А.В. Скворцов

ГЕО ИНФОРМАТИКА

Томский государственный университет

Факультет информатики

А.В. Скворцов

ГЕОИНФОРМАТИКА

Рекомендовано
Сибирским региональным учебно-методическим
центром высшего профессионального образования для
межвузовского использования в качестве учебного пособия
для студентов специальности 010503 «Математическое
обеспечение и администрирование информационных систем»

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТОМСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
2006

УДК 681.3.06
ББК 22.19
С 42

Р е ц е н з е н т ы:
докт. техн. наук, проф. Ю.П. Ехлаков,
докт. техн. наук, проф. Б.М. Шумилов

Скворцов А.В.
С 42 Геоинформатика: Учебное пособие. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2006. – 336 с.
ISBN 5-7511-2032-3

В книге представлен широкий спектр современных геоинформационных технологий. Рассматриваются теоретические основы ГИС (модели, структура и источники пространственных данных), методы тематической визуализации карт, приёмы пространственного анализа. Описываются основные приёмы работы в ГИС (управление проектами, ввод и редактирование данных, тематическая визуализация, пространственный анализ), которые демонстрируются на примере универсальной геоинформационной системы IndorGIS 5.0 разработки ООО «ИндорСофт», г. Томск (www.indorsoft.ru).

Для студентов, преподавателей, разработчиков программного обеспечения, а также всех желающих ознакомиться с современными технологиями геоинформатики.

УДК 681.3.06
ББК 22.19

© А.В. Скворцов, 2006
© ООО «ИндорСофт», 2006
© Ю.С. Мирза, обложка, 2006

ISBN 5-7511-2032-3

Оглавление

Предисловие **6**

Глава 1. Введение в геоинформатику **8**

1.1. Понятие ГИС 8
1.2. Функциональные возможности ГИС 9
1.3. Общая структура ГИС 9
1.4. Классификация ГИС 13
1.5. Организация данных в ГИС 18

Глава 2. Модели пространственных данных **21**

2.1. Классификация моделей 21
2.2. Нетопологическая модель данных 24
2.3. Топологическая модель данных 26
2.4. Модель транспортной сети 27
2.5. Растровая модель данных 28
2.6. Триангуляционная модель поверхностей 30
2.7. Георeляционная модель данных 32
2.8. Геобаза данных 36

Глава 3. Структура и источники геоданных **38**

3.1. Системы координат 38
3.2. Картографические проекции 46
3.3. Картографические и координатные сетки 60
3.4. Разграфка и номенклатура карт 61
3.5. Источники пространственных данных 67
3.6. Векторизация 67
3.7. Дистанционное зондирование 69
3.8. Геодезические изыскания 73
3.8.1. Геодезические приборы 73
3.8.2. Тахеометрическая съёмка 77
3.8.3. Линейные изыскания 80
3.8.4. Геодезические построения 81
3.9. Глобальные системы позиционирования 84
3.10. Фото- и видеосъёмка 88
3.11. Форматы данных 91

Глава 4. Работа с картами в ГИС **95**

4.1. ГИС-проекты 95
4.2. Навигация по карте 96
4.3. Получение информации по объектам 99
4.4. Горячая связь 102
4.5. Видеоряды 103
4.6. Публикация карт 105

Глава 5. Визуализация пространственных данных 111
5.1. Тематические карты 111
5.2. Условные знаки 111
5.3. Визуализация векторных данных 119
5.4. Визуализация растровых данных 124
5.5. Визуализация транспортных сетей 126
5.6. Визуализация поверхностей 128
5.7. Трёхмерная визуализация 131
5.8. Картографические анимации 136

Глава 6. Пространственный анализ 140
6.1. Измерительные операции 140
6.2. Векторный анализ 142
6.2.1. Анализ отношений 142
6.2.2. Отсечение и разрезание 148
6.2.3. Оверлейные операции 149
6.2.4. Буферные зоны, оболочки, зоны близости 151
6.2.5. Генерализация 154
6.2.6. Применение векторного анализа 156
6.3. Геостатистика 157
6.4. Сетевой анализ 158
6.5. Анализ поверхностей 164

Глава 7. Программные средства ГИС 169
7.1. Российский рынок ГИС 169
7.2. Полнофункциональные ГИС 169
7.2.1. ArcGIS 9.0 172
7.2.2. MapInfo 7.8 188
7.2.3. Autodesk Map 3D 2005 190
7.2.4. GeoMedia 5.2 192
7.3. Растровые ГИС 195
7.3.1. ERDAS Imagine 8.7 195
7.3.2. ER Mapper 6.4 198
7.3.3. PHOTOMOD 198
7.4. Средства обработки геодезических данных 201
7.5. Векторизаторы 202
7.5.1. MapEDIT 5.0 203
7.5.2. Easy Trace PRO 7.95 205

Глава 8. Универсальная ГИС IndorGIS 5.0 208
8.1. Общие сведения о системе 208
8.2. Управление проектами и картами 211
8.2.1. Настройки системы, проекта, карты, слоя 214
8.3. Создание новых объектов 218
8.3.1. Создание точечных объектов 218
8.3.2. Создание полилиний и полигонов 220

