание. Если расчет производится на достаточно протяженном участке, то необходимо учитывать кривизну поверхности Земли.

5.10.5. Расчет расстояния и площади по рельефу местности

Расчет расстояния по рельефу. Расстояние между точками A и B по карте и расстояние между этими точками по рельефу – это две разные величины. Расчет расстояния по рельефу производится на основании модели рельефа (регулярной или триангуляционной сети). Для этого необходимо определить точки пересечения линии между точками A и B и ребрами ячеек регулярной сети (рис. 5.24, а) или ребрами треугольников триангуляционной сети (рис. 5.24, б).

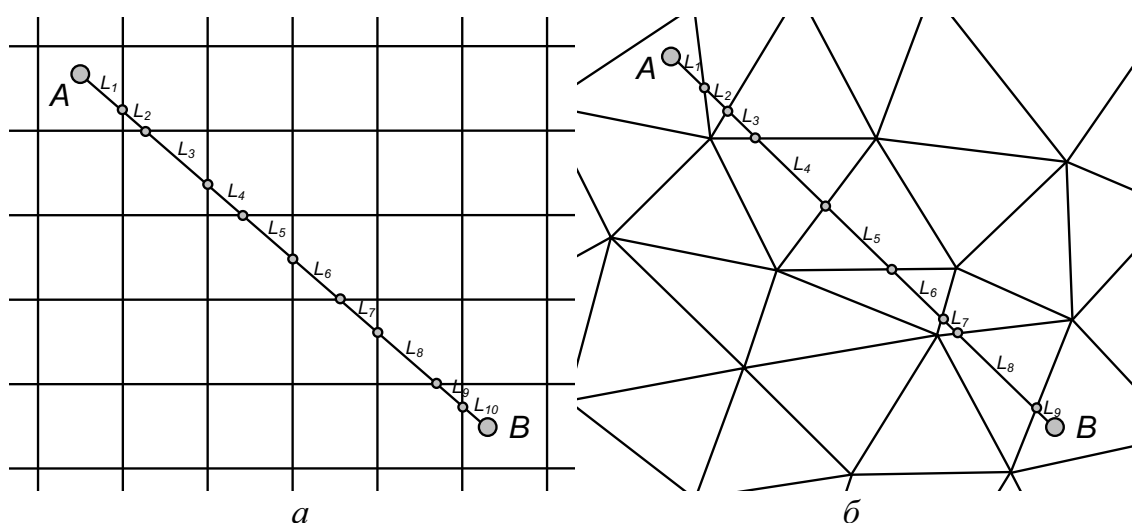


Рис. 5.24. Определение расстояния между точками с использованием модели рельефа
 а – с использованием регулярной сети
 б – с использованием триангуляционной сети

Соединив эти точки, получим трехмерную полилинию, лежащую на рельефе. Тогда расстояние по рельефу между точками A и B может быть вычислено по формуле:

$$L_{AB} = \sum_i L_i, \quad (5.5)$$

где L_i – длина i -го сегмента полученной полилинии.

Как правило, точки A и B не лежат на ребрах сети, поэтому для вычисления длины первого и последнего сегментов необходимо определить значения координаты z этих точек. Это легко можно сделать с использованием модели рельефа. Для вычисления координаты z остальных точек используется линейная интерполяция (каждое ребро модели является

трехмерным отрезком). То есть расстояние по рельефу равно длине линии профиля между точками A и B .

Расчет площади по рельефу. Площадь некоторого участка карты и площадь его на поверхности – это также две разные величины. Расчет площади участка рельефа также производится на основе модели рельефа. Для этого необходимо разбить исходный участок на фрагменты, границами которых являются ребра сети и граница фигуры (рис. 5.25).

Тогда площадь фигуры по рельефу (площадь участка поверхности) может быть вычислена по формуле:

$$S = \sum_i S_{\text{фр}_i}, \quad (5.6)$$

где $S_{\text{фр}_i}$ – площадь поверхности i -го фрагмента фигуры.

Если граница фрагмента образована только ребрами сети (ячейка регулярной сети или треугольник триангуляционной сети полностью внутри фигуры), то площадь поверхности фрагмента для ячейки регулярной сети вычисляется как площадь криволинейной (например, билинейной) поверхности, а для треугольника триангуляционной сети – как площадь трехмерного треугольника.

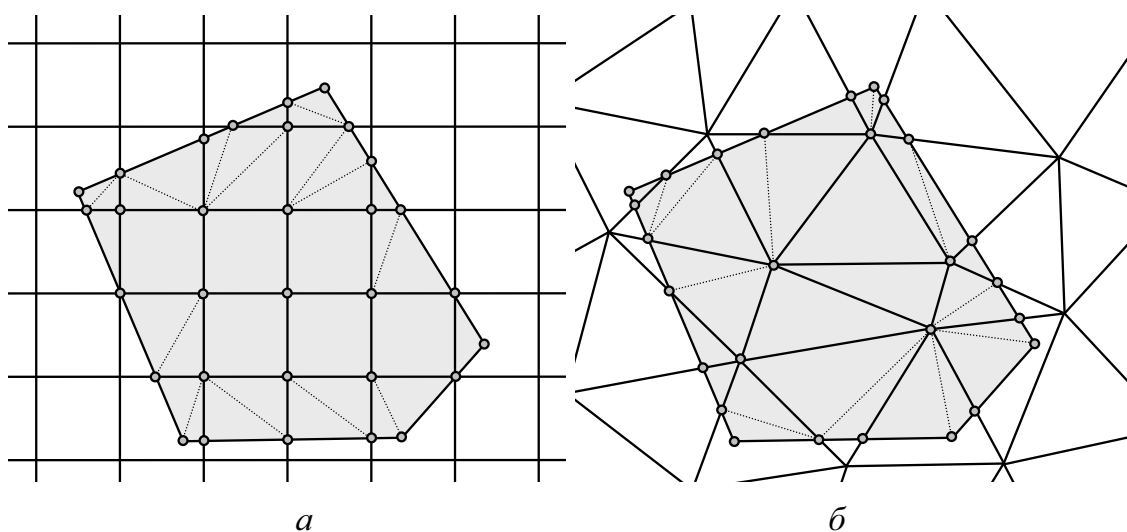


Рис. 5.25. Определение площади фигуры на основе модели рельефа

а – с использованием регулярной сети

б – с использованием триангуляционной сети

Если граница фрагмента образована, в том числе границей исходной фигуры и число узлов такого фрагмента больше трех, то вычислить площадь поверхности такого фрагмента крайне сложно. Поэтому для упрощения расчета можно этот фрагмент разбить на треугольники

(на рис. 5.25 дополнительные ребра показаны пунктирными линиями). Тогда площадь $S_{фрi}$ такого i -го фрагмента вычисляется по формуле:

$$S_{фрi} = \sum_j S_{трj}, \quad (5.7)$$

где $S_{трj}$ – площадь j -го треугольника i -го фрагмента.

Замечание. Если расчет производится на достаточно протяженном участке, то необходимо учитывать кривизну поверхности Земли.

5.10.6. Расчет объема тела, ограниченного поверхностями

Часто, особенно в практически интересных проектах, ставится задача рассчитать объем тела, ограниченного верхней и нижней поверхностями и некоторой боковой поверхностью (рис. 5.26).

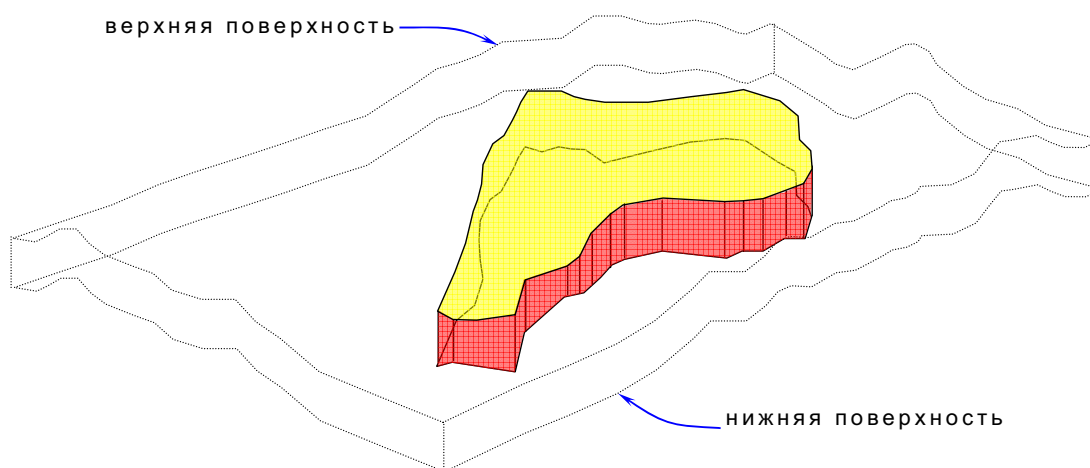


Рис. 5.26. Вид тела при использовании двух поверхностей

При решении этой задачи необходимо учесть, что верхняя и нижняя поверхности могут быть представлены как разными моделями, так и разной их структурой (например, регулярными сетями с разным шагом сетей или триангуляционными сетями, построенными на разных исходных точках). Поэтому для расчета объема V будем использовать следующую формулу:

$$V = V_{верх} - V_{нижн}, \quad (5.8)$$

где $V_{верх}$ – объем тела, ограниченного верхней поверхностью, плоскостью $ХОУ$ и полигоном, а $V_{нижн}$ – объем тела, ограниченного верхней поверхностью, плоскостью $ХОУ$ и призмой. Для расчета $V_{верх}$ и $V_{нижн}$ необходимо, как и при расчете площади по рельефу (рис. 5.25), разбить рассматриваемое тело на простые фрагменты. Каждый такой фрагмент будет многогранником¹, в котором вертикальные грани перпендикуляр-

¹ Верхнюю поверхность можно аппроксимировать, например, двумя треугольниками.

ны нижней грани и являются трапециями, а нижняя и верхняя грани являются треугольниками, причем нижняя грань лежит в плоскости XOY (рис. 5.27). Тогда объем V^* ($V_{верх}$ или $V_{нижн}$) вычисляется по формуле:

$$V^* = \sum_i V_{фр_i}, \quad (5.9)$$

где $V_{фр_i}$ – объем i -го фрагмента тела. Объем $V_{фр_i}$ можно рассчитать, разбив его на треугольную призму и пирамиду и вычислив сумму их объемов. Рассмотренный метод можно применять для расчета объема при использовании моделей как в виде регулярных, так и триангуляционных сетей.

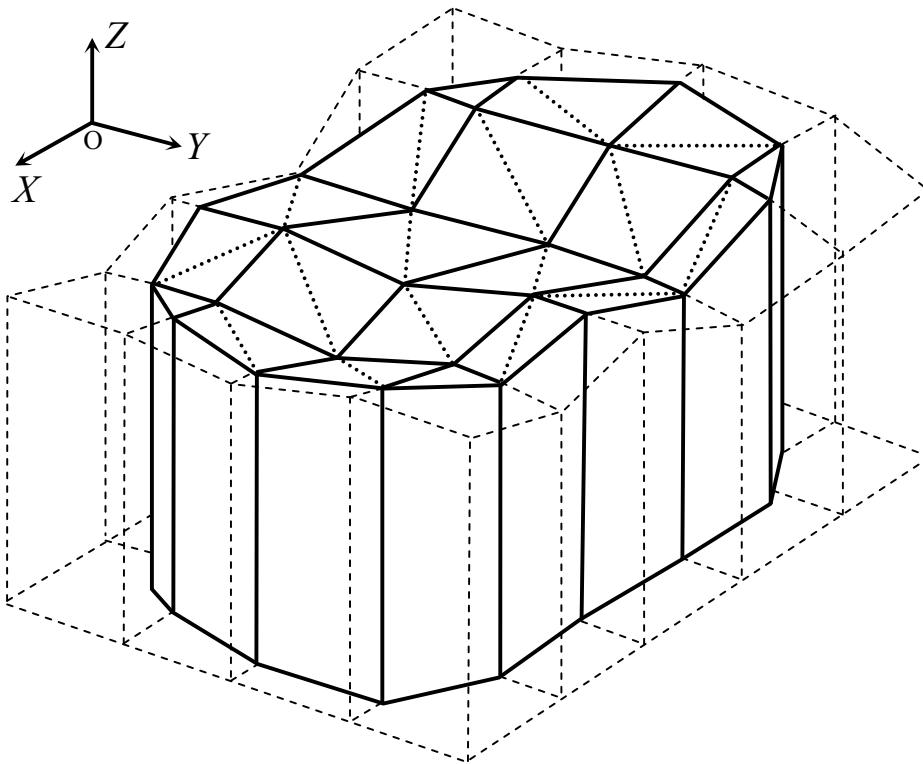


Рис. 5.27. Аппроксимация тела многогранниками

При использовании регулярных сетей также можно применять менее точный, но более простой метод вычисления. Как правило, размер ячеек регулярной сети достаточно мал, поэтому исходное тело часто аппроксимируют прямыми параллелепипедами (рис. 5.28, б). При этом регулярная сеть считается ячеистой (т. е. узлы сети рассматриваются как центры квадратных ячеек с постоянными значениями геополя – рис. 5.28, а). Тогда объем параллелепипеда $V_{нар_i}$ можно вычислить по формуле:

$$V_{фр_i} = V_{нар_i} = z_i \cdot cell^2, \quad (5.10)$$

где z_i – значение геополя (поверхности) в i -ой ячейке, $cell$ – размер ячейки.

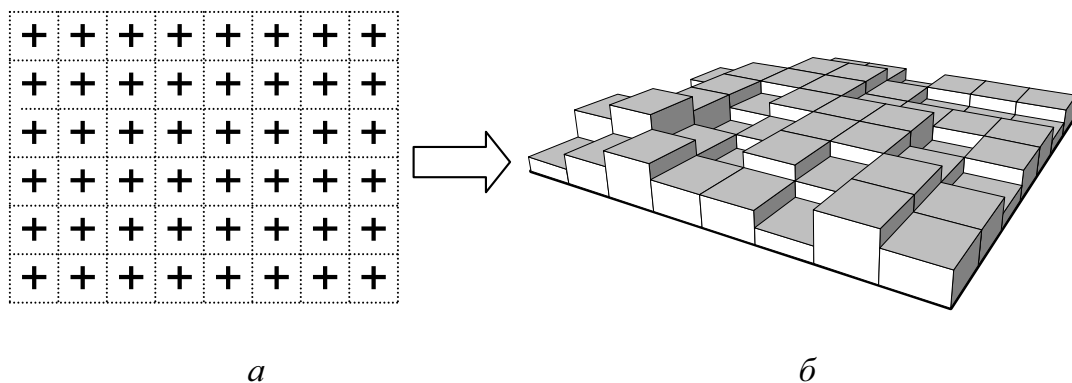


Рис. 5.28. Аппроксимация тела параллелепипедами

5.10.7. Цифровая фильтрация геополей

При использовании модели геополя в виде регулярной сети возможно применение матричных цифровых фильтров для обработки и анализа таких геополей. Широко известны подходы к обработке растровых изображений с помощью матричных цифровых фильтров. Так как регулярная сеть по своей сути является матрицей, каждый элемент которой есть значение геополя, то к ней также применимы такие фильтры. Рассмотрим наиболее распространенный вид цифровых матричных фильтров – *линейные фильтры*.

Принцип линейного фильтра заключается в использовании существующего значения геополя в узле (ячейке), а также значений геополя в близлежащих узлах (ячейках) при вычислении нового значения геополя G в этом узле (ячейке) сети:

$$G = \frac{\sum_i^n \sum_j^n G_{ij} w_{ij}}{\sum_i^n \sum_j^n w_{ij}} \quad (5.11)$$

где G_{ij} – значение геополя в узле ij ,

w_{ij} – вес узла,

n – размер матрицы (апертура).

Вычисленные таким образом значения геополя формируют выходную регулярную сеть (рис. 5.29).

Традиционно фильтр задают в виде матрицы коэффициентов (весов):

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{n1} & w_{n2} & \dots & w_{nn} \end{bmatrix} \quad (5.12)$$

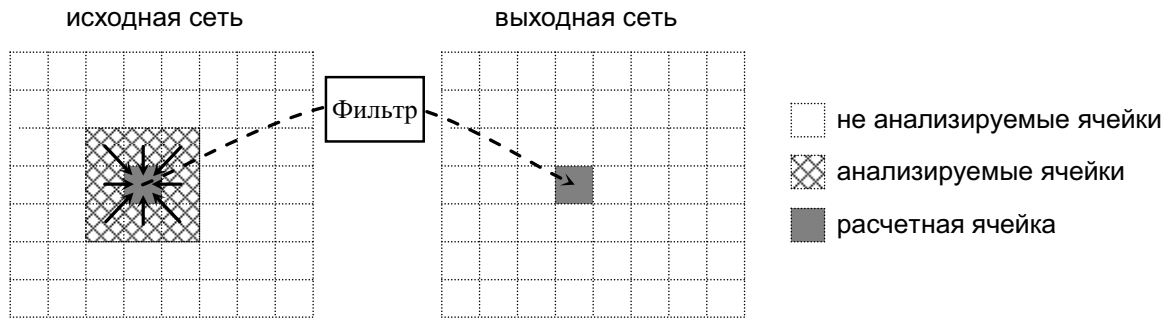


Рис. 5.29. Схема цифровой фильтрации геополей

Размер n этой матрицы, как правило, является нечетным числом. Наиболее часто используют матрицы размером 3×3 и 5×5 . Например, для сглаживания поверхности можно использовать фильтр вида

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

Увеличение размера матрицы (апертуры) приводит к усилению фильтрующих свойств. Например, фильтр размером 5×5 , чем такой же фильтр размером 3×3 .