8.3.3. Ввод объектов по классификатору ... 223
8.3.4. Геометрические и геодезические построения ... 225
8.4. Редактирование объектов ... 227
8.4.1. Редактирование узловых точек объекта ... 229
8.4.2. Перемещение, вращение, растяжение объектов ... 231
8.4.3. Редактирование частей фигур ... 232
8.4.4. Привязка к сетке ... 233
8.4.5. Подтяжка объектов к другим объектам на карте ... 234
8.4.6. Работа с многоконтурными объектами ... 234
8.4.7. Поиск некорректных фигур на карте ... 235
8.4.8. Изменение геометрии фигур в инспекторе объектов ... 236
8.5. Операции с объектами ... 238
8.5.1. Работа с буфером обмена ... 238
8.5.2. Копирование формата объекта ... 239
8.5.3. Поворот и отражение объектов ... 239
8.5.4. Разрезание объектов ... 240
8.5.5. Оверлеи полигонов ... 242
8.5.6. Построение буферных зон ... 243
8.6. Работа с растрами ... 244
8.7. Условные знаки ... 251
8.8. Моделирование рельефа ... 255
8.9. Решение транспортных задач ... 257

Глава 9. Применение ГИС ... 259

9.1. Справочные ГИС ... 259
9.2. Навигационные ГИС ... 264
9.3. Диспетчерские ГИС ... 268
9.4. ГИС и бизнес ... 273
9.5. ГИС и органы власти ... 277
9.6. ГИС и градостроительный кадастр ... 279
9.7. ГИС и планирование развития городов и регионов ... 283
9.8. ГИС и инженерные сети ... 286
9.9. ГИС и дорожное хозяйство ... 291
9.10. ГИС и железнодорожный транспорт ... 309
9.11. ГИС и сельское хозяйство ... 313
9.12. ГИС и лесное хозяйство ... 315
9.13. ГИС и недропользование ... 317
9.14. ГИС и экология ... 319
9.15. ГИС и оборона ... 321
9.16. ГИС и образование ... 322

Предметный указатель ... 325

Литература ... 334

Предисловие

Геоинформатика – достаточно новая отрасль знаний, ей всего около 30 лет. Основным инструментом геоинформатики являются *геоинформационные системы* (ГИС) – программные продукты, предназначенные для создания, визуализации и анализа данных, размещённых на поверхности Земли, и для которых важна координатная привязка или взаимосвязь с другими пространственными объектами.

В настоящее время ГИС применяются в самых разных отраслях экономики: для управления недвижимостью и землепользованием, для управления дорогами и инженерными коммуникациями населённых пунктов и промышленных предприятий, для управления нефтегазопромысловыми площадками, трубопроводами, электрическими сетями и пр.

Геоинформационные системы предназначены для управления большим количеством разномасштабной картографической информации, анализа взаимосвязей объектов в пространстве, управления атрибутными характеристиками объектов.

В книге даются основы современных ГИС-технологий, описываются приёмы работы в современных ГИС, а также рассматриваются различные прикладные ГИС для работы в дорожной отрасли.

Учебное пособие состоит из 9 глав, которые можно условно разделить на две основные части: теоретическую и практическую.

Теоретическая часть книги представлена в главах с 1-й по 6-ю. Здесь даются общие положения геоинформатики без привязки к конкретным программным продуктам и отраслям их применения.

Первая глава знакомит читателя с общими положениями геоинформатики, видами, функциями и организацией данных геоинформационных систем, а также делает начальный экскурс в типичную ГИС с точки зрения пользователя.

Во *второй главе* изучаются различные модели пространственных данных, используемых в геоинформатике для моделирования географически распределённых сущностей.

В *третьей главе* подробно рассматриваются структура и источники поступления пространственных данных в геоинформационные системы.

В *четвёртой главе* приводятся базовые приёмы работы в ГИС с точки зрения обычного пользователя. Здесь рассматриваются общее понятие ГИС-проекта, способы управления проектами, а также основные режимы работы с картами в ГИС (навигация, получение информации, горячая связь).

В *пятой главе* представлены различные виды условных знаков в ГИС и способы их применения для визуализации данных, хранящихся в геоинформационных системах.

В *шестой главе* изучаются различные методы пространственного анализа ГИС-данных, включая картометрические и геостатистические методы, методы векторного и сетевого анализа, а также методы анализа поверхностей (моделей рельефа).

Практическая часть книги включает главы с 7-й по 9-ю. В них на конкретных примерах современных программных продуктов даются приёмы работы с современными геоинформационными технологиями.

В *седьмой главе* рассматриваются различные существующие программные средства ГИС.

В *восьмой главе* рассматриваются IndorGIS 5.0, описывается общая структура ГИС, даются основные приёмы работы в системе.

В *девятой главе* рассматриваются некоторые из многочисленных применений современных ГИС-технологий в различных областях человеческой деятельности.

В конце каждой главы даны вопросы для самопроверки.

При описании различных программных продуктов и технических средств в данной книге были использованы текстовые и графические материалы, полученные автором на официальных Интернет-сайтах фирм-производителей, а также напрямую в ООО «ИндорСофт».

Все отзывы и пожелания автор примет с благодарностью и просит направлять их по адресу: 634050, пр. Ленина, 36, Томский государственный университет, факультет информатики или по электронной почте: skv@indorsoft.ru, skv@csd.tsu.ru.

Глава 1. Введение в геоинформатику

1.1. Понятие ГИС

Первые геоинформационные системы появились в 60-х годах прошлого века в Канаде, США и Швеции. Эти системы тогда имели существенные программные и технические ограничения и широко не применялись. Примерно в течение 20 лет, вплоть до 80-х годов, проходило становление *геоинформатики* как науки, отрабатывались методологические подходы к созданию ГИС, формировался математический аппарат, разрабатывались модели данных и алгоритмы их обработки. Одновременно в 80-х годах происходит стремительное распространение компьютерной техники и расширение её возможностей. Всё это в итоге приводит к качественному переходу геоинформатики на новый уровень.

Следует заметить, что первоначально термин «*ГИС»* расшифровывался как *географическая информационная система*. Однако сейчас такой термин считается неверным и его следует применять только для обозначения геоинформационных систем, предназначенных для решения географических задач.

В настоящее время геоинформационные системы решают самые разные задачи в различных отраслях экономики.

Определение. *Геоинформационная система* – это информационная система, предназначенная для сбора, хранения, обработки, отображения и распространения данных, а также получения на их основе новой информации и знаний о пространственно-координированных объектах и явлениях.

Таким образом, фундаментальной особенностью ГИС в сравнении с другими информационными системами является то, что все моделируемые в ГИС объекты и явления имеют пространственную привязку, позволяющую анализировать их во взаимосвязи с другими пространственно-определёнными объектами. Кроме того, ГИС кардинально отличаются от большинства других информационных систем тем, что вся информация в них очень наглядно представляется в виде электронных карт, позволяя человеку извлекать новые знания.

Основным отличием электронных карт в ГИС от бумажных карт является то, что в ГИС карта не является обычной статической картинкой. Каждый условный знак, изображенный в ГИС, соответствует некоторому объекту, который можно проанализировать, в частности, получить исчерпывающую дополнительную (неграфическую) информацию из базы данных. Так, одной из базовых функций ГИС является получение информации по выбранному на карте объекту. Например, указав в ГИС курсором мышки здание на карте города, можно получить детальную информацию о номере дома, этажности, материале стен, степени износа, его владельце.

В целом можно сказать, что в ГИС отображаемое на экране изображение всегда соответствует некоторому набору данных, хранящемуся в базе данных ГИС. При этом всегда можно перейти от условного знака на экране к объекту в базе данных и получить требуемую информацию. А также, найдя по некоторому критерию объект в базе данных, можно быстро найти его на карте. Дополнительные параметры пространственных объектов обычно называются *атрибутами* объектов.

1.2. Функциональные возможности ГИС

Классическая схема функций ГИС, предложенная «патриархом» геоинформатики канадцем Р. Томлинсом, приведена на рис. 1.1. Соответственно этим обобщённым функциям ГИС выделяют и подсистемы ГИС: подсистемы сбора, обработки, анализа и т.д.

Рис. 1.1. Функции геоинформационной системы

Эта схема отражает функции ГИС с точки зрения общих целей ГИС и технологического процесса обработки и анализа пространственных данных, однако с точки зрения обычного пользователя работа в ГИС выглядит несколько иначе.

1.3. Общая структура ГИС

С точки зрения обычного пользователя геоинформационная система – это программа для персонального компьютера, позволяющая с помощью оконного интерфейса просматривать электронные карты и анализировать пространственные данные, лежащие в основе карты.

К настоящему времени сложились определённые стереотипы, как должна выглядеть ГИС. Это привело к тому, что многие современные ГИС очень похожи друг на друга. Поэтому, научившись работать с одной из них, зачастую достаточно просто пользоваться и другими ГИС.

Большинство современных ГИС работает на персональных компьютерах под управлением операционной системы (ОС) Microsoft Windows. Раньше существовали многочисленные ГИС для рабочих станций под управлением операционной системы Unix, однако сейчас большинство производителей прекратили дальнейшую разработку ГИС для этой ОС.

Рис. 1.2. Внешний вид типичной ГИС на примере IndorGIS 5.0

Главное окно типичной ГИС состоит из пяти частей (рис. 1.2). В самой верхней части окна размещаются строка меню и панели инструментов, а в нижней – строка статуса для вывода различной текущей информации. В центре окна находится зона для отображения карты, состоящей из слоёв (наборов однотипных данных). Сбоку (обычно слева, но бывает и справа) располагается легенда карты – список слоёв со списком условных знаков и обозначений, используемых для отображения слоёв.

Легенда слоёв предназначена для получения информации о способе отображения пространственных данных на электронной карте, а также для задания видимости тех или иных наборов данных (стран, рек, озер, городов, градусной сетки на рис. 1.2). Щёлкая мышкой (нажимая левую кнопку мышки) в квадратик слева от названия набора данных, можно включать и выключать видимость слоя на карте.

В связи с тем, что картографическая информация является в первую очередь графической, а не текстовой, основным устройством взаимодействия пользователя с ГИС является мышка, а не клавиатура. Поэтому для ГИС ключевым служит понятие «*режим работы с картой*».

Режим работы с картой определяет, каким образом окно электронной карты реагирует на перемещение курсора и нажатие кнопок мышки. Текущий режим обычно выбирают, нажав соответствующую кнопку на панели инструментов (рис. 1.3).

Рис. 1.3. Панель инструментов для выбора режима работы карты типичной ГИС на примере IndorGIS

Рассмотрим основные режимы работы с картой.

1. *Режим получения информации об объектах на карте*. В этом режиме пользователь может выбрать курсором мышки объект на карте, и, после нажатия на кнопку мышки на экране появится окошко с информацией об указанном объекте (рис. 1.4).