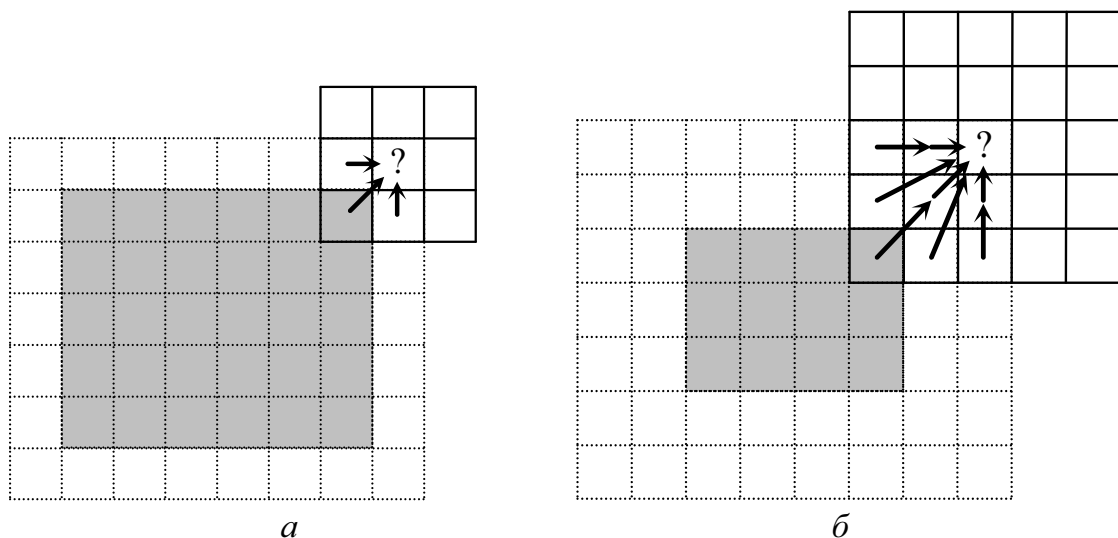


Рис. 5.30. Проблема крайних узлов при цифровой фильтрации

При работе с цифровыми фильтрами необходимо уделять особое внимание крайним узлам регулярной сети. Например, при использовании фильтра размером 3×3 для каждого крайнего узла невозможно использование восьми соседей (рис. 5.30, а), а для фильтра размером 5×5 – для двух крайних узлов (рис. 5.30, б) отсутствуют соседи. Здесь возможны два подхода. При первом подходе значения в таких крайних узлах не рассчитыва-

ются, что приводит к уменьшению размеров выходной регулярной сети, но позволяет выполнить фильтрацию единообразно для всех узлов сети. Второй подход предполагает, что в выражении (5.11) производится суммирование только имеющихся соседей, что позволяет выполнить фильтрацию для всех узлов сети, однако не единообразно (что часто нежелательно).

При обработке поверхностей возможно также многопроходное применение фильтров. Например, можно в интерактивном режиме последовательно несколько раз применять сглаживающий фильтр, постепенно добиваясь приемлемого результата.

5.11. Восстановление геополей

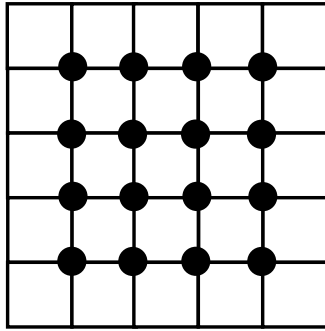
Наиболее распространенной задачей при работе с пространственными данными является получение значений геополя в областях, где измерения не проводились. Решение этой задачи осложняется следующими особенностями исходных пространственных данных:

- информация об исследуемом явлении с определенной степенью достоверности известна лишь в *некоторых областях* геополя;
- чаще всего эти области представляют собой *точки опробования* (точки на местности, точки измерения поля в некоторой среде, где проводилось исследование, в результате которого в них определено значение геополя и т. д.);
- как правило, точки опробования представляют собой *нерегулярную сеть* точек.

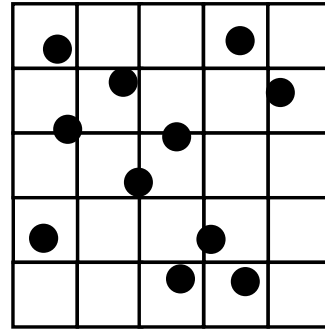
На рис. 5.31 показаны виды пространственного размещения исходных точечных данных, используемых для решения задачи восстановления геополя. Как видно из рис. 5.31, при решении задач восстановления геополя пространственное размещение исходных точечных данных может быть очень разнообразным. Наиболее простой случай – регулярное пространственное размещение (рис. 5.31, а). Данные, имеющие такое размещение, уже представляют собой регулярную сеть, а их анализ с алгоритмической точки зрения достаточно прост. К сожалению, случаи такого размещения исходных данных очень редки.

Чаще всего данные (значения геополя) имеют случайное или кластерное пространственное размещение (рис. 5.31, б и 5.31, г). При кластерном размещении точки образуют группы (кластеры). Обычно такое размещение связано с тем, что в местах со сложной структурой геополя его измерения (опробования) производятся с большей плотностью.

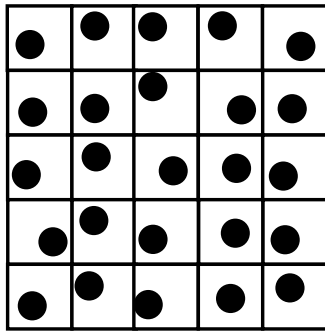
Если условия исследования позволяют, то точки опробования размещают регулярно, но необязательно очень точно. Пример такого регулярно случайного размещения показан на рис. 5.31, в.



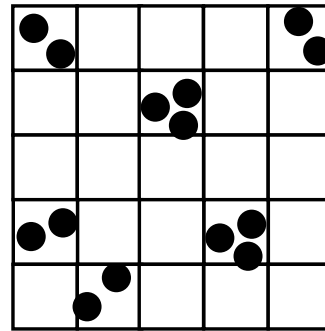
а) регулярное



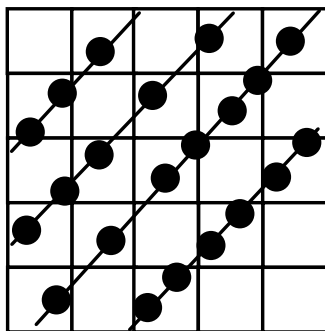
б) случайное



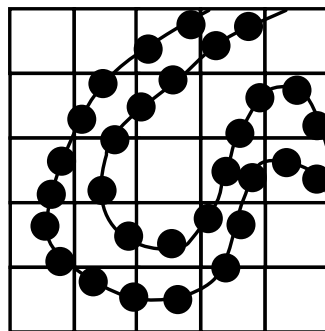
в) регулярно-случайное



г) кластерное



д) профильное



е) изолинейное

Рис. 5.31. Виды пространственного размещения исходных точечных данных

Данные, имеющие профильное пространственное размещение (рис. 5.31, д), получают, как правило, при перемещении объекта, выполняющего исследование геополя, например, подвижной лаборатории.

Изолинейное пространственное размещение точечных данных получается в результате оцифровки различных карт изолиний путем сколки узловых точек (рис. 5.31, е). Данные, сформированные таким образом, имеют следующую особенность: точкам, сколотым с одной изолинии, сопоставлено одинаковое значение геополя.

5.11.1. Восстановление геополя по точечным данным

Восстановление геополя по известным точечным данным представляет собой задачу, в которой по исходной сети точек, каждая из которых задана координатами (x, y) , и значением геополя z в этой точке, необходимо восстановить отсутствующее значение геополя $V(x, y)$, в принципе, в любой точке однозначной поверхности с координатами x и y (рис. 5.32).

Область, в точках которой необходимо восстановить значения геополя, будем называть *областью восстановления*, а область, в которой анализируются исходные точки, будем называть *исследуемой областью*.

При этом исходные точечные данные могут иметь произвольные координаты x и y (рис. 5.31). По своей сути – это попытка по частному восстановить общую картину явления, описываемого геополем. Ясно, что без дополнительных сведений о природе восстанавливаемого геополя такую задачу решить однозначно невозможно. Так как не существует

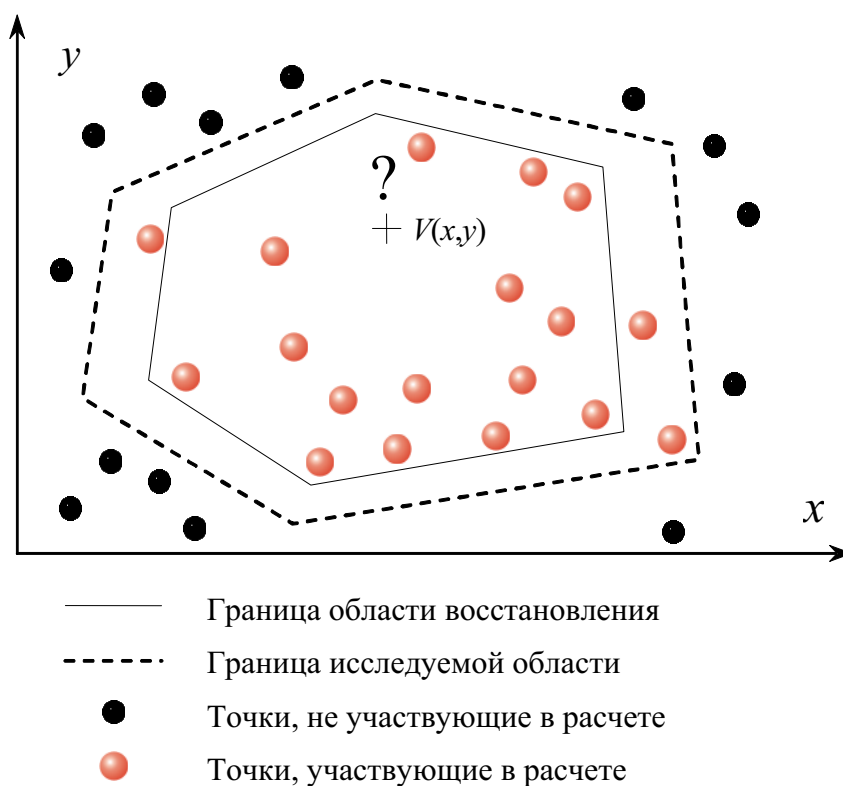


Рис. 5.32. Восстановление геополя по нерегулярной сети точек

точного и единственного ее решения, будем называть эту задачу *некорректной*. Таким образом, задача восстановления геополя может быть решена разными методами и с разной точностью.

В каждом методе решения этой задачи вводятся определенные представления о природе геополя. В итоге каждый метод обеспечивает различную интерпретацию исходных данных.

Основная сложность заключается в построении наиболее точной поверхности, как можно ближе соответствующей действительности (описываемому явлению). Достижение этой цели связано с рядом «факторов успеха»:

- наличие достаточного количества исходных достоверных данных;
- глубокое понимание исследуемого явления;
- применение адекватных математических методов описания закономерностей распространения явления;
- наличие удобного инструментария для изучения данных, построения поверхностей и оценки их достоверности.

Существует несколько методов и алгоритмов восстановления геополей по точенным данным, которые можно условно разделить на четыре группы:

1. Детерминистические методы.
2. Методы геостатистики, базирующиеся на статистической интерпретации данных.
3. Алгоритмы искусственного интеллекта (искусственные нейронные сети, генетические алгоритмы).

Такое деление является весьма условным. Так, геостатистические методы можно изложить в детерминистической формулировке и, наоборот, ряд детерминистических методов имеют близкие статистические аналоги. Наибольшее распространение получили детерминистические и геостатистические методы.

К детерминистическим методам относят:

- метод обратных взвешенных расстояний;
- полиномиальная интерполяция;
- интерполяция сплайнами;
- метод радиальных базисных функций;
- метод естественного соседства;
- метод триангуляции и др.

К геостатистическим методам относят:

- обычный кригинг;
- простой кригинг;
- кокригинг;
- вероятностный кригинг и др.

В качестве примера рассмотрим метод обратных взвешенных расстояний.

5.11.1.1. Метод обратных взвешенных расстояний

Данный метод (другие его названия – взвешенная усредненная оценка, средневзвешенная интерполяция, метод обратных расстояний, IDW) основан на предположении, что чем ближе друг к другу находятся точки, в которых имеются значения геополя, тем ближе эти значения. Значение геополя $V(x,y)$ в произвольной точке (x,y) может быть вычислено по формуле:

$$V(x,y) = \frac{\sum_{k=1}^N \frac{V_k}{r_k^p}}{\sum_{k=1}^N \frac{1}{r_k^p}}, \quad (5.13)$$

где V_k – значение геополя в k -ой точке (x_k, y_k) ,
 r_k – расстояние между точками (x,y) и (x_k, y_k) ,
 p – степень влияния точки,
 N – число ближайших анализируемых точек.

Этот метод является строгим интерполятором, т. е. восстановленное геополе будет точно проходить через исходные точки. Кроме этого, вычисленные значения геополя всегда лежат в диапазоне исходных данных – значений геополя.

Из формулы (5.13) видно, что значение геополя в произвольной точке представляет собой сумму значений в исходных точках, взятых с различными весами (коэффициентами). При этом чем дальше точка лежит от вычисляемой, тем меньше ее влияние на итоговое значение (рис. 5.33).

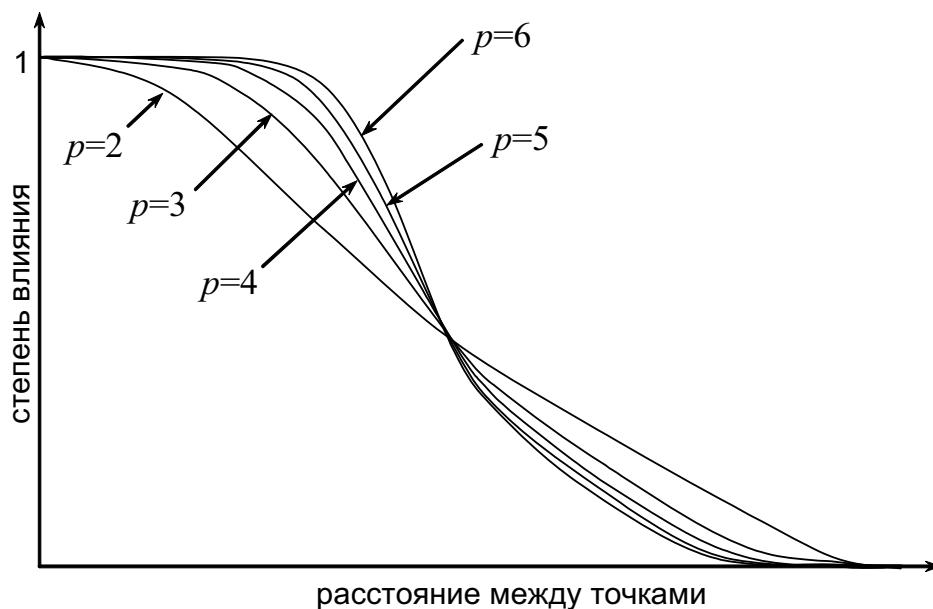


Рис. 5.33. Зависимость степени влияния от расстояния между исходной и вычисляемой точками для различных p

5.11.2. Восстановление геополя по изолиниям

Как показано в п. 4.6. одним из основных способов картографического изображения геополей является изолинейное представление. Однако решать задачи, связанные с анализом геополей на основе карт изолиний, весьма затруднительно. Дело в том, что для анализа геополей должна быть возможность однозначного определения значения геополя в произвольной точке. По изолиниям этого сделать нельзя, поскольку известны значения геополя только на этих линиях.

Для решения задач анализа геополей чаще всего используют регулярное представление, полученное на основе изолиний. Поэтому задачу восстановления геополя сведем к задаче восстановления регулярной сети по изолиниям. По исходному множеству изолиний, каждой из которых сопоставлено определенное значение геополя, необходимо восстановить значение геополя в каждой точке (рис. 5.34). При этом необходимо выполнить следующие условия:

1. Значение геополя $V(x, y)$ в вычисляемой точке (x, y) должно лежать в пределах значений поля на двух смежных изолиниях (для рис. 5.34 $E_1 > V(x, y) > E_2$, где $E_1 > E_2$).
2. Полученное геополе должно быть гладким.