2. *Режим увеличения изображения*. В этом режиме пользователь должен указать мышкой прямоугольную часть видимого изображения карты, которая должна быть увеличена до размера всего окна карты. Для этого пользователь должен щёлкнуть кнопкой мышки в одном из углов нового видимого прямоугольника, затем, не отпуская кнопки, переместить курсор в противоположный угол прямоугольника и отпустить кнопку (рис. 1.5). Если пользователь нажмет и сразу отпустит кнопку мышки на карте, то изображение просто немного увеличится.

Рис. 1.4. Получение информации по выбранному объекту на карте в типичной ГИС на примере IndorGIS

Рис. 1.5. Увеличение видимой области карты

3. *Режим уменьшения изображения*. В этом режиме пользователь должен просто нажать кнопку мышки на карте, чтобы изображение немного уменьшилось. Если пользователь выделит некоторый прямоугольник на карте, всё текущее видимое изображение уменьшится и окажется в выделенном прямоугольнике.

4. *Режим панорамирования*. Этот режим предназначен для перемещения текущей видимой области изображения. Для этого необходимо нажать кнопку мышки на изображении карты и, удерживая её, переместить изображение в требуемом направлении, после чего кнопку мышки нужно отпустить.

5. *Режим измерения расстояний*. Данный режим предназначен для измерения расстояний по карте. При этом последовательными щелчками мышкой по карте можно указать ломаную, а в строке статуса увидеть длину всей ломаной и её последнего сегмента.

6. *Режим измерения площадей*. Данный режим предназначен для измерения площади и периметра областей на карте. При этом щелчками мышки можно указать вершины некоторого многоугольника на карте, а в строке статуса получить его площадь и периметр.

7. *Режим редактирования объектов*. Данный режим позволяет изменить геометрию пространственных объектов и их атрибутивные характеристики. Для этого нужно мышкой выделить некоторый объект на карте, после чего можно интерактивно переместить отдельные узлы многоугольников и ломаных, а также изменить атрибуты объекта в отдельном окне.

8. *Режим создания новых объектов*. Данный режим позволяет создавать на карте новые объекты. Для этого нужно просто указать мышкой на карте точки либо узлы создаваемых многоугольников и ломаных.

Кроме кнопок выбора режимов работы с картой, на панелях инструментов имеются самые разнообразные кнопки, предназначенные для работы с электронными картами. Эти кнопки, как и аналогичные им команды в

главном меню ГИС, предназначены для управления текущим видимым изображением на экране; для ввода новых и редактирования существующих данных; для выполнения различных операций пространственного анализа; печати карт и пр.

1.4. Классификация ГИС

В настоящее время геоинформационными системами называют самые разные системы, решающие разнообразнейшие задачи. В связи с этим существует несколько классификаций, позволяющих более полно понять сущность ГИС.

1. Виды ГИС по *пространственному охвату* (рис. 1.6):

- *Глобальные* (*планетарные*).
- *Субконтинентальные*.
- *Межнациональные*.
- *Национальные* (*государственные*).

Рис. 1.6. Виды ГИС по пространственному охвату
(от глобальных до ультралокальных)

- *Региональные* (областные, краевые, республиканские).
- *Субрегиональные* (районы или иные регионы внутри субъектов Российской Федерации).
- *Локальные* (местные, муниципальные, городские, поселковые).
- *Ультралокальные* (ГИС отдельных промышленных предприятий и любых ограниченных территорий).

2. Виды ГИС по *уровню управления* в Российской Федерации:

- *Федеральные*.
- *Региональные*.
- *Муниципальные*.
- *Корпоративные*.

3. Виды ГИС по *области деятельности*, в которой она применяется (рис. 1.7):

- *Управление* (федеральное, региональное, муниципальное, корпоративное; планирование развития).
- *Землепользование* (земельные кадастры, инвентаризация земельных участков, межевание земель).
- *Управление недвижимостью* (кадастр недвижимости).
- *Градостроительство* (генеральные планы развития, дежурные планы, планирование развития).
- *Архитектура* (проектирование генеральных планов; ландшафтное проектирование).

Рис. 1.7. Виды ГИС по области деятельности

- *Бизнес* (оценка инвестиций и планирование бизнеса).
- *Инженерные сети* (управление и эксплуатация городских, поселковых и корпоративных инженерных сетей: электрических, водопроводных, водоотведения, тепловых, газовых, телефонных, кабельных телевизионных, специальных и др.).
- *Инженерно-геодезические изыскания* (ввод и обработка данных геодезических изысканий; уравнивание геодезических сетей).
- *Инженерно-геологические изыскания* (ввод и обработка данных по геологическим колонкам).
- *Геология* (моделирование геологических пластов; обработка данных бурения, сейсморазведки).
- *Картография* (составление географических и топографических карт).
- *Проектирование и строительство* (проектирование автомобильных и железных дорог, генеральных планов, электрических и трубопроводных сетей).
- *Экстренные службы* (диспетчеризация выездов милиции, пожарных, «скорой помощи»).
- *ГИБДД* (управление инженерным обустройством автомобильных дорог: светофорами, знаками и др.; диспетчеризация выездов).
- *Навигация* (навигация на местности и выбор маршрутов движения).
- *Транспорт* (управление и эксплуатация автомобильных и железных дорог; управление речными, морскими и воздушными перевозками).
- *Логистика* (планирование и управление транспортными перевозками).
- *Оборона* (планирование войсковых операций; тыловое обеспечение).
- *Чрезвычайные ситуации* (анализ и предсказание чрезвычайных ситуаций; планирование и осуществление мероприятий по ликвидации последствий).
- *Экология* (оценка и прогнозирование воздействия на окружающую среду).
- *Метеорология* (предсказание погоды; управление сетью метеорологических пунктов и станций).
- *Недропользование* (управление месторождениями полезных ископаемых).
- *Природопользование* (управление природными ресурсами).
- *Нефтегазовая отрасль* (управление нефтегазодобычей; управление промысловыми площадками; управление магистральными трубопроводами).
- *Демография и статистика* (демографический и статистический анализ).

- *Образование* (обучение, управление набором студентов).
- *Бытовое использование* (получение справки по объектам).

4. Виды ГИС по *функциональности*:

- *Полнофункциональные (инструментальные) ГИС.* Такие программы обладают максимальной функциональностью, присущей современным системам. Эти программы обычно обеспечивают практически полный цикл работы с пространственными данными от ввода и обработки до анализа и принятия решения. Полнофункциональные ГИС, как правило, позволяют работать со всеми основными моделями данных геоинформатики: векторными, растровыми, сетями и моделями поверхностей. Такие системы, с одной стороны, обладают большой универсальностью и мощью, перекрывающей возможные применения. С другой стороны, эта универсальность зачастую мешает их применению для решения конкретных прикладных задач, так как универсальные инструменты не очень удобны для конечных пользователей, а избыток ненужных в данной задаче функций мешает начинающим. Именно поэтому для реального применения инструментальные ГИС обладают богатыми средствами настройки на предметную область, начиная с настройки меню и панелей инструментов и заканчивая возможностью написания дополнительных функций на встроенном языке программирования (обычно Microsoft Visual Basic for Applications) или подключения внешних модулей (обычно по технологии ActiveX).
- *ГИС для просмотра данных (ГИС-вьюеры).* Функциональность таких систем обычно ограничена просмотром и анализом существующих наборов пространственных данных. Многие ГИС-вьюеры позволяют вообще только просматривать данные и получать краткую информацию о выбранных на карте объектах. В настоящее время многие фирмы-производители предлагают свои ГИС-вьюеры бесплатно, зарабатывая деньги только на продаже более функциональных ГИС.
- *ГИС для ввода и обработки данных*. К этой категории относят программы, предназначенные для подготовки исходных данных для ГИС с помощью векторизации и обработки данных дистанционного зондирования.
- *Специализированные ГИС*. К этой категории относят ГИС, предназначенные для применения в конкретной отрасли.

5. Виды ГИС по используемой *модели данных*:

- *Векторные*. Такие системы работают с топологическими и нетопологическими моделями данных, а также иногда с триангуляционными моделями поверхностей.

- *Растровые*. Эти системы позволяют работают только с растровыми моделями данных и иногда с регулярными моделями поверхностей.
- *Гибридные*. Такие системы совмещают в себе возможности векторных и растровых ГИС.

6. Виды ГИС по *компьютерной платформе*, на которой функционирует ГИС (рис. 1.8):

- *Настольные*. К этой категории относятся большинство известных ГИС. Используемые в них данные, как правило, сохраняются в файлах, а компьютеры как серверы пространственных данных если и используются, то только в качестве файл-серверов.
- *Клиент-серверные*. В этих системах пространственные данные хранятся полностью в базе данных, обслуживаемой особой программой – *сервером пространственных данных*. Этот сервер обычно является высокоуровневой надстройкой над некоторой промышленной системой управления базами данных (СУБД типа Microsoft SQL Server, Oracle, DB2, Sybase и др.). Заметим, что многие современные клиент-серверные ГИС могут работать не только с серверами, но и напрямую с данными в файлах, то есть эти ГИС также можно отнести к категории настольных.

Рис. 1.8. Виды ГИС по компьютерной платформе

- *ГИС для Интернета.* Такие системы бывают двух видов: а) самостоятельные программы, обеспечивающие полные функции HTTP-сервера, либо б) наборы программных компонент (обычно ActiveX-объектов), которые могут быть интегрированы в существующий HTML-код и произвольным образом настроены. Первый подход позволяет очень быстро выполнить публикацию карт в Интернете, но второй подход более гибок.

Следует заметить, что термином «*ГИС*» называются очень многие и весьма разные информационные системы. Этим словом описывают как собственно прикладные программы для различных отраслей, так и сами инструментальные ГИС, на основе которых создаются конкретные отраслевые ГИС.

1.5. Организация данных в ГИС

В основе геоинформационных систем лежит *концепция послойной организации пространственных данных*, когда однотипные данные на земной поверхности группируются в *слои* (иногда называемые *темами*). Совокупность всех слоёв в ГИС образует *карту*.

Деление объектов на слои обычно производится так, чтобы в одном слое объекты были одной природы происхождения (дороги, реки, здания) либо имели одинаковую топологическую структуру и размерность (то есть когда их можно описать точками, линиями или полигонами).

В то же время чрезмерно большое количество слоёв создавать нежелательно. Например, нет смысла создавать отдельные слои для автомобилей разных марок, лучше сделать один слой с автомобилями, при этом каждому объекту, описывающему автомобиль, следует сопоставить код марки автомобиля.