Первое условие является обязательным, а второе – носит рекомендательный характер. Условие гладкости продиктовано практической целесообразностью. Эту задачу, как и задачу восстановления геополя по данным на нерегулярной сети точек, также считают *некорректной*.

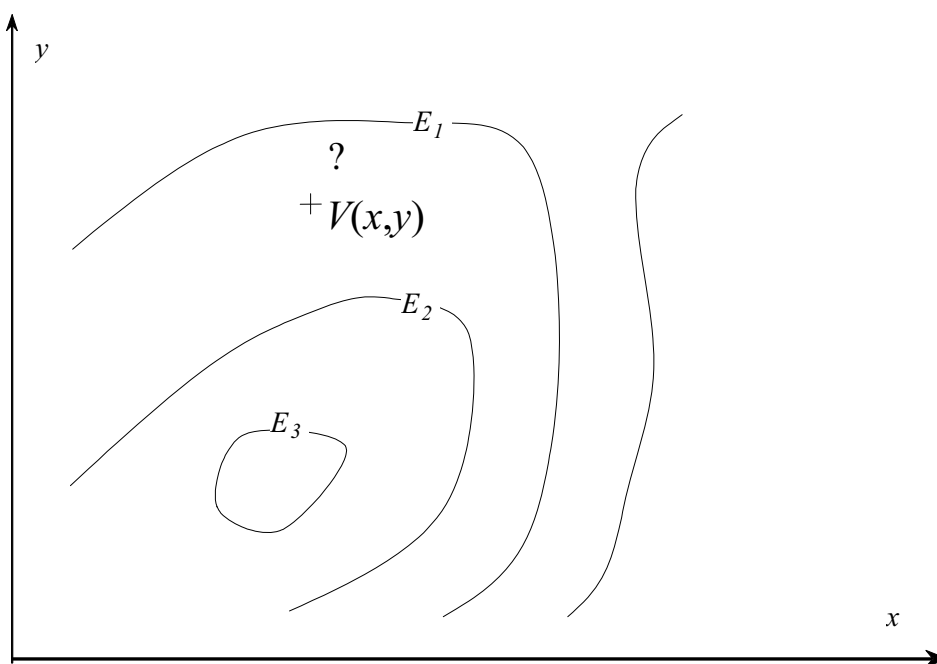


Рис. 5.34. Восстановление геополя по изолиниям

Существует два подхода к восстановлению геополя по изолиниям. Первый подход реализуется в два этапа.

1. Преобразование изолиний в сеть точек («сколка» точек).
2. Восстановление геополя по полученной нерегулярной сети точек.
В рамках этого подхода этап 1 – преобразование изолиний в нерегулярную сеть точек может выполняться несколькими способами:
 - точки «скальваются» в узлах изолиний;
 - точки «скальваются» с определенным шагом по изолиниям;
 - на изолинии накладывается квадратная сетка с ячейками определенных размеров, «скальваются» точки пересечения границ ячеек с изолиниями.

Далее независимо от того, как «скальваются» точки, на этапе 2 осуществляется расчет геополя на основе нерегулярной сети с использованием методов двумерной интерполяции.

Методы «сколки» точек с изолиний являются наиболее простыми в реализации, однако такой подход имеет серьезный недостаток. При «сколке» точек сразу теряется часть информации между точками, сколотыми с одной и той же изолинии (для того, чтобы этого избежать необходимо «сколоть» бесконечное число точек, а это невозможно).

Второй подход предполагает расчет геополя непосредственно по изолиниям. В рамках этого подхода используются следующие методы:

- метод обратных взвешенных расстояний;
- метод триангуляции;
- метод плавающих секущих.

Исследования показали, что наиболее перспективным методом является метод плавающих секущих, позволяющий более точно восстанавливать геополя по изолинейным данным¹.

5.12. Вопросы и задания для самопроверки

1. Перечислите основные измерительные операции, используемые в ГИС.
2. В каких случаях особенно важно проводить измерительные операции с учетом кривизны поверхности Земли?
3. В каких еще отношениях находятся два объекта, если они находятся в отношении «Содержит в себе»?
4. Чем отличаются пространственные функции от пространственных операторов?
5. Какие условия должны выполняться для успешного выполнения операции разрезания объекта?

¹ Ковин Р.В., Марков Н.Г. Геоинформационные технологии для анализа двумерных геополей – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2006. – 176 с.

6. Почему так важны процедуры агрегации и дисагрегации данных при выполнении пространственных операций?
7. Опишите алгоритм построения кольцевых буферных зон.
8. Какие методы и алгоритмы используются для решения задач, связанных с анализом инженерных сетей?
9. Перечислите решение каких задач предполагает анализ геополей?
10. Почему задача восстановления геополя является некорректной?

Глава 6

ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ВЕКТОРНЫХ КАРТ

Рассматриваются технологии создания цифровых векторных карт на основе исходных бумажных карт и с использованием данных дистанционного зондирования Земли. Указаны способы получения карт по данным наземных измерений и по данным, полученным с помощью спутниковых навигационных систем.

6.1. Получение цифровых карт по исходным бумажным картам

Исходной элементарной единицей для векторизации является лист карты или плана на бумажном, лавсановом или ином (твердом) носителе. Обычно используется следующий алгоритм получения векторных цифровых карт. На первом шаге ведется сканирование исходного листа карты или плана. Полученное с помощью сканера растровое изображение листа карты на втором шаге подготавливается к векторизации. На третьем шаге осуществляется собственно векторизация растрового изображения. На четвертом шаге идентифицируются или уточняются пространственные объекты. Пятый шаг используется для связи пространственных объектов с заполняемой на этом же шаге базой атрибутивных данных по этим объектам. На шестом шаге выполняются комплексные проверки полученной векторной карты и ведется редактирование ошибок.

Очень удобная *исходная установка для векторизации* – принять, что каждый лист карты внутри себя однороден (объекты, их пространственные отношения, точность их положения зафиксированы на момент создания карты или плана в полном соответствии с их действительным положением на местности).

К сожалению, как правило, исходные карты и планы на бумажных и иных носителях неоднородны внутри каждого листа, в смысле, что их состояние зафиксировано на разные моменты времени. Соответственно, пространственные отношения между объектами вследствие указанной неоднородности на исходном материале могут быть зафиксированы неверно. Следует всегда иметь в виду, что ситуация на исходном картматериале при цифровании автоматически фиксируется в цифровой карте в виде формализованной структуры отношений (например, топологических отношений).

Поэтому исходная установка на адекватную передачу в цифровой карте объектов и отношений между ними, *зафиксированных* на исходной карте, не гарантирует адекватную фиксацию действительной ситуации на местности.

Структура затрат на создание векторной карты для ГИС включает затраты на подготовку карты, ее векторизацию, идентификацию пространственных объектов и связь их с базой атрибутивных данных, а также необходимые проверки и редактирование. В полном технологическом цикле подготовки векторной карты наиболее часто выделяемые стадии – как векторизация, так и идентификация объектов и связь с базой атрибутивных данных – могут на практике занимать от 20 до 50 процентов каждая (совместно занимая обычно не более 80 процентов от всего технологического цикла). Соответственно, экономия времени за счет ускорения работ на этих стадиях имеет важнейшее значение.

Экономия времени за счет векторизации применительно к обеспечению данными ГИС вопрос достаточно сложный. Самый надежный вариант – повышение скорости за счет подготовки и отбора операторов с высокими профессиональными качествами и создание цифровых карт вручную. В этом случае качество карт гарантировано. При использовании технологии автоматической и/или полуавтоматической векторизации (например, с помощью полуавтоматических программ-векторизаторов EasyTrace и MapEdit) возникает несколько существенных проблем. Во-первых, векторизаторы должны обеспечивать качество, сопоставимое с качеством цифрования вручную хорошо подготовленным оператором. Во-вторых, при низком качестве цифрования встает проблема редактирования созданных цифровых карт, которая может «съесть» значительную часть выигрыша во времени, полученного за счет ускорения цифрования с помощью векторизатора, или даже потребует дополнительного времени. При этом нет гарантии, что все ошибки будут выявлены и корректно исправлены.

Кроме того, для большинства традиционных карт процесс создания по ним цифровой карты во многом представляет собой интерпретацию исходного картматериала в связи с тем, что традиционные карты создавались без расчета на их цифрование и вообще использование в среде ГИС. Интерпретация возникает в случаях цифрования объектов, зафиксированных условными знаками, а также объектов, на которые наложены сверху условные знаки или надписи. Интерпретация необходима и в случае полигональных объектов, границы которых четко не указаны на исходной карте, неверного с точки зрения здравого смысла взаиморасположения объектов на исходной карте (кварталы, лежащие в реке, дорога, идущая через край озера и др.). С увеличением масштаба исходной карты число ситуаций, требующих такой интерпретации, имеет

тенденцию к уменьшению, но вместе с тем затраты на разборку таких ситуаций требуют обычно значительного времени. Иногда используются технологии цифрования, в которых такая интерпретация вообще не проводится – все цифруется как есть на исходной карте, либо когда конкретные решения относятся целиком к компетенции оператора.

Другим методом, альтернативным методу векторизации на основе отсканированного изображения, является метод создания векторных цифровых карт с бумажных носителей, называемый методом дигитализации (сколки). Суть метода заключается в использовании специального устройства – дигитайзера и специального программного обеспечения для поддержки интерактивного режима работы с этим устройством. Этот метод реализован также в некоторых современных ГИС (при этом оператор использует «мышку» при проходе по контурам объектов).

В целом по вопросам цифрования исходных бумажных карт следует сказать, что для создания по ним цифровых карт, учитывающих требования ГИС, необходимы достаточно **высокий уровень затрат, высокий уровень профессиональной картографической подготовки операторов и редакторов** именно в области ГИС.

6.2. Получение карт по данным дистанционного зондирования Земли

Использование данных дистанционного зондирования (ДДЗ) – аэро- и космоснимков – в качестве входных данных для ГИС является безусловно перспективным направлением. Материалы съемок могут быть представлены в виде единого набора растровых изображений, привязанных к нужной координатной системе, и, в отличие от бумажных картографических материалов, действительно могут отражать практически одномоментную фиксацию всех пространственных объектов и отношений между ними.

Следует отметить, что при дешифрировании материалов дистанционного зондирования существует достаточно много подводных камней, и не всегда точность выделения различных объектов будет одинакова, что требует обычно дополнительных измерительных работ на местности.

Как показали исследования, космические методы и средства в настоящее время не являются конкурирующими методам аэрофотосъемки. Вернее, аэросъемка переходит в ранг дополняющих заверочных средств исследования земной поверхности. Суть экономичного и иерархического сбора данных заключается в максимальном получении информации космическими средствами, восполнении и детализации недостающих данных космической съемкой лучшего разрешения и аэросъемкой и, наконец, в заверке на местности полученных данных (вместо дорогих и трудоемких тотальных обследований на местности).

Использование ДДЗ при мониторинге территорий города и региона выглядит следующим образом.

1. Использование мелко- и среднемасштабных (1:1000 000–1:500 000) космоснимков для анализа общего состояния урбанизации региона, коммуникационного (по транспортным путям) взаимодействия крупных промышленных центров и т. д.

Этот уровень обеспечивается космическими съемками с отечественных и зарубежных спутников серии «Ресурс-0» (камера МСУ-Э, разрешение 45–50 м), Landsat (ТМ, разрешение 28–30 м), SPOT (ХМ, разрешение 20 м), «Ресурс-Ф» (камеры КА-20, КА-200, разрешение 15–30 м), «Алмаз-1» (используется радиолокационная синтезированная апертура, разрешение 18–20 м). Объектная генерализация таких данных 100–500 м, что соответствует картографическим масштабам 1:50000–1:200000.

2. Хорошими детализующими данными для предыдущего уровня являются снимки близких масштабов (1:100 000–1:300 000), но высокого разрешения, с космических систем типа SPOT (Pan, разрешение 10 м), «Ресурс-Ф» (камеры МК-4, КФА-1000, КФА-3000, разрешение 8–12, 5–10, 2–3 м). Их совмещение с данными меньшего разрешения позволяет выявить объектную структуру и детали городской застройки на фоне зональных и синтезированных снимков большей генерализации; кроме того, на спектрзональных цветных фотоснимках камер МК-4 и КФА-1000 фотогеничнее выглядят лесные массивы и другие растительные компоненты, что важно при изучении зеленых зон городов, дачных и коттеджных застроек, различные нарушения различной природы, но плохо выделяются зоны загрязнений по прямым признакам. Объектная генерализация этого уровня 10–100 м, что соответствует картографическим масштабам 1:10000–1:50000.

3. Для более детального анализа городской застройки, проведения инженерных изысканий, ведения градостроительного кадастра, обеспечения муниципальных ГИС и уточнения недешифрируемых деталей по ДДЗ предыдущих уровней целесообразно использовать специальную космическую съемку с разрешением 1–10 м или аэро-съемку. По этим данным обычно строятся цифровые модели рельефа и создаются объектные карты, совмещаемые с картами зонирования, получаемыми на предыдущих уровнях, что позволяет более точно учесть особенности местности, рельеф, влияние экспозиции, ландшафтные закономерности и т. д. Детальную информацию получают со спутников типа SPOT, «Ресурс-Ф» (камеры ТК-350, КВР-1000) и перспективных спутниковых систем типа QuickBird или системы компании Space Imaging с разрешением 1 м.

4. Выборочное уточнение урбанизированных территорий, обновление планов городской застройки, выявление аварийных ситуаций в тепловых, транспортных и электрических сетях, проведение предпроектных работ и архитектурного дизайна с учетом природных факторов осуществляется на основе аэросъемки; она, как и космосъемка, может проводиться цифровыми сканерами (типа МСУ-Э), фотокамерами (АФА, МКФ-6 и т. п.) и специальными средствами (тепловизоры типа «Вулкан», радиолокаторы и др.). Детальность съемки может достигать десятых долей метра.

Следует считать, что с возрастанием объемов ДДЗ ключевой проблемой становится проблема автоматизированной интерпретации (дешифрации) аэрокосмических снимков. Решение этой проблемы в настоящее время ведется, в основном, с использованием теории распознавания образов. Изучение методов решения проблемы продолжает оставаться крайне актуальным направлением научных исследований.

6.3. Получение карт по данным наземных измерений и по данным спутниковых систем

Использование данных спутниковых навигационных систем GPS или ГЛОНАСС о координатах движущихся объектов, получаемых с помощью наземных приемников и данных электронных тахеометров – измерителей пройденных расстояний – позволяет накапливать пространственные данные в цифровой форме и использовать их непосредственно в среде ГИС, минуя промежуточные материалы на бумажной основе. Хранение материалов непосредственно в цифровой форме снимает проблему создания твердых копий и проблему использования уже отснятых границ смежных объектов при новых съемках. Опыт показывает, что использование указанных приборов при достаточно больших объемах работ (тысячи объектов, тысячи погонных километров автодорог и т. п.) позволяет *снизить стоимость* съемок в сравнении с традиционными бумажными технологиями в 3–4 раза и более. Существенно также значительное увеличение скорости съемок (в 3–4 раза). При традиционной съемке с помощью геодезических приборов работы, например, по территории достаточно крупного города могут занять 5–10 и более лет, в результате чего степень актуальности проведенных измерений будет существенно различаться. Увеличение скорости съемок с помощью GPS-приемников с завершением их в 1–2 года позволит получить значительно более однородный цифровой картографический материал.

Пользовательские приемники GPS могут быть разделены на кодовые с точностью позиционирования 30–100 м, кодово-фазовые – 0,5–3 м и фазовые с точностью позиционирования 5–50 мм. Кодовая аппаратура работает

в автономном режиме, но может работать и в дифференциальном режиме позиционирования (DGPS). Последний режим заключается в том, что по радиоканалу от базовой станции на удалении до 100–150 км могут приниматься дифференциальные поправки двухуровневой точности – до 10 м и до 1 м.

Современные приемники имеют внутреннюю память и тогда разовые определения местоположения можно осреднить в течение определенного промежутка времени, получая точность позиционирования 7–10 м даже без DGPS.

6.4. Вопросы и задания для самопроверки

1. Какой метод получения векторных цифровых карт по картам на бумажном носителе в настоящее время является наиболее популярным?
2. Какие сложности могут возникнуть при сканировании бумажной карты?
3. Назовите варианты повышения качества векторизации. Дайте их сравнительный анализ.
4. В чем преимущество использования GPS-приемников при создании карты в отличие от использования метода векторизации?
5. В чем суть иерархического способа сбора пространственных данных?
6. Докажите, почему четырех уровней детализации при использовании ДЗЗ достаточно для получения карт практически значимых масштабов.
7. В каких случаях можно считать, что проведение съемок на местности с помощью GPS-приемников позволяет получать однородный картографический материал?

Глава 7

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГИС

Ниже кратко рассматривается программное обеспечение наиболее популярных векторных и растровых ГИС, описываются информационно-поисковые Интернет-ГИС. Дается понятие ГИС-приложений, приводится их классификация, а также подробно описываются методы и подходы к их разработке.