В верхней части рис. 1.9 приведён пример городской застройки, на которой изображены жилые дома, фабрики, заправка, склады, различные автомобили, лесопарковая зона, река, улицы, мост, тоннель. Для геоинформационной системы можно было создать пять основных слоёв:

1. *Слой автомобилей.* Каждый автомобиль должен представляться в виде точки и дополнительно описываться параметрами цвета и марки.

2. *Слой автомобильных дорог.* В зависимости от решаемых задач автомобильные дороги могут быть представлены в виде осевых линий либо в виде многоугольников, точно описывающих проезжую часть. В некоторых случаях имеет смысл иметь два отдельных слоя для осевых линий дорог и для проезжих частей.

3. *Слой деревьев*. Деревья можно представить в ГИС в виде точечных объектов, для каждого из которых заданы атрибуты типа дерева, высоты, диаметра. Альтернативно крупные лесопарковые массивы могут быть описаны в виде многоугольников, окаймляющих сплошные зоны насаждений. Для каждого такого массива деревьев в атрибутах следует указать плотность посадки, среднюю высоту деревьев.

Рис. 1.9. Общая схема деления пространственных данных в ГИС на отдельные слои – наборы однотипных данных

4. *Слой зданий*. Здания представляются в виде многоугольников, описывающих контур здания на уровне земли. Для зданий в атрибутах следует указать тип здания (жилое, промышленное, коммерческое), адрес, высоту, количество этажей и др.

5. *Слой рек*. Реки на карте города обычно представляются в виде многоугольников. На других более мелких картах (картах области или всей страны) реки часто моделируют с помощью ломаных.

Деление данных на слои позволяет работать в ГИС только с теми данными, которые необходимы для решения поставленных задач. В самом простом случае можно «выключить» те слои, которые нам не нужны, и увидеть на карте оставшиеся.

Вопросы для самопроверки

1. В чём основное отличие ГИС от других информационных систем?
2. Каковы основные функциональные возможности ГИС?
3. Как выглядит типичная ГИС с точки зрения пользователя?
4. Какие критерии используются при классификации ГИС?
5. В каких областях человеческой деятельности целесообразно применять ГИС?
6. Как организованы данные в ГИС?

Глава 2. Модели пространственных данных

2.1. Классификация моделей

В основе геоинформационных систем лежат различные модели данных, являющиеся отражением реальных сущностей на местности, отношений между ними и других дополнительных знаний, имеющих пространственную привязку. Каждая модель данных ГИС включает в себя различные отдельные пространственные объекты, связанные между собой дополнительными топологическими отношениями.

Определение. *Пространственный объект (цифровая модель объекта местности)* – цифровое представление некоторого объекта реальности, включающее *координатную привязку* (*описание геометрии*) и набор *атрибутов* (текстовых и числовых характеристик).

В современных ГИС обычно используются следующие *базовые типы пространственных объектов* (рис. 2.1):

Рис. 2.1. Базовые типы пространственных объектов

<u>Векторные объекты</u> (используются в нетопологической и топологической моделях данных, см. ниже):

1. *Точки* – 0-мерные (точечные) объекты, характеризуемые координатами на плоскости или в пространстве.

2. *Мультиточки* – 0-мерные (точечные) объекты, состоящие из нескольких (не менее одной) точек. Этот тип объектов является обобщением типа «*Точки*».

3. *Линии* (*полилинии, полиполилинии*) – 1-мерные (линейные) объекты, состоящие из последовательности (не менее двух) точек, соединённых между собой *отрезками* (*сегментами*, *дугами*). Заметим, что не все последовательные точки могут соединяться между собой отрезками, а потому объекты данного типа могут иметь разрывы, то есть быть топологически несвязанными. Топологически связанные линии обычно называют *полилиниями*, а несвязанные – *полиполилиниями*.

4. *Полигоны* (*области*, *регионы*) – 2-мерные (площадные) объекты, состоящие из нескольких (не менее одного) контуров, заданных в виде последовательности замкнутых линий, и частей плоскости внутри контуров.

Вышеприведённые типы векторных фигур называют *простыми* в противовес следующим:

5. *Сложные фигуры (фигуры оформления, объекты САПР – из систем автоматизированного проектирования*) – разнообразные 0-, 1-, 2- и 3-мерные фигуры, используемые в ГИС для оформления. При этом на практике используются *прямоугольники*, *эллипсы*, *дуги эллипса*, *сплайны*, внедрённые *изображения (*в виде *растров* и *метафайлов)*, *OLE-объекты* (объекты для вставки на карту произвольных графических изображений по технологии OLE операционной системы Windows), различные *текстовые надписи*, *указатели*, *размерные линии*, а также специальные объекты для оформления карт в ГИС (*масштабные линейки*, *стрелки направления на север*, *легенды карты*, *фрагменты других карт*).

При выполнении операций пространственного анализа (построение оверлеев, буферных зон, анализ близости) с использованием сложных фигур вначале выполняется их преобразование в простые типы.

Ячеистые элементы (элементы растровых, регулярных и нерегулярных моделей):

6. *Пиксели* – 2-мерные (площадные) объекты, являющиеся элементами регулярной прямоугольной решетки в *растровой модели данных*.

7. *Ячейки* – 2-мерные (площадные) объекты, являющиеся элементами регулярного разбиения в модели *регулярной сети*.

8. *Треугольники* – 2-мерные (площадные) объекты, являющиеся элементами разбиения поверхности на треугольники в нерегулярной модели *триангуляции*.