7.1. Программное обеспечение универсальных векторных ГИС

Среди универсальных векторных ГИС особое место занимает линейка ГИС компании ESRI (США).

7.1.1. Семейство программных продуктов ArcGIS 9

Компания ESRI, признанный лидер в области ГИС, предлагает семейство программных продуктов ArcGIS 9. Платформа ArcGIS 9 является оптимальным решением для построения корпоративной ГИС, фундамента информационной системы эффективного управления крупными государственными и коммерческими организациями.

ArcGIS 9 построена на основе стандартов компьютерной отрасли, включая объектную архитектуру COM, .NET, Java, XML, SOAP, что обеспечивает поддержку общепринятых стандартов, гибкость предлагаемых решений, широкие возможности взаимодействия. Фундаментальная архитектура ArcGIS 9 обеспечивает ее использование во многих прикладных сферах и на разных уровнях организации работы пользователей ГИС.

База геоданных – это созданная компанией ESRI модель, определяющая структуру и правила хранения различных видов данных – векторных и растровых, адресных точек, данных геодезических измерений и многих других. Данная модель позволяет эффективно хранить разнородные данные и с легкостью использовать их в сложных проектах и системах. В базе геоданных пользователи могут задавать правила и отношения внутри хранилища, которые определяют поведение пространственно взаимосвязанных объектов и объектных классов и обеспечивают целостность данных. Модель можно редактировать как в многопользовательском режиме, так и в автономном режиме, с возможностью синхронизации версий.

ArcGIS 9 содержит более 450 инструментов: для проведения пространственного анализа данных, конвертации, управления данными, геокодирования, динамической сегментации, картографии, работы с растрами; от средств выполнения оверлейных операций, построения буферных зон, инструментов для выявления пространственных закономерностей и управления данными до расширенных возможностей обработки растров, от методов интерполяции и оценки качества данных, зональной фильтрации, многофакторного анализа, растровой алгебры, построения и проверки топологии, до построения графических схем.

В этой системе имеются развитые средства для производства качественных картографических продуктов со всеми необходимыми элементами зарамочного оформления, с использованием способа прозрачности, собственных или уже готовых стандартных условных знаков, штриховок, градуированных символов, картограмм и диаграмм. Имеется также автоматическая генерация схем сетевых объектов, представление данных, изменяющихся во времени, а также возможность 3D-визуализации, расширяющая области применения ГИС.

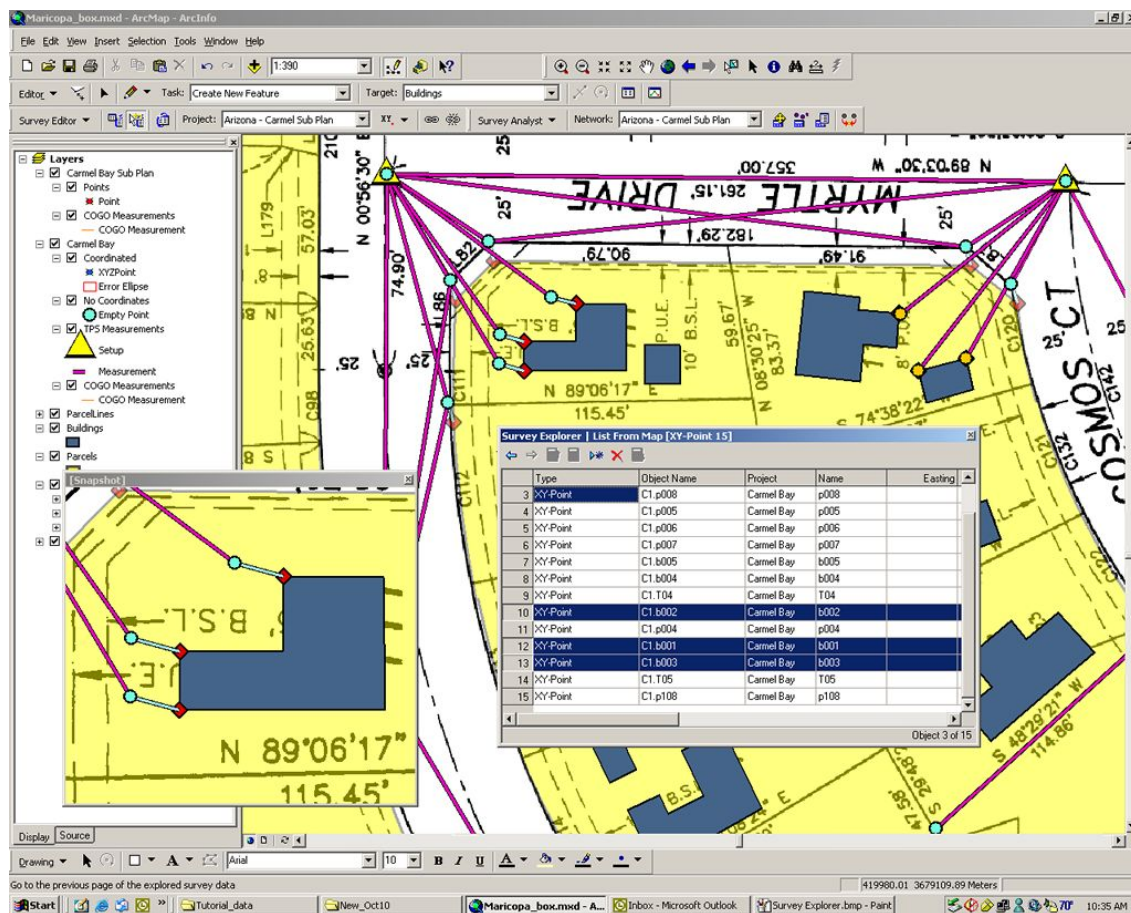


Рис. 7.1. Внешний вид ГИС ArcGIS 9

В ArcGIS можно быстро создать реалистичную виртуальную 3D-сцену на основе пространственных данных как локального уровня, так и в масштабе всей Земли, с использованием цифровых моделей рельефа, космических и аэроснимков, любых векторных данных и фотореалистичных моделей объектов.

В линейке программных продуктов семейства ArcGIS 9 особое место занимают настольные ГИС. Эти геоинформационные системы решают ряд задач локального и корпоративного уровня. Настольные продукты компании ESRI семейства ArcGIS 9 (ArcView, ArcEditor, ArcInfo) объединяет общая архитектура и интерфейс. Кроме того, у них используются единые базовые приложения ArcMap (решение картографических задач), ArcCatalog (доступ и управление пространственными данными в локальной сети или через Интернет) и ArcToolbox (геообработка пространственных данных), но продукты различаются по функциональности, количеству инструментов геообработки и пространственного анализа. Рассмотрим это программное обеспечение подробнее.

ArcGIS ArcView – базовый продукт семейства ArcGIS 9, полнофункциональная ГИС с набором мощных инструментов для создания, управления, анализа и визуализации пространственных данных.

ArcGIS ArcEditor – сочетает функциональность ArcView с возможностями создания и моделирования баз геоданных (БГД). Уникальный механизм обеспечивает поддержку целостности и многопользовательского редактирования БГД, управление версиями, построение топологии и геометрических сетей.

ArcGIS ArcInfo – расширяет функциональность вышеперечисленных продуктов (ArcView, ArcEditor) набором мощных инструментов для пространственного анализа и геообработки данных.

В семействе ArcGIS 9 имеются также и программные средства серверных ГИС.

ArcGIS Server предназначен для создания корпоративной ГИС с неограниченным числом полнофункциональных рабочих мест: клиентом может быть как настольное, так и веб-приложение. ArcGIS Server предоставляет инструментарий для создания веб-приложений, веб-служб и других корпоративных приложений, работающих под управлением стандартных NET и J2EE веб-серверов, обеспечивает централизованное управление ресурсами: картами, службами геокодирования и программными объектами, задействованными в приложениях.

ArcIMS – продукт для публикации пространственных данных и картографической продукции в сетях интранет/интернет с возможностью геокодирования, анализа и поиска данных по различным критериям. Служит основой для создания порталных решений, работает под управлением стандартных веб-серверов.

ArcSDE – обеспечивает хранение пространственных данных под управлением внешней СУБД (Oracle, Microsoft SQL Server, IBM DB2 и Informix). Для представления и хранения информации используется объектно-реляционная модель – база геоданных, позволяющая описывать не только геометрию объектов, но и их поведение, правила, взаимосвязи с другими классами объектов и объектами базы геоданных. Поддерживается работа с различными версиями данных, длительные сеансы редактирования и автономное редактирование. ArcSDE обеспечивает интеграцию ArcGIS с другими ГИС и САПР.

Для разработчиков предлагается **ArcGIS Engine** – набор библиотек встраиваемых программных компонентов и инструментов для создания пользовательских ГИС-приложений. ArcGIS Engine позволяет реализовать все функции настольных ГИС в разрабатываемых приложениях.

Для пользователей мобильных устройства предлагаются программные средства мобильной ГИС **ArcPad**. ArcPad позволяет проводить оперативный сбор, автономное редактирование пространственных данных в полевых условиях с использованием GPS-приемников, цифровых фотокамер и других устройств. ArcPAD интегрирован с настольными продуктами ArcGIS (ArcView, ArcEditor, ArcInfo), работает на мобильных устройствах под управлением операционных систем Windows CE и Pocket PC.

Стоит также отметить, что для семейства ArcGIS компанией ESRI предлагается широкий спектр дополнительных модулей, предназначенных для решения различных прикладных задач.

7.1.2. Программные средства ГИС MapInfo Professional 8.5

Универсальная ГИС MapInfo Professional 8.5 разработана компанией MapInfo Corp. (США). По многочисленным оценкам она занимает второе место в России по распространенности. Являясь настольной ГИС, эта система ориентирована на широкий круг пользователей.

Система обладает большим набор функций для работы с нетопологическими пространственными данными. Для хранения данных в системе используются таблицы. *Таблица* представляет собой реляционную базу данных, в которой хранятся как атрибутивные, так и пространственные данные. Каждая такая таблица может быть представлена как слой карты. В ГИС MapInfo Professional поддерживается несколько типов таблиц: обычные векторные, растровые, сшитые, внешние, временные. Для хранения данных можно также использовать БД, управляемые внешними СУБД, например, Oracle и Microsoft SQL-сервер.

ГИС MapInfo Professional имеет развитые средства визуализации и редактирования картографических данных (рис. 7.2), средства темати-

ческого картирования (диапазоны, диаграммы, размерные символы, плотность точек, индивидуальные значения).

Для работы с растровыми изображениями в системе предусмотрено два режима: с регистрацией и без него. Первый используется для совмещения координатно-привязанных растров с векторными данными, а второй – только для их просмотра. MapInfo Professional поддерживает большое число графических форматов, в том числе используемых для хранения данных ДДЗ.

В системе имеются развитые средства деловой графики, позволяющие формировать различные графики (линейные, столбчатые, круговые, площадные, трехмерные и др.). Все графики строятся по данным, хранимым в таблицах. Все сформированные в ГИС данные (картографические, табличные, деловая графика и др.) могут быть выведены на печать. Для этого в системе предусмотрен механизм создания макета печати.

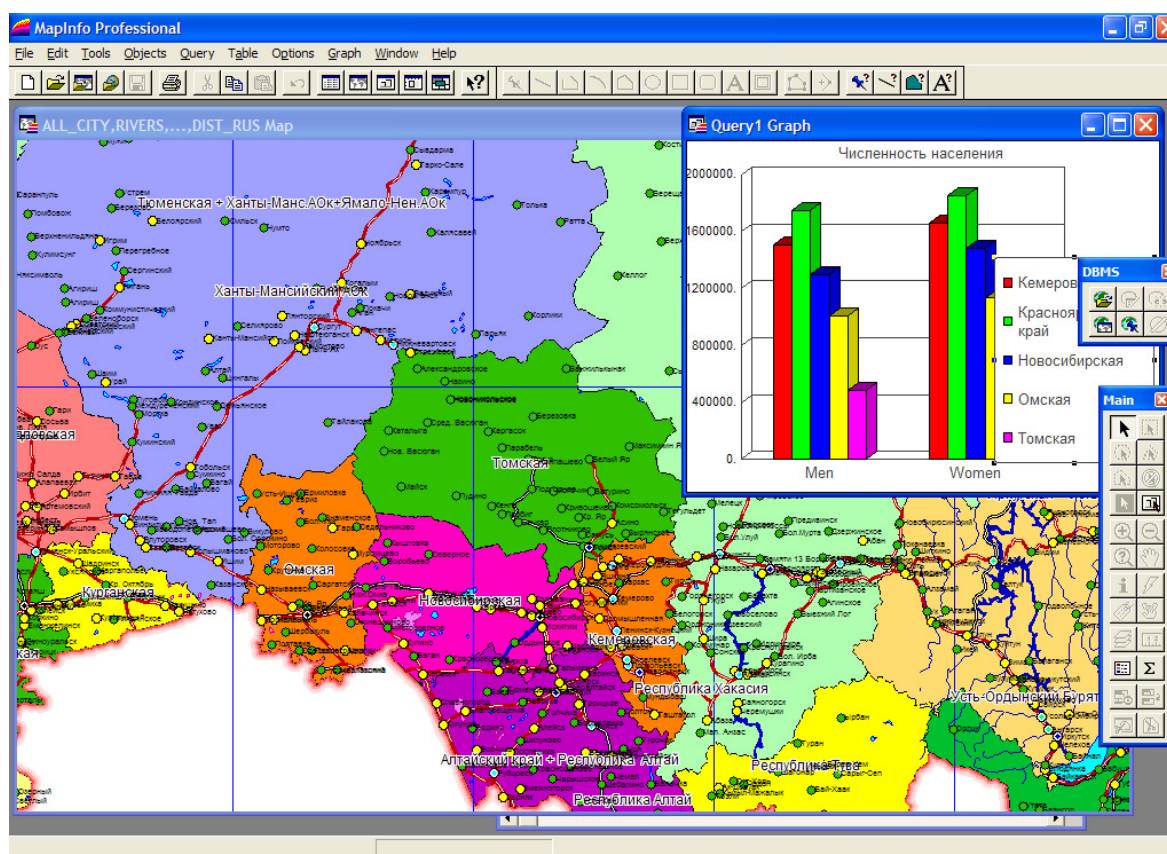


Рис. 7.2. Средства визуализации в ГИС MapInfo Professional 8.5

Для расширения возможностей этой системы используется специальный язык программирования MapBasic. С помощью этого языка можно модифицировать интерфейс пользователя, добавлять к ГИС новые функции, управлять картами и т. д. В языке также предусмотрена возможность подключения динамических библиотек (DLL). Компания

MapInfo Corp. и сторонние разработчики предлагают дополнительные модули, предназначенные для решения различных прикладных задач.

7.2. Программное обеспечение универсальных растровых ГИС

7.2.1 ГИС ERDAS Imagine 8.7

Программное обеспечение растровой ГИС ERDAS Imagine 8.7 представляет собой комплекс программных продуктов для обработки данных дистанционного зондирования Земли и работы с пространственными данными. Среди растровых ГИС на сегодняшний день эта система является наиболее распространенной.

ГИС ERDAS Imagine 8.7 используется, в первую очередь, для работы с растрами, полученными в результате аэро- или космосъемки. Система предлагается в трех версиях: Imagine Essentials, Imagine Advantage и Imagine Professional.

Несмотря на то, что эта система является растровой, она поддерживает многие модели и форматы векторных данных. По архитектурному принципу построения эта ГИС является открытой программной системой.

7.2.2. ГИС ER Mapper 6.4

Разработанная компанией Earth Resource Mapper (Австралия), растровая ГИС ER Mapper является одной из мощнейших в мире систем для обработки ДДЗ и их последующего пространственного анализа. Как и ГИС ERDAS Imagine, эта система не является чисто растровой, а поддерживает многочисленные векторные форматы данных. Основной функционал системы ориентирован на обработку аэро- и космоснимков.