Определение. *Модель данных* – способ описания однотипных пространственных объектов, включающий способ описания отдельных объектов, топологических отношений между ними, а также дополнительных знаний о всей совокупности объектов в модели.

Все множество моделей пространственных данных делится на две большие группы (рис. 2.2).

Векторные модели предназначены для описания совокупностей отдельных объектов, например границ рек, озер, контуров зданий, осей дорог и инженерных коммуникаций. В векторных моделях каждый объект задаётся некоторым набором координат на плоскости или в пространстве, а также совокупностью атрибутов.

Рис. 2.2. Модели пространственных данных

В *векторных нетопологических моделях* все объекты являются полностью независимыми друг от друга и могут произвольно размещаться в пространстве.

Векторные топологические модели состоят из собственно описания отдельных объектов, а также из описаний *топологии* – отношений отдельных объектов между собой. Наиболее распространёнными топологическими моделями являются *линейно-узловая модель* (*покрытие*) и *транспортная сеть*.

Ячеистые модели описывают непрерывные поля данных, такие как фотоснимки местности, поля загрязнений окружающей среды, высотных отметок (рельеф). В ячеистых моделях некоторый участок территории неразрывно разбивается на одинаковые (прямоугольники в *растровой* или треугольники в *регулярной модели*) или различные фрагменты (треугольники в нерегулярной *триангуляционной модели*), каждый из которых описывается своим набором атрибутов.

В геоинформационных системах все данные организуются в логические группы (тематические), называемые слоями, которые, в свою очередь, группируются в карты.

Определение. *Слой карты (тема)* – совокупность однотипных пространственных объектов, определённых в одной модели данных на общей территории и в общей системе координат.

Определение. *Карта* в ГИС – совокупность различных слоёв, определённых на общей территории и в общей системе координат.

В заключение этого раздела рассмотрим ещё несколько важнейших понятий.

Определение. *Цифровая модель местности (ЦММ)* – математическая модель местности, состоящая из множества наборов пространственных данных, описывающих различные виды сущностей и знаний о Земле.

ЦММ соответствует объектному составу топографических карт и планов и включает в себя описание формы рельефа Земли, природных и антропогенных объектов и сооружений.

Определение. *Цифровая карта* – математическая модель графического изображения бумажных карт, общепринятых в картографии. В некотором смысле цифровая карта является упрощённым представлением

ЦММ, включающей в себя только те данные по объектам местности, которые непосредственно отображаются на карте.

Определение. *Цифровая модель рельефа (ЦМР)* – часть цифровой модели местности, описывающая форму земной поверхности. ЦМР в геоинформационных системах моделируется с помощью ячеистых моделей данных, называемых обычно *DEM* (англ. *Digital Elevation Model* – регулярная сеть высот) и *TIN* (англ. *Triangulation Irregular Network* – нерегулярная триангуляционная сеть).

В геоинформационных системах ЦММ, цифровые карты и ЦМР являются частью соответствующих карт и представляются как наборы слоёв.

2.2. Нетопологическая модель данных

В *векторных нетопологических моделях* все объекты произвольно и независимо размещены в пространстве.

Термин «нетопологическая» в противовес «топологической» подчёркивает, что различные фигуры в пределах набора данных никак между собой не связаны и не влияют друг на друга.

Среди векторных нетопологических моделей выделяют два основных подвида: *шейп-модель* и *САПР-модель*.

Шейп-модель

В шейп-модели допустимы 4 вида данных: *точки*, *линии*, *полигоны* и *мультиточки*. При этом в пределах одного слоя карты, представленного в виде шейп-модели, допускаются объекты только одного вида. Соответствующие слои карты при этом называются *точечными*, *линейными*, *полигональными* (*площадными*) и *мультиточечными*.

Данные в шейп-модели могут быть определены на плоскости, и тогда они характеризуются двумя координатами (x, y), а также в 3- (координаты (x, y, z) или (x, y, m)) и 4-мерном (координаты (x, y, z, m)) пространстве. Координата m обычно используется в качестве так называемой «меры» для линий, когда значение меры описывает расстояние от некоторого начала (*пикетажное* расстояние). Для других типов шейп-данных (точек, полигонов и мультиточек) мера обычно не используется.

1. *Точки* в шейп-модели являются 0-мерными объектами, описываемыми набором соответствующих координат на плоскости или в пространстве. Точки используются для представления на карте таких объектов, как города на карте мира, колодцы, пожарные гидранты на плане города, высотные отметки рельефа.

2. *Мультиточки* в шейп-модели также являются 0-мерными объектами и состоят из ненулевого набора несоединённых точек. Этот тип объектов является обобщением типа «точки». Мультиточки используются на практике достаточно редко.

3. *Линии* в шейп-модели являются 1-мерными (линейными) объектами и определяются как последовательности соединённых отрезками точек. При этом выделяют три вида линий: *спагетти*, *струны* и *кольца*.

Спагетти могут самопересекаться, а струны и кольца не могут. Кольца имеют совпадающие начальную и конечную точки. Все линейные объекты имеют некоторое значение длины, но всегда нулевую площадь.

Спагетти должны состоять по крайней мере из одного отрезка, соединяющего две несовпадающие точки. Спагетти обычно используются при экспорте данных из некоторого источника линейных данных, где топологическая корректность данных не гарантируется. На рис. 2.3 приведён пример допустимого объекта типа спагетти.