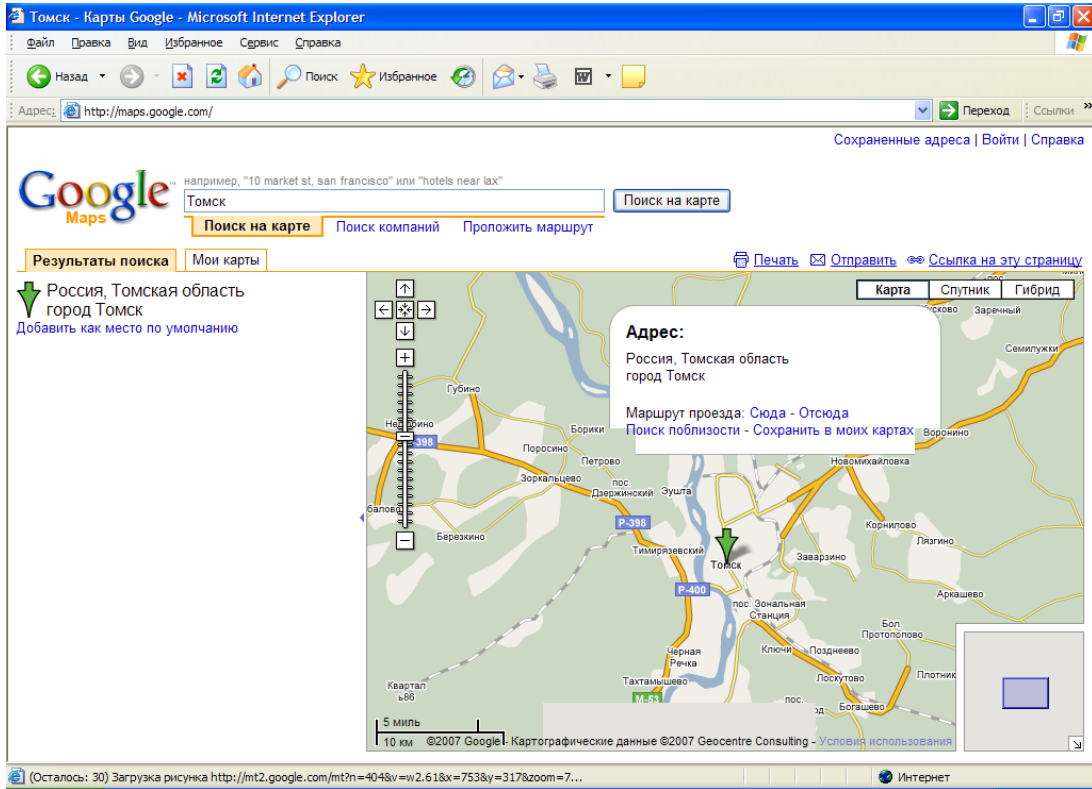
Ключевое понятие системы «алгоритм» – последовательность действий, выполняемых системой над исходными изображениями. Это позволяет автоматизировать однотипные задачи обработки ДДЗ, исключая сохранение на диске промежуточных результатов обработки.

Программные средства ER Mapper представляют собой комплекс программных библиотек.

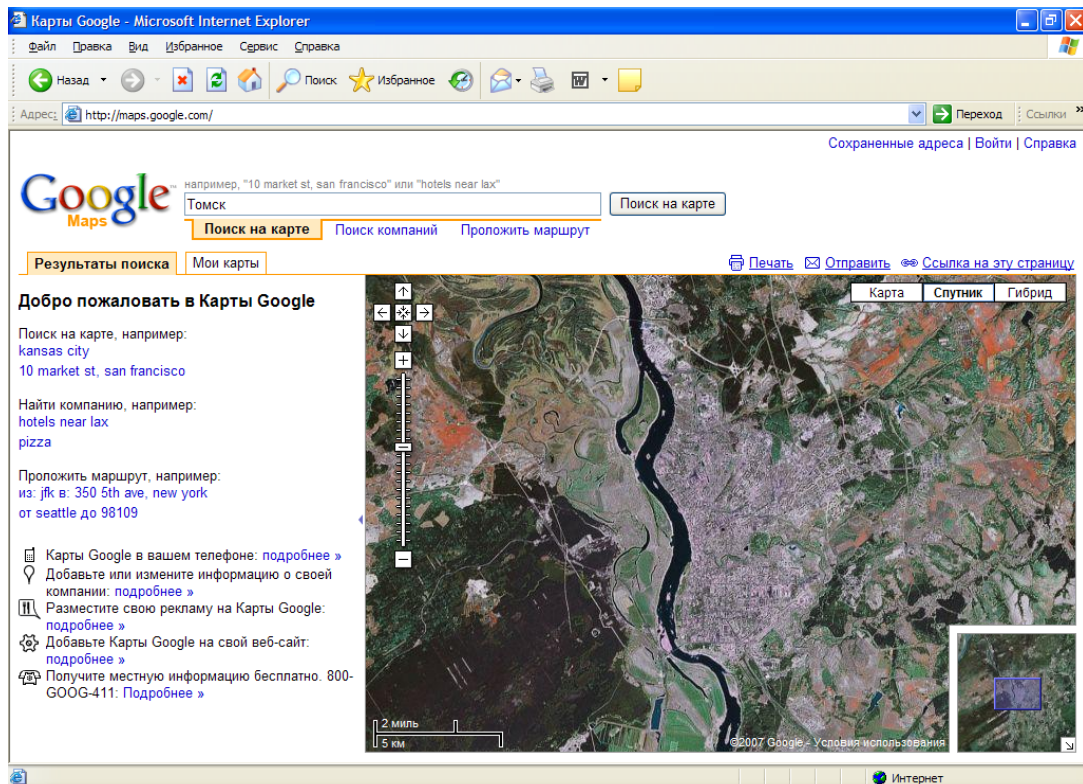
7.3. Системы Интернет-ГИС

7.3.1. Информационно-поисковый веб-сервис Google Maps

Информационно-поисковый веб-сервис Google Maps (<http://maps.google.com>), появившийся в 2005 году, стал поистине знаковым событием в области Интернет-ГИС. Во-первых, компания Google сделала общедоступным огромный объем картографического материала для пользователей сети Интернет в режиме онлайн (причем объем



а



б

Рис. 7.3. Информационно-поисковый веб-сервис Google Maps
а – в режиме «карта», б – в режиме «спутник»

картографического материала продолжает увеличиваться и материалы обновляются). Во-вторых, для доступа к картографическим данным используется обычный браузер (Internet Explorer, Firefox, Opera и др.), а операции по работе с картой просты и интуитивно понятны. В-третьих, для просмотра данных можно использовать три режима: «карта» (векторный), «спутник» (растровый) и гибридный (рис. 7.3). В-четвертых, сервис тесно интегрирован с поисковой системой Google, позволяя выполнять поиск городов, улиц, достопримечательностей, компаний и др. с визуализацией результатов поиска на карте.

7.3.2. Информационно-поисковая ГИС Google Earth

Вслед за веб-сервисом Google Maps компания Google выпустила информационно-поисковую ГИС Google Earth. Эта Интернет-ГИС предоставляет такие же возможности, что и веб-сервис Google Maps, но в отличие от него является «толстым клиентом» и представляет собой клиентское Windows-приложение. Как и Google Maps эта система позволяет обращаться к картографическим данным Google в режиме онлайн. Функционал этой ГИС включает средства навигации по карте, механизм управления слоями, механизм поиска объектов на карте, возможность работы с закладками. Пожалуй самая впечатляющая возможность Google Earth – это возможность трехмерной интерактивной визуализации картографических данных. Однако пока для трехмерной визуализации доступны модели только наиболее крупных городов мира.

7.3.3. Другие информационно-поисковые веб-сервисы

Успех компании Google подтолкнул разработчиков поисковых систем к разработке подобных информационно-справочных систем. Так

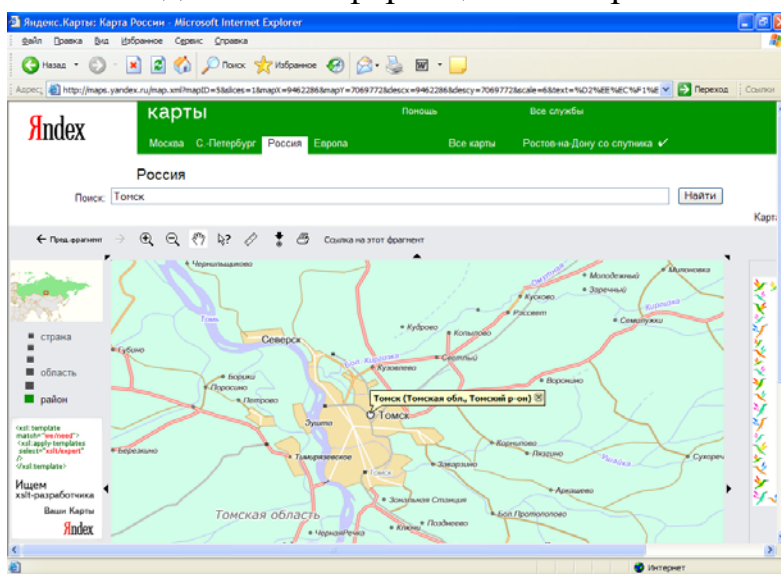


Рис. 7.4. Информационно-поисковый веб-сервис Яндекс Карты

компанией Microsoft был предложен схожий по возможностям сервис MSN Virtual Earth (<http://maps.microsoft.com>). Данный сервис также тесно интегрирован с поисковой системой MSN Search.

Российские разработчики поисковых систем не отстают от зарубежных и предлагают похожие сервисы. На поисковом ресурсе Яндекс (<http://masp.yandex.ru>) появился сервис Карты (рис. 7.4). Интерактивная карта также доступна на другом российском поисковом ресурсе Rambler (<http://nakarte.rambler.ru>).

7.4. Картографические программные модули

Ведущие производители геоинформационных систем предлагают разработчикам *картографические программные модули*, на базе которых можно легко создавать собственные ГИС. Обычно такие компоненты представляют собой объектно-ориентированные библиотеки картографических функций, выполненных на основе COM- или .Net-технологий.

Картографический модуль MapX. Это набор программных компонентов от компании MapInfo Corp., позволяющий создавать собственные ГИС. MapX поддерживает технологию COM и ориентирован на платформу Win32. Важно, что приложения, созданные на основе MapX, не требуют наличия ГИС MapInfo Professional. В настоящее время компания MapInfo Corp. активно продвигает другой продукт – **MapXstream**. В отличие от MapX MapXstream позволяет создавать не только независимые приложения, но и разрабатывать серверную часть Интернет-ГИС. Кроме того, MapXstream поддерживает более современную платформу разработки приложений .Net.

Картографический модуль ArcObjects. Это набор компонентов от компании ESRI, включающий более 1200 объектов, которые могут быть использованы для настройки, расширения и построения ГИС-приложений на базе ArcGIS.

ArcObjects – это платформа разработки для таких модулей ArcGIS, как ArcMap, ArcCatalog и ArcScene. Программные компоненты ArcObjects охватывают полный диапазон функциональных возможностей, доступных в ArcInfo и ArcView для разработчиков программ.

7.5. ГИС-приложения

7.5.1. Общие положения

При решении некоторых прикладных задач базовых возможностей ГИС не всегда бывает достаточно. Современные универсальные ГИС имеют модульную структуру и благодаря этому позволяют наращивать их возможности за счет подключения новых внешних модулей. Таким обра-

зом, если для решения той или иной задачи возможностей ГИС недостаточно, то возникает дилемма: либо найти ГИС, у которой возможности предусмотрены, либо расширять возможности имеющейся ГИС. Можно, конечно, идти по пути наименьшего сопротивления: для каждой задачи выбирать наиболее подходящую ГИС. В этом случае вся нагрузка приходится на конечного пользователя. Ведь он для решения своих задач должен неплохо разбираться в нескольких ГИС, причем эта нагрузка будет расти при выборе каждой новой ГИС. Практика показывает, что пользователю свойственен консерватизм. Если человек хорошо освоил одну систему, то ему не хочется сразу осваивать другие, даже более совершенные системы. Более того, происходит привыкание к интерфейсу, стилю работы с системой. Пользователь приветствует нововведения, если они не меняют устоявшиеся принципы его работы, а лишь дополняют их. **ГИС-приложения**, созданные в среде универсальной ГИС, как раз и должны вносить такие дополнения и усовершенствования без смены системы.

7.5.2. Классификация ГИС-приложений

С точки зрения степени автоматизации решаемых задач ГИС-приложения можно разделить на два класса: специализированные ГИС и ГИС-средства (рис. 7.5).

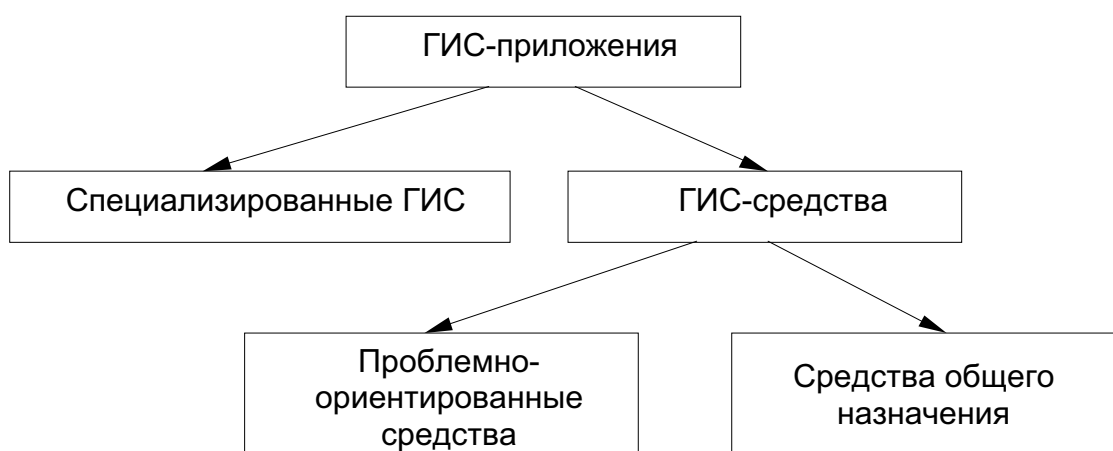


Рис. 7.5. Классификация ГИС-приложений, созданных на основе универсальной ГИС

Главной особенностью **специализированных ГИС**, как и у специализированных систем вообще, является их четкая проблемная ориентация, высокая степень автоматизации труда пользователя и ограниченное (обычно не очень большое) число функций. Часто специализированные ГИС разрабатываются как автоматизированные рабочие места с ограниченными возможностями и предельно простым интерфейсом, например, ГИС для системы мониторинга водных ресурсов, специализированные

картографические вьюверы и т. п. В некоторых случаях специализированные ГИС являются подсистемами крупных информационных систем.

ГИС-средства представляют собой набор дополнительных инструментальных средств для решения прикладных задач в среде универсальной ГИС. С помощью таких средств можно решать трудно автоматизируемые задачи, где в процессе работы человеческий фактор имеет решающее значение.

К достоинствам ГИС-средств следует отнести их функциональную гибкость. Так как ГИС-средства только добавляют к универсальной ГИС новые возможности, становится возможным использование *одновременно* нескольких ГИС-средств. По сравнению со специализированными ГИС уровень автоматизации труда пользователя при применении ГИС-средств ниже.

В свою очередь, ГИС-средства можно разделить также на два класса программных средств: проблемно-ориентированные ГИС-средства и ГИС-средства общего назначения (рис. 7.5). Основное отличие **проблемно-ориентированных ГИС-средств** от **ГИС-средств общего назначения** – это наличие проблемной ориентации на определенный круг задач. Напротив, с помощью ГИС-средств общего назначения можно решать достаточно широкий круг задач (классы задач). Более того, ту или иную задачу можно разбить на ряд подзадач, каждую из которых можно решить с помощью ГИС-средств общего назначения. Таким образом, ГИС-средства общего назначения обладают наибольшей функциональной гибкостью. Они рекомендуются достаточно «продвинутому» специалистам, понимающим принципы функционирования таких средств, области их применения и особенности используемого математического аппарата. При этом специалист должен самостоятельно разбить решаемую задачу на этапы, определить методы их решения и выбрать для ее решения необходимые ГИС-средства.

7.5.3. Методы и подходы к созданию ГИС-приложений

В настоящее время существуют несколько основных методов создания специализированных ГИС на основе универсальных систем. Первый метод заключается в создании внешних программных модулей, работающих в среде универсальной ГИС. Такие модули не могут работать без базовой ГИС. Как правило, модули реализуются с помощью специализированных макроязыков, интерпретаторы которых встроены в ядро универсальной ГИС. Часто возможностей макроязыка не достаточно для решения тех или иных задач, поэтому макроязыки должны иметь средства для встраивания программ, написанных на языках другого уровня (механизмы DLL, OLE и др.). Рассмотрим первый метод подробнее.

При создании специализированных ГИС на основе универсальных ГИС практически полностью изменяется интерфейс пользователя. В интерфейс закладывается доступ только к тем функциям ГИС (и, следовательно, к реализующим этими функции программным модулям), которые необходимы для решения задач, определенных областью применения специализированной ГИС. Доступ к остальным функциям (программным модулям) универсальной ГИС блокируется. Таким образом, интерфейс пользователя упрощается, становится более понятным конкретному специалисту. На рис. 7.6 показана обобщенная структура программного обеспечения специализированных ГИС, созданных на основе универсальной ГИС.

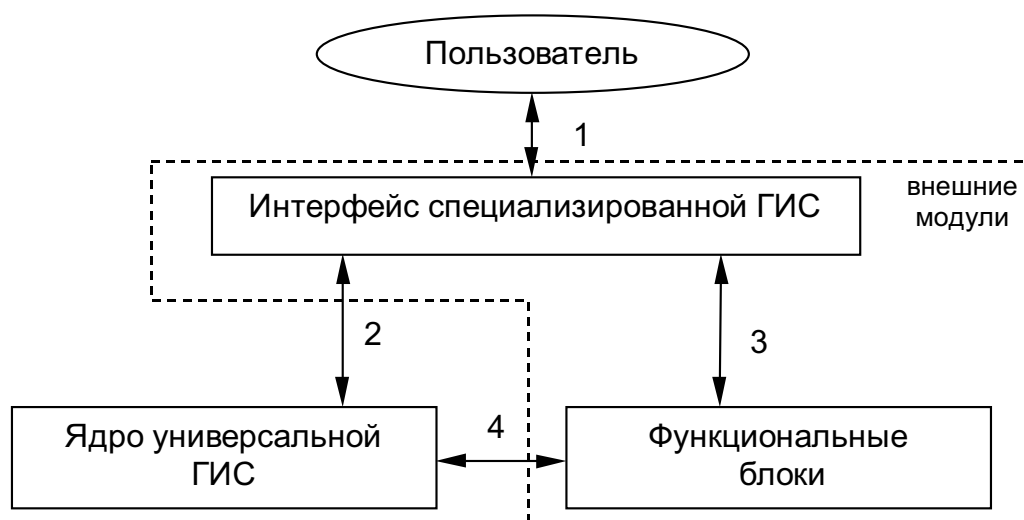


Рис. 7.6. Обобщенная структура программного обеспечения специализированных ГИС, созданных на основе универсальной ГИС

Взаимодействие пользователя с ГИС осуществляется через интерфейс пользователя (связь 1). Все процессы, выполняемые специализированной ГИС, реализуются внешними программными модулями, которые создают проблемно-ориентированный интерфейс пользователя и обеспечивают связь функциональных блоков. Каждый из таких блоков решает определенную задачу по автоматизации процессов и является внешним по отношению к ядру ГИС. При решении задач, требующих пространственного анализа, необходим доступ к функциям ядра универсальной ГИС (связь 4). В редких случаях интерфейс пользователя позволяет обратиться к функциям ядра универсальной ГИС напрямую, минуя функциональные блоки (связь 2). Во всех остальных случаях задействуются функциональные блоки (связь 3).

Во втором методе используется технология клиент-сервер. В качестве клиента выступает программа, которая решает производственные

задачи, например, обработки данных. Эта программа делает запросы к другой программе – серверу. В качестве сервера используется программное обеспечение универсальной ГИС. Сервер выполняет запросы клиента и передает ему результаты. Так как такая технология базируется на механизмах DDE и OLE, универсальная ГИС должна иметь возможность работать в режиме сервера и отвечать на внешние запросы. Второй метод получил свое дальнейшее развитие с усовершенствованием COM-технологии. Почти все ведущие производители универсальных ГИС выпустили программные продукты, представляющие собой компоненты ActiveX. Каждый из этих продуктов реализует большинство функций ядра универсальной ГИС, разработанной той или иной компанией. С помощью таких компонент, используя интегрированные средства разработки приложений (Visual Studio, Delphi, C++Builder и др.), можно достаточно быстро создавать программное обеспечение специализированных ГИС. Важно, что созданные программы являются исполняемыми (EXE) и не требуют универсальной ГИС¹.

Основными достоинствами специализированных ГИС является высокая степень автоматизации труда специалиста при решении производственных задач и наличие простого проблемно-ориентированного интерфейса пользователя. К недостаткам можно отнести их слабую гибкость и невозможность расширения без изменения программного кода (для этого необходимо наличие исходных текстов программ и их спецификации).

С точки зрения интерфейса пользователя отличие ГИС-средств от специализированных ГИС заключается в том, что к интерфейсу универсальной ГИС *добавляются* новые элементы, реализующие доступ к новым функциям. На рис. 7.7 показана структура ГИС-средств, созданных на основе программного обеспечения универсальной ГИС. Доступ к функциям универсальной ГИС реализуется через интерфейс последней. Интерфейс ГИС-средства реализует доступ к *дополнительным* функциям, позволяющим решать задачи, выполнение которых стандартными средствами универсальной ГИС или невозможно, или затруднительно (связи 2 и 4). В ряде случаев через интерфейс ГИС-средства возможен доступ к функциям ядра универсальной ГИС (связи 2 и 5). Хотя такой подход приводит к тому, что могут дублироваться некоторые функциональные возможности системы, он позволяет создавать ГИС-средства концептуально более понятными и удобными. Функциональные блоки могут использовать функции ядра универсальной ГИС (связь 6).

¹ Вместо этого производители требуют приобретения лицензии на право использования компонент.

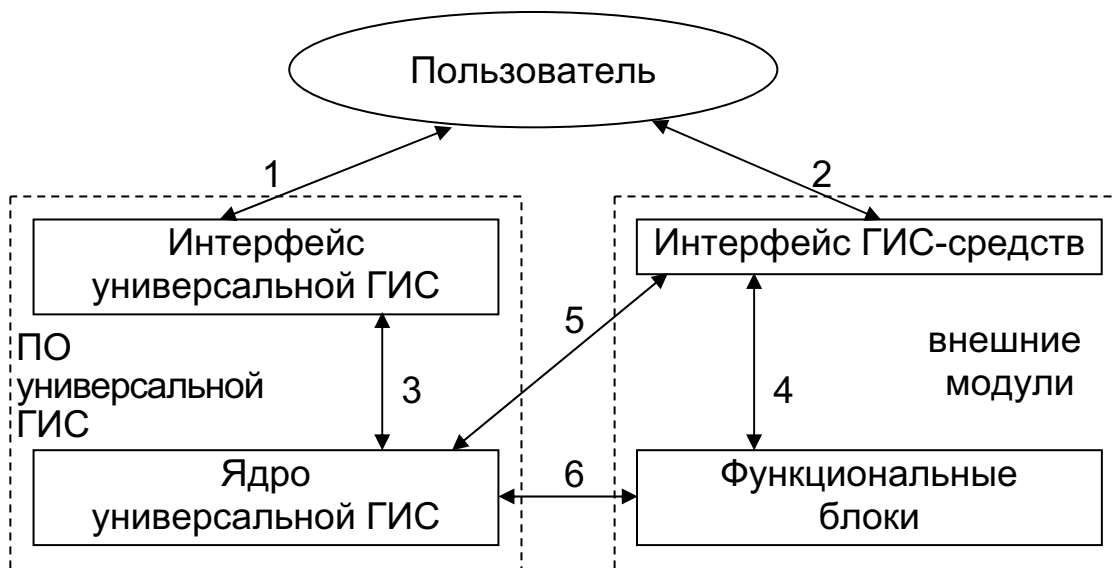


Рис. 7.7. Структура ГИС-средств, созданных на основе программного обеспечения универсальной ГИС

Проблемно-ориентированные ГИС-средства предназначены, прежде всего, специалистам, хорошо представляющим специфику решаемых задач, но слабо разбирающихся в принципах функционирования этих средств и особенностях используемого математического аппарата. Такие ГИС-средства дают средний уровень автоматизации труда пользователя. Приобретение навыков работы у пользователя может достигаться либо с помощью мастеров (wizards), которые «ведут» специалиста от этапа к этапу, либо путем четкого выделения этапов через интерфейс пользователя. В первом случае наличие пояснений, примеров и иллюстраций непосредственно в интерфейсе пользователя позволяет интуитивно понять смысл каждого из этапов. Применение данного подхода целесообразно в тех случаях, когда задачу можно разбить на ряд последовательных подзадач (рис. 7.8).

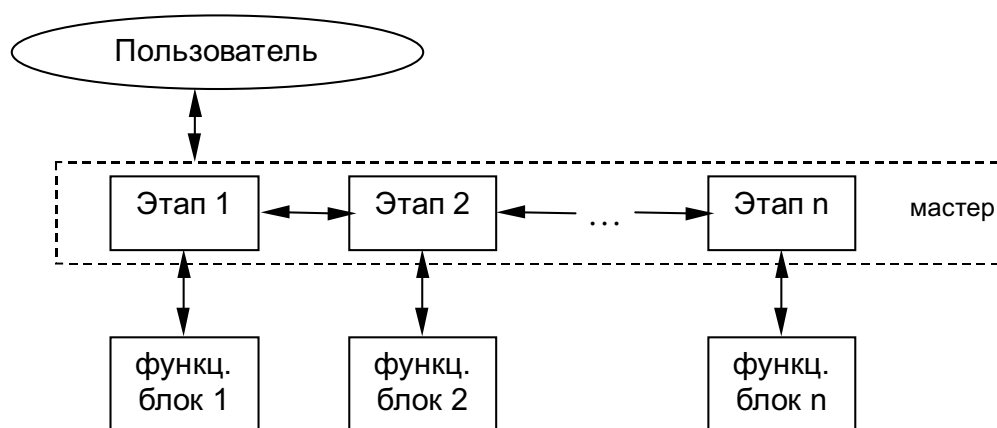


Рис. 7.8. Структура ГИС-средств при использовании мастеров

Если задачу невозможно разбить на ряд последовательных подзадач, то применяют второй подход. В этом случае у пользователя больше возможностей по выбору методов решения задачи (рис. 7.9).

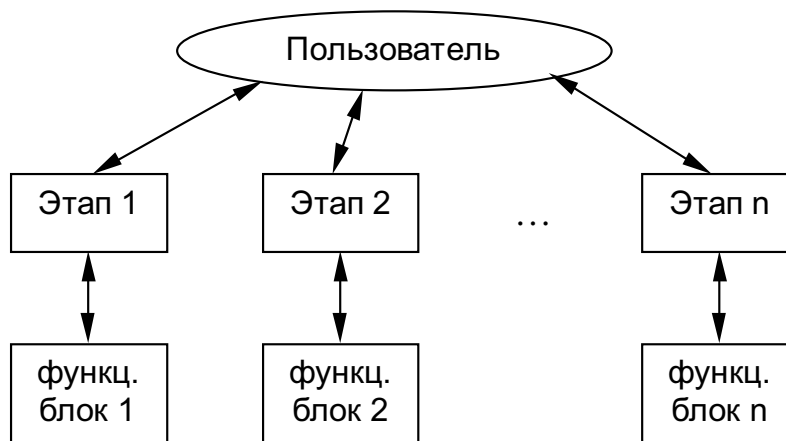


Рис. 7.9. Структура ГИС-средств при разделении этапов

Как видим, второй подход обладает большей гибкостью, но менее автоматизирует труд пользователя. Стоит отметить, что целесообразно использовать *оба* подхода при создании ГИС-средств. В некоторых случаях для решения *одной и той же* задачи используют сразу оба этих подхода, оставляя выбор подхода за специалистом.

Особенностью, присущей проблемно-ориентированным ГИС-средствам, является замена некоторых численных характеристик (коэффициентов, зависимостей, уравнений и др.) на дискретный и конечный набор понятий и терминов. Например, если некоторая величина варьируется от 0 до 1, то выбирают несколько, наиболее часто используемых значений этой величины: 0, 0.25, 0.5, 0.75 и 1. Далее эти величины заменяют, например, понятиями «низкое», «ниже среднего», «среднее», «выше среднего» и «высокое». В конечном счете, в интерфейс пользователя выносятся именно эти понятия. Существенным недостатком некоторых решений является то, что пользователь не знает, какие именно численные значения или характеристики соответствуют перечисленным понятиям. Необходимо предусмотреть возможность получения этого знания либо через интерфейс пользователя, либо в справочной информации.

7.5.4. Тенденции в области разработки ГИС-приложений

Многолетний опыт авторов в области создания ГИС-приложений, исследование существующих ГИС-приложений, прежде всего коммерческих программных продуктов, позволяет наметить следующие перспективные направления работ при создании таких приложений.

Первое направление касается разработки ГИС-средств общего назначения. Рассмотрим более подробную схему взаимодействия функциональных блоков в ГИС-средствах общего назначения (рис. 7.10). Основная идея новой технологии заключается в том, чтобы создать функциональные блоки максимально независимыми друг от друга и от конкретной универсальной ГИС. Это позволит легко расширять возможности самих ГИС-средств за счет добавления новых блоков. Кроме этого, надежность такого программного обеспечения возрастает, облегчается его тестирование и эксплуатация.

Опыт разработки ГИС-средств свидетельствует, что до 25 % времени уходит на концептуальную проработку создаваемой системы. Ошибки на этом этапе ведут к значительным изменениям на последующих этапах. Если при разработке системы основная идеологическая нагрузка ложится на проектирование интерфейса пользователя, то предлагаемая технология позволяет исправлять ошибки с минимальными затратами. При этом большая часть функциональных блоков должна быть реализована на языках высокого уровня и оформлена в виде программных библиотек. Использование библиотек и наличие спецификации для каждого блока позволяет быстро реализовывать такие же ГИС-средства и на базе других универсальных ГИС.

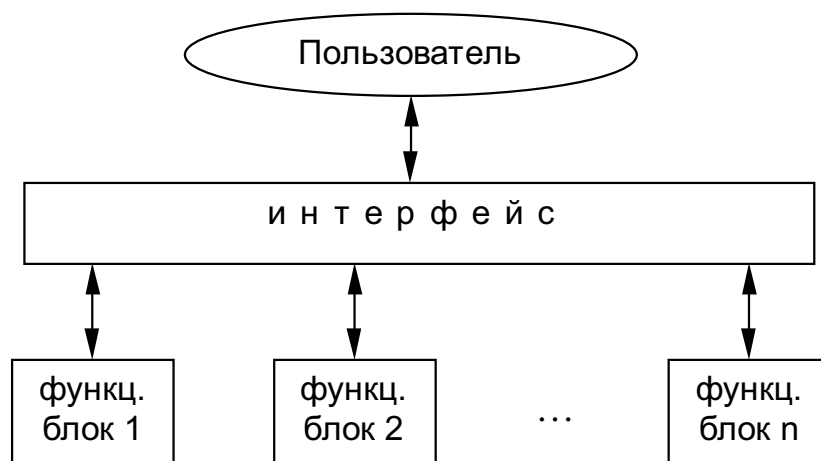


Рис. 7.10. Схема взаимодействия функциональных блоков в ГИС-средствах общего назначения

Дальнейшее развитие описанной идеи привело к созданию новой технологии разработки проблемно-ориентированных ГИС-средств. Суть этой технологии заключается в разработке проблемно-ориентированных ГИС-средств *на базе* ГИС-средств общего назначения. Из рис. 7.11 видно, что взаимодействие функциональных блоков в проблемно-ориентированных

ГИС-средствах ведется на двух уровнях. Каждый из функциональных блоков верхнего уровня предназначен для решения определенной проблемной задачи. В свою очередь, такой блок может задействовать для решения этой задачи несколько функциональных блоков нижнего уровня. Блоки нижнего уровня не проблемно-ориентированы. Эти блоки могут входить в состав ГИС-средств общего назначения.

Это указывает на возможность создания проблемно-ориентированных ГИС-средств на базе ГИС-средств общего назначения. В этом случае необходимо реализовать лишь функциональные блоки верхнего уровня и интерфейс пользователя. Создание проблемно-ориентированных ГИС-средств представляет собой «сборку из блоков», где «блоками» являются функциональные блоки ГИС-средств общего назначения, образующие «фундамент» системы. Разработчику необходимо реализовать только проблемную надстройку.

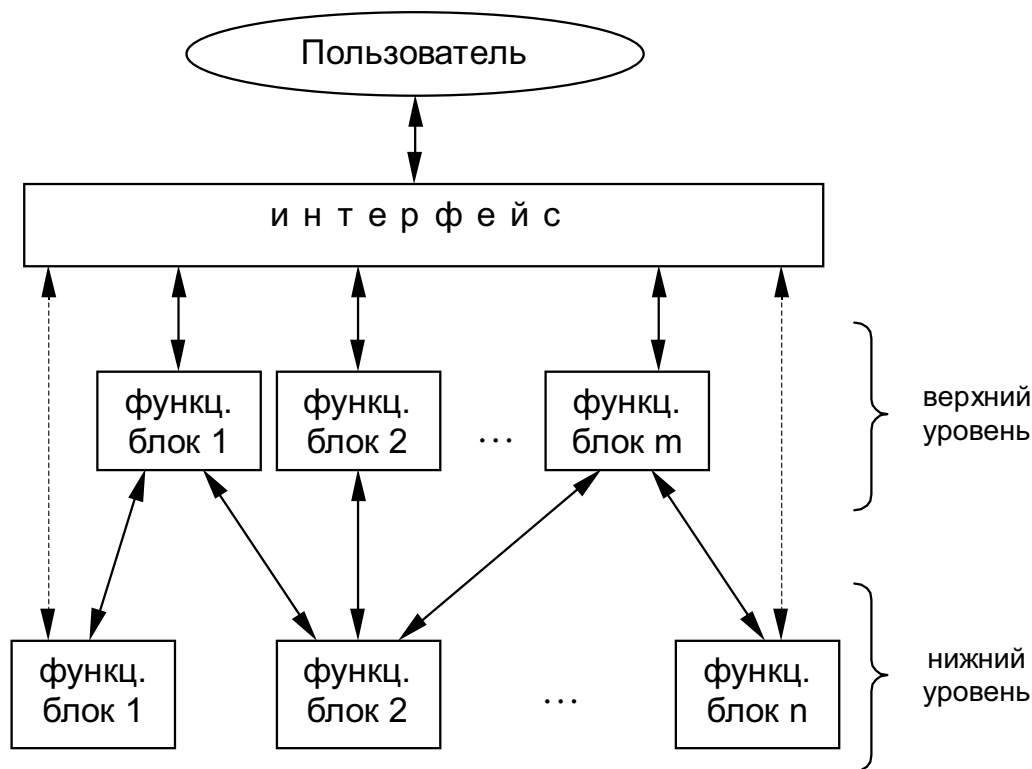


Рис. 7.11. Схема взаимодействия функциональных блоков в проблемно-ориентированных ГИС-средствах

Более того, по этому же принципу можно создавать специализированные ГИС как на основе проблемно-ориентированных ГИС-средств, так и на основе ГИС-средств общего назначения. В общем виде схема разработки ГИС-приложений на ГИС-средств общего назначения представлена на рис. 7.12.