Рис. 2.3. Пример данных типа «*спагетти*»

Струны также должны состоять по крайней мере из одного отрезка, соединяющего две несовпадающие точки. При вводе и редактировании струн производится проверка на то, чтобы не было самопересечений отрезков струны, а также последовательных коллинеарных отрезков. Примеры допустимой и недопустимой струн приведены на рис. 2.4.

Рис. 2.4. Пример данных типа «*струна*»
(слева – допустимые, справа – нет)

Кольца должны иметь совпадающие начальную и конечную точки. При вводе и редактировании колец производится проверка на отсутствие самопересечений отрезков кольца, а также последовательных коллинеарных отрезков. На рис. 2.5 приведены примеры допустимого и недопустимого колец.

Рис. 2.5. Пример данных типа «*кольцо*»
(слева – допустимые, справа – нет)

4. *Полигоны* в шейп-модели являются 2-мерными (площадными) объектами и определяются несколькими (не менее одного) контурами, заданными в виде последовательности замкнутых непересекающихся линий. По крайней мере один из этих контуров должен быть *внешним*, а осталь-

ные – *внутренними*. Внутренние контуры при этом должны задаваться в порядке обхода контура по часовой стрелке, а внешние – против.

На рис. 2.6 приведён пример полигона с двумя контурами.

Рис. 2.6. Пример данных типа «*полигон*»

Для каждой фигуры в шейп-модели данных может храниться некоторое число дополнительных числовых или текстовых параметров (*атрибутов*), описывающих различные характеристики моделируемых объектов.

САПР-модель

САПР-модель (модель данных, типичная для систем автоматизированного проектирования) используется в геоинформационных системах, как правило, для графического оформления карт и для создания сложных чертежей. При этом в пределах одного слоя карты, представленного в САПР-модели, допускаются объекты различных типов: простые (точки, мультиточки, линии, полигоны) и сложные (прямоугольники, дуги, эллипсы, сплайны, растры, метафайлы, OLE-объекты, надписи, указатели, размерные линии и элементы оформления карт).

САПР-модель используется для создания на картографической основе сложных графических изображений, например схем инженерных сетей.

2.3. Топологическая модель данных

Векторная топологическая модель данных содержит 3 основных типа объектов: *узлы*, *дуги* и *регионы*. Каждый из этих объектов имеет уникальный идентификатор ID, с помощью которого устанавливаются взаимные связи между объектами.

Слой карты, представленный в виде топологической модели данных, называется *покрытием*. Этот термин происходит из-за того, что взаимное наложение дуг и регионов в модели покрытия не допускается, а вся совокупность регионов в модели вместе с универсальным регионом «покрывает» всю плоскость (рис. 2.7).

Узлы являются обычными точечными объектами, характеризуемыми координатами на плоскости (x, y).

Дуги являются линейными объектами – ломаными, соединяющими пару узлов покрытия и проходящими через последовательность *промежуточных точек*. Кроме того, дуги характеризуются ссылками на два смежных (слева и справа) региона. Между собой дуги одного покрытия пересекаться не могут.

Рис. 2.7. Пример данных модели «покрытия»
(1–9 – узлы, 10–17 – промежуточные точки, a–k – дуги,
A–D – регионы, U – универсальный регион)

Регионы (области, полигоны) являются площадными объектами. Они характеризуются набором *контуров*, каждый из которых, в свою очередь, описывается последовательностью дуг покрытия. Между собой регионы одного покрытия пересекаться не могут.

Регионы бывают нескольких основных видов:

Простой регион – регион, содержащий только один контур.

Составной регион – регион, содержащий более одного контура. При этом составные регионы могут состоять из топологически несвязанных частей и иметь дырки.

Универсальный регион – часть плоскости, не входящая ни в один регион покрытия. Это понятие является абстракцией и в явном виде не представляется в модели покрытия.

2.4. Модель транспортной сети

Модель *транспортной (геометрической) сети* предназначена в первую очередь для описания в виде связанного графа схемы транспортных коммуникаций (автомобильных и железных дорог, авиалиний и водных маршрутов) с целью последующего *сетевого анализа*.

Транспортная сеть содержит два основных типа объектов (*узлы* и *дуги*), а также один дополнительный – *маршруты* (рис. 2.8).

1. *Узлы* являются обычными точечными объектами, характеризуемыми координатами на плоскости (x, y). Узлы могут дополнительно характеризоваться такими параметрами, как запреты на выполнение некоторых поворотов и время их выполнения.

2. *Дуги* являются линейными объектами – ломаными, соединяющими пару узлов транспортной сети и проходящими через последовательность *промежуточных точек*. Каждая дуга характеризуется длиной или време-

нем движения по ней, разрешёнными направлениями движения, классом дороги или пропускной способностью и др.

3. Дополнительно на транспортной сети могут быть определены объекты ещё одного типа – *маршруты движения транспорта*. Каждый маршрут определяется как замкнутая упорядоченная последовательность узлов и дуг, а также различными числовыми характеристиками (например, расчётное время прохождения транспорта через остановки).

Следует заметить, что модель транспортной сети похожа на модель покрытия без регионов. Однако, в отличие от покрытия, в транспортной сети допустимо взаимное пересечение дуг. Это необходимо, например, чтобы показать пересечение автомобильных дорог в разных уровнях.

Рис. 2.8. Пример данных модели «транспортная сеть»
(1–7 – узлы, 8–12 – промежуточные точки, 