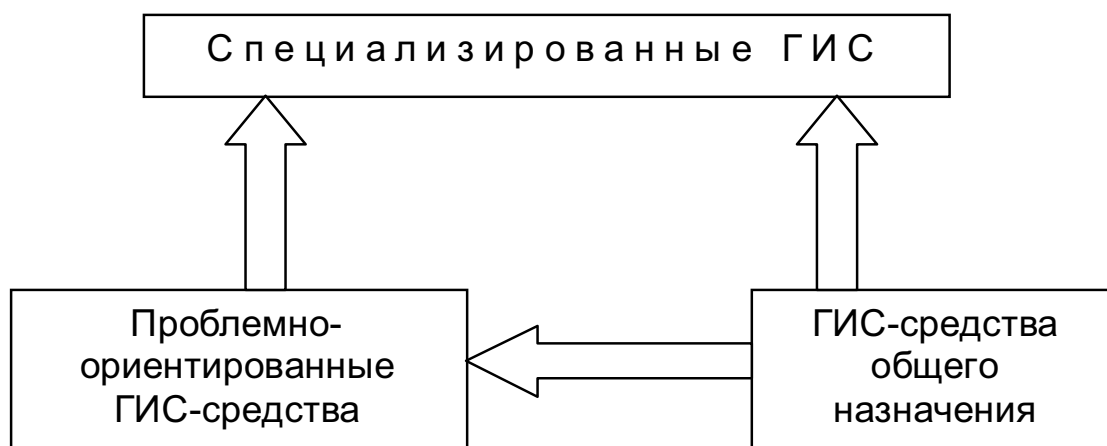


Рис. 7.12. Схема разработки ГИС-приложений на базе ГИС-средств общего назначения

7.6. Вопросы и задания для самопроверки

1. Перечислите основные продукты семейства ArcGIS.
2. Ознакомьтесь с основными функциональными возможностями ArcGIS на примере ГИС ArcView. Докажите, что эта система относится к универсальным ГИС.
3. Ознакомьтесь с основными функциональными возможностями ГИС MapInfo Professional. Докажите, что эта система относится к универсальным ГИС.
4. Поддерживают ли современные растровые ГИС векторные форматы?
5. С помощью информационно-поискового веб-сервиса Google Maps найдите карту своего города или поселка.
6. Сравните функционал российских информационно-поисковых веб-сервисов Яндекс Карты и Рамблер Накарте.
7. Что такое картографический модуль?
8. Для чего нужны ГИС-приложения?
9. На кого ориентированы специализированные ГИС?
10. Какие существуют основные методы и подходы к созданию ГИС-приложений?
11. Проведите сравнительный анализ проблемно-ориентированных ГИС-средств и ГИС-средств общего назначения.
12. Для каких групп пользователей предназначены проблемно-ориентированных ГИС-средства?
13. Дайте описание работы мастеров на конкретном примере.
14. Приведите пример, когда используются оба подхода при создании ГИС-средств.

Глава 8 ПРИМЕНЕНИЕ ГИС

В настоящее время ГИС используются в различных областях человеческой деятельности: в промышленности и бизнесе, геологии и недропользовании, в телекоммуникациях и навигации, в государственном и муниципальном управлении и т. д. Ниже в качестве примеров такого применения рассмотрены отдельные ГИС производственного назначения и ГИС, применяемые органами государственного и муниципального управления.

8.1. ГИС производственного назначения

Сферы применения ГИС в производстве очень широки. Сегодня ГИС активно используются в нефтяной и газовой отраслях, в лесной промышленности, в электроэнергетике, в геологии и др.

8.1.1. Применение ГИС в газовой отрасли

Газовая отрасль в России характеризуется ее большой территориальной распределенностью газодобывающих и газотранспортных предприятий. ОАО «Газпром» является крупнейшей газодобывающей и газотранспортной компанией в мире. Компания имеет большое число дочерних предприятий в регионах России. Многие из них наряду с автоматизированными системами управления технологическими процессами (АСУ ТП), позволяющими решать те или иные технологические задачи, и ERP-системами, позволяющими решать задачи автоматизации бизнес-процессов, активно используют ГИС.

Кратко перечислим основные задачи, решаемые ГИС в этой отрасли:

- создание, хранение и визуализация цифровых карт инфраструктуры промыслов и месторождений;
- формирование геологических структурных карт газовых и газоконденсатных месторождений;
- визуализация магистральных газотранспортных сетей и вспомогательной инфраструктуры на цифровых картах;
- оперативная визуализация состояния оборудования;
- анализ переключений запорной арматуры на газопроводах;
- вычисление товаротранспортной работы с использованием измерительных функций ГИС;

- локализация аварийных участков газопроводов и прокладка на картах маршрутов выезда аварийных бригад и т. п.

В газовой отрасли используются как универсальные векторные ГИС (чаще всего ArcGIS и MapInfo Professional), так и специализированные системы. Универсальные векторные ГИС, в основном, используются для хранения и визуализации различной технологической (рис. 8.1) и картографической информации (рис. 8.2), используемой предприятиями.

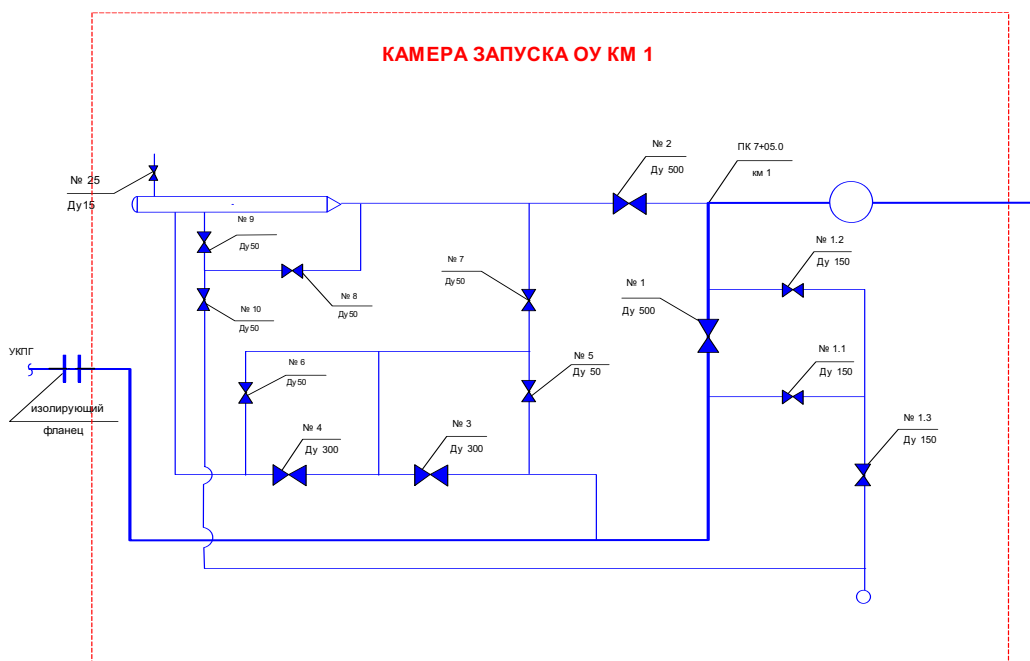


Рис. 8.1. Фрагмент технологической схемы участка газопровода

Однако, учитывая специфику отрасли, считается, что универсальные ГИС не эффективно применять для решения многих задач, требующих сложных расчетов. В настоящее время для этого используют различные специализированные ГИС в составе систем моделирования. Спектр же решаемых в этой отрасли задач столь широк, что газодобывающим и газотранспортным предприятиям необходимы корпоративные, информационные системы, в которых ГИС являются одной из составных подсистем. Примером подобной системы является корпоративная геоинформационная система управления производством ОАО «Востокгазпром». Эта система имеет модульную масштабируемую структуру, а единый банк данных для хранения технологической, производственной, плановой, картографической и др. информации построен на базе промышленной СУБД Microsoft SQL Server 2005. Ядро системы реализовано так, что АРМ конкретного пользователя можно сформировать из произвольного набора модулей (подсистем), реализующих те или иные функции ядра. На рис. 8.3 приведен пример интерфейса базового АРМ системы.

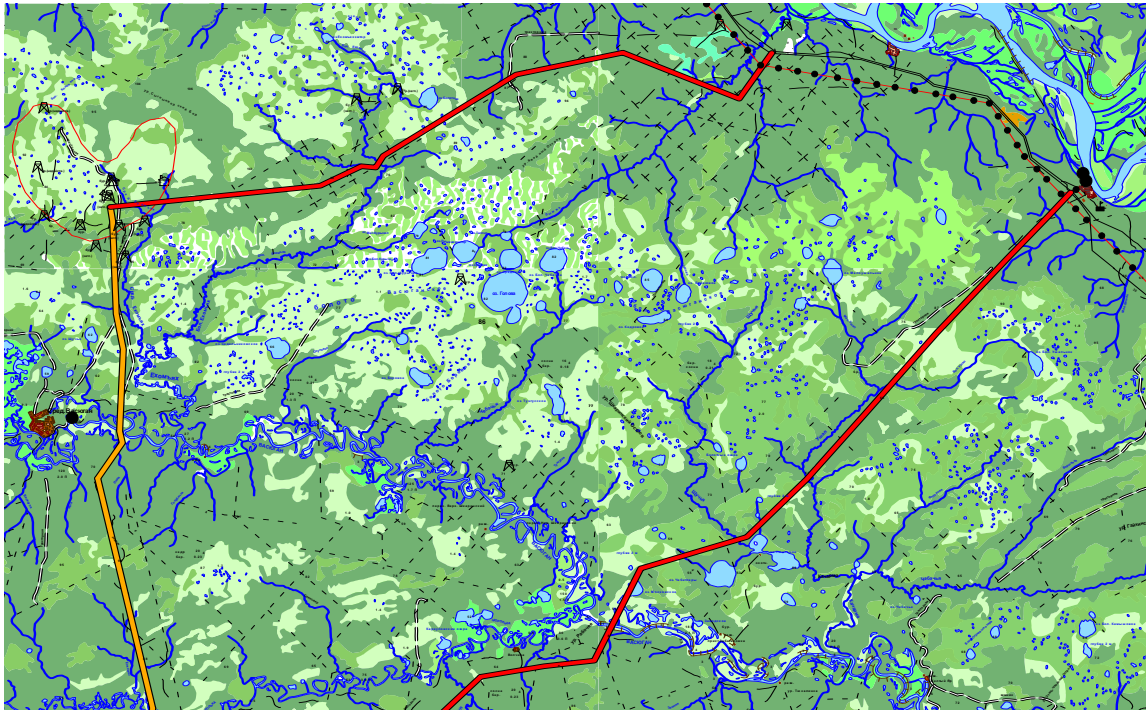


Рис. 8.2. Фрагмент топографической карты с линиями газопроводов

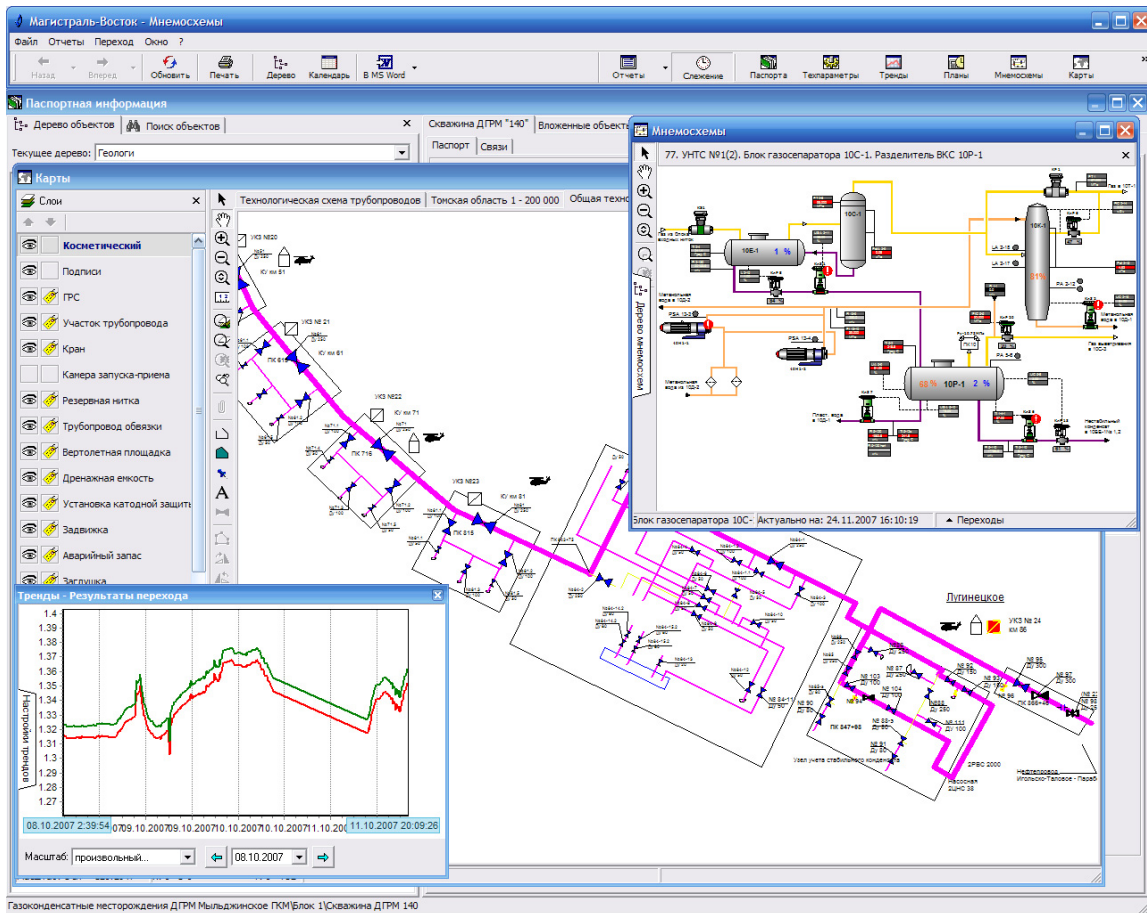


Рис. 8.3. Пример интерфейса базового АРМ системы

Эта система имеет в своем составе подсистему визуализации карт, мнемосхем и технологических схем. В связи со значительной территориальной распределенностью предприятия возникает проблема оперативного доступа к технологическим данным, отражающим текущее состояние процессов добычи, подготовки и транспортировки газа и газового конденсата. Представление данных в виде карт, мнемосхем и технологических схем позволяет осуществлять такой доступ более эффективно.

Подсистема визуализации предназначена для предоставления широкой группе пользователей функций просмотра цифровых векторных и растровых карт различных масштабов и внемасштабных мнемосхем и технологических схем, а также функций управления просмотром и навигации по картам и схемам. В подсистеме предусмотрена возможность автоматического обновления визуализируемой карты или схемы в соответствии с текущей оперативной ситуацией, отображаемой на карте графически.

Подсистема визуализации (специализированная ГИС) разработана с использованием картографической программной компоненты MapInfo MapX компании MapInfo Corp.

Аналогичные ГИС используются в нефтяной отрасли.

8.1.2. Применение ГИС в геологии и недропользовании

Геология и недропользование является одной из первых отраслей, в которых начали широкомасштабно использоваться ГИС. Это объясняется большим объемом разнородных данных, часто имеющих пространственный атрибут и которые необходимо хранить, анализировать и визуализировать. Именно в ГИС можно эффективно решать множество геологических задач.

На рис. 8.4 показан пример геологического разреза по скважинам водозабора разрабатываемого нефтяного месторождения вблизи г. Кедрового Томской области. В верхнем правом углу показана сеть скважин, в которой четыре отмеченных скважины были использованы для построения разреза. В нижней части показ геологический разрез, построенный по этим четырем скважинам. Различным цветом показаны стратиграфические подразделения, а штриховками – породы. Географическая карта с нанесенными скважинами показана в правой части рисунка. Разрез построен с помощью программного обеспечения системы «Разрез», являющейся проблемно-ориентированной ГИС, созданной на базе ГИС MapInfo Professional.

На рис. 8.5 показан фрагмент структурной карты Останинского месторождения Томской области. Карта включает следующие слои: скважины, линии разломов, изолинии кровли нефтеносного пласта и др. Изолинии кровли нефтеносного пласта построены с помощью программного обеспечения системы SurfMapper, являющейся расширением ГИС MapInfo Professional.

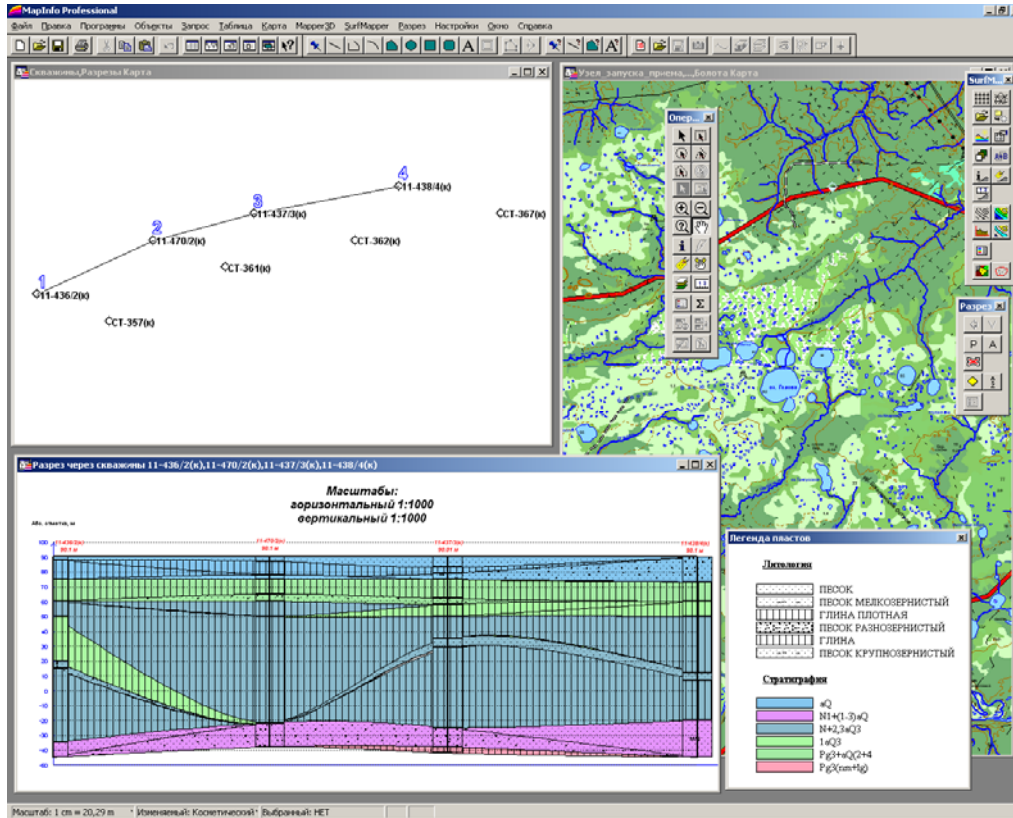


Рис. 8.4. Построение геологического разреза по скважинам

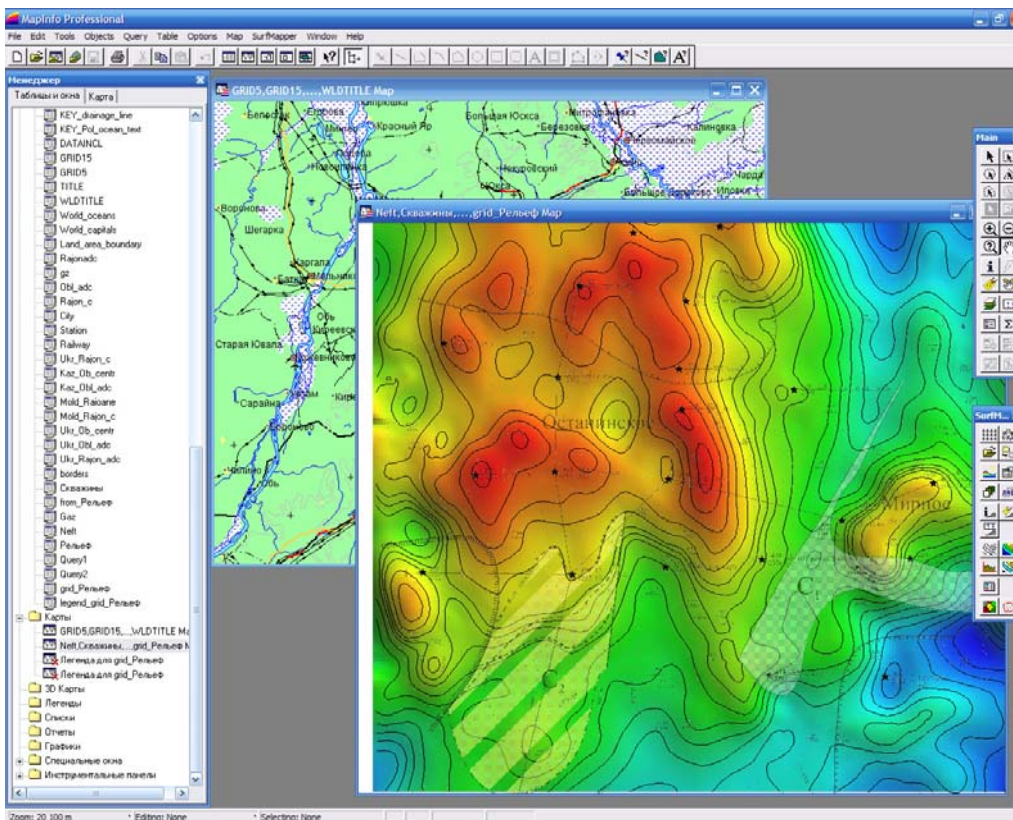


Рис. 8.5. Фрагмент структурной карты Останинского месторождения

При решении задач недропользования для оперирования контурами месторождений, лицензионных и земельных участков используются специализированные ГИС.

8.2. ГИС в органах государственного и муниципального управления

Для эффективного муниципального управления необходимы, в том числе средства, позволяющие обеспечивать все муниципальные службы и органы управления точными и актуальными данными об объектах инфраструктуры города. Большая часть этих данных имеет пространственную привязку. В этой связи использование ГИС позволяет более эффективно решать задачи, связанные с анализом таких данных.

Сегодня для решения задач эффективного муниципального управления используются особый класс ГИС – муниципальные ГИС. Эти системы могут создаваться как на основе универсальных ГИС, так и быть разработанными «с нуля» для решения описанных задач. Наиболее часто такие ГИС используются для ведения всевозможных кадастров (земельного, кадастра недвижимости и т. д.), для централизованного хранения сведений о транспортных сетях и инженерных коммуникациях города (рис. 8.6). ГИС также используются диспетчерскими службами обеспечивающих жизнедеятельность города предприятий для управления транспортными потоками, электрическими, тепловыми и другими сетями.

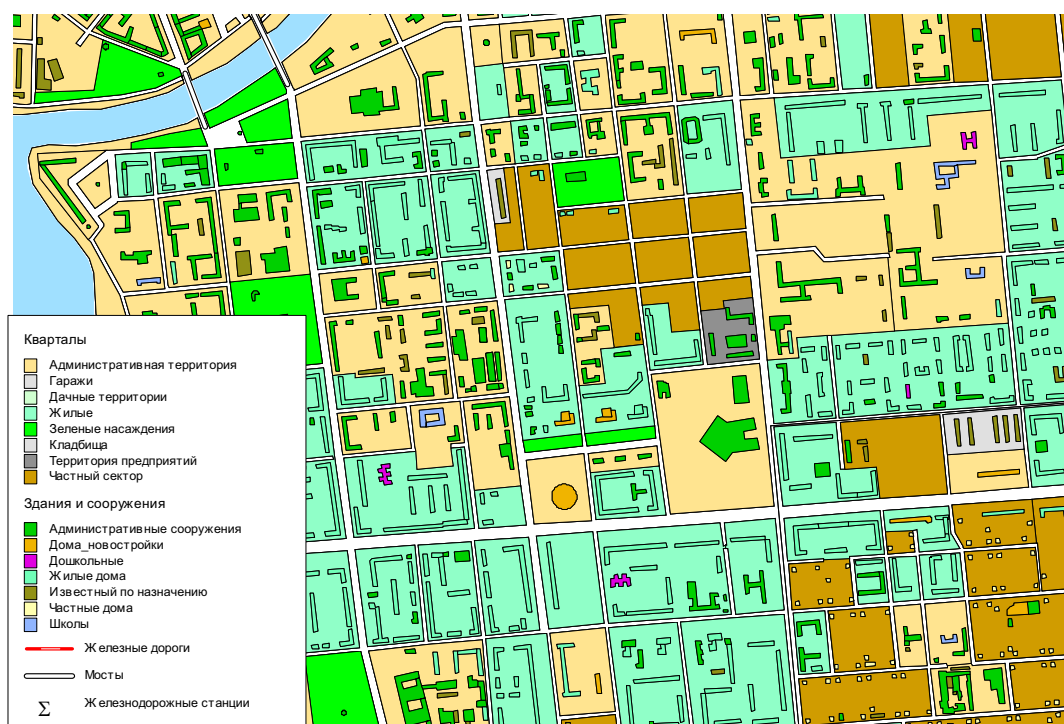


Рис. 8.6. Фрагмент карты города

Среди ГИС, используемых федеральными органами власти, стоит отменить Государственную автоматизированную систему Российской Федерации «Выборы» (далее ГАС «Выборы»).

Программное обеспечение ГАС «Выборы» представляет собой совокупность общесистемных и специальных программных средств. Общее программное обеспечение ГАС «Выборы» используется для построения автоматизированных рабочих мест пользователей, создания и поддержки единой программной и информационной среды. Специальное программное обеспечение ГАС «Выборы» – это разработанный в России пакет многоцелевых и многофункциональных программ, обеспечивающих решение задач, стоящих перед ГАС «Выборы» как во время выборов, так и между ними. В состав специального программного обеспечения включен модуль «Картография», предназначенный для подготовки и анализа картографических данных.

На сегодняшний день эксплуатируются или создаются ГИС для государственных природоохранных органов (федерального агентства по водным ресурсам, федерального лесного агентства, агентства по недропользованию и т. д.), для министерства по чрезвычайным ситуациям и т. п.

8.3. Вопросы и задания для самопроверки

1. Почему применение универсальных ГИС в газовой отрасли считается неэффективным и наблюдается тенденция к использованию специализированных ГИС?
2. Почему ГИС широко используются в геологии и недропользовании?
3. Допустим, что на предприятиях нефтяной и газовой отраслей одинаковые технологические процессы. Обосновать набор функций у ГИС для предприятий нефтяной отрасли.
4. Приведите примеры, показывающие как с помощью ГИС могут решаться задачи, связанные мониторингом чрезвычайных ситуаций и ликвидацией последствий чрезвычайных ситуаций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подготовка в вузе специалистов по разработке и эксплуатации современных ГИС является сложным и трудоемким процессом. Такие специалисты должны обладать набором компетенций, позволяющих им проектировать и реализовывать как новые ГИС «с нуля», так и создавать проблемно-ориентированные и специализированные ГИС на основе универсальных ГИС. Кроме того, они должны знать и уметь работать с современными ГИС ведущих мировых вендоров. Именно эти требования учитывались при написании учебного пособия для студентов, изучающих дисциплину «Геоинформационные системы».

Первая часть пособия содержит теоретический материал по основам геоинформатики, являющейся фундаментом для построения ГИС. При этом значительное внимание уделено моделям пространственных данных и методам и алгоритмам сбора, анализа и визуализации таких данных, что очень важно будущим проектировщикам ГИС. Вторая часть, имеющая бóльшую практическую направленность, посвящена технологиям сбора пространственных данных, анализу основных наиболее востребованных на сегодняшний день на рынке ГИС и описанию областей их применения. Особое внимание уделено методам и средствам разработки программного обеспечения ГИС, в первую очередь, в средах универсальных ГИС.

Для продуктивного освоения ГИС и получения навыков работы с ними для студентов обязательными являются практические занятия с современными системами. Такие занятия позволяют закрепить теоретические знания, получаемые при изучении этого пособия. Для получения навыков проектирования ГИС студентам необходимо выполнить курсовой проект.

Дополнительно можно порекомендовать для самостоятельного изучения следующие темы: «Методы восстановления геополей», «Методы пространственного анализа геополей».

В настоящее время, на наш взгляд, можно выделить следующие перспективные направления в области теории и практики ГИС. Первое из них связано с интеллектуализацией ГИС. Сейчас в ГИС активно внедряются элементы искусственного интеллекта, такие как нейронные сети, эволюционные алгоритмы и др., позволяющие решать слабо формализованные задачи. Второе направление касается развития методов

и средств пространственного анализа, в том числе с использованием геостатистики. Третье направление – создание новых методов интеграции ГИС и технологий Интернет и использование ГИС в мобильных устройствах. Последнее направление позволит существенно расширить круг пользователей ГИС, предоставляя им всевозможные онлайн-сервисы, основанные на анализе местоположения абонентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Геоинформатика: учеб. для студ. вузов / Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарёв, В.С. Тикунов и др.: под редакцией В.С. Тикунова. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 480 с.
2. Основы геоинформатики: В 2 кн.: учебное пособие для студентов вузов / Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарёв, В.С. Тикунов и др.; под редакцией В.С. Тикунова. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – Кн. 1. – 352 с.
3. Основы геоинформатики: в 2 кн.: учебное пособие для студентов вузов / Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарёв, В.С. Тикунов и др.; под редакцией В.С. Тикунова. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – Кн. 2. – 480 с.

Дополнительная литература

1. Peter A. Burrough and Rachail A. McDonnell. Principles of Geographical Information Systems. – Oxford: Oxford University Press, 1998, – 333 p.
2. Берлянт А.М. Геоинформатика. – М.: Изд-во «Астрель», 1996. – 208 с.
3. Вахромеева А.А., Бугаевский Л.М., Казакова З.Л. Математическая картография. – М.: Недра, 1986. – 286 с.
4. ДеМерс М.Н. Географические информационные системы. Основы / пер. с англ. – М.: Дата+, 1999. – 290 с.
5. Замятин А.В., Марков Н.Г. Анализ динамики земной поверхности по данным дистанционного зондирования Земли. – М: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 176 с.
6. Ковин Р.В., Марков Н.Г. Геоинформационные технологии для анализа двумерных геополей. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2006. – 176 с.
7. Скворцов А.В. Геоинформатика: учеб. пособие. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2006. – 336 с.
8. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. – М.: Изд-во Финансы и статистика, 1998. – 288 с.

Интернет-ресурсы по тематике ГИС

1. Официальный сайт ГИС-ассоциации России. – <http://www.gisa.ru>
2. Официальный сайт Центр Геоинформационных Исследований Института Географии Российской Академии Наук. – <http://geocnt.geonet.ru/>
3. Официальный сайт компании ESRI Inc., США. – <http://www.esri.com>
4. Официальный сайт компании MapInfo Corp., США. – <http://www.mapinfo.com>

5. Дистрибьютор продуктов ESRI Inc. в России компания «Дата+». – <http://www.dataplus.ru>
6. Дистрибьютор продуктов MapInfo Corp. в России компания «Эсти-Мп». – <http://www.esti-map.ru>
7. Официальный сайт компании Intergraph Corp Inc., США. – <http://www.intergraph.com>
8. Официальный сайт компании ЗАО «Резидент» (г. Москва). – Разработчик векторизатора MapEdit. – <http://www.resident.ru>
9. Официальный сайт компании Easy Trace Group (г. Москва). – Разработчик векторизатора Easy Trace. – <http://www.easytrace.com>
10. Веб-сервис Google Maps компании Google. – <http://maps.google.com>
11. Веб-сервис MSN Maps компании Microsoft. – <http://maps.live.com/>
12. Веб-сервис Яндекс Карты. – <http://maps.yandex.ru>
13. Веб-сервис Рамблер Накарте. – <http://nakarte.rambler.ru>
14. Геоинформационный портал GeoPlace. – <http://www.geoplace.com>
15. Официальный сайт компании КБ Панорама. – производителя ГИС «Карта 2005». – <http://www.gisinfo.ru/>
16. Интерактивная карта Москвы с детализацией до дома. – <http://www.moscowmap.ru/>

Ковин Роман Владимирович
Марков Николай Григорьевич

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Учебное пособие


Редактор	С.П. Барей
Верстка	К.С. Чечельницкая
Дизайн обложки	О.Ю. Аршинова О.А. Дмитриев

Подписано к печати 26.02.2008. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл.печ.л. 10,18. Уч.-изд.л. 9,21.
Заказ 800. Тираж 200 экз.



Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2000



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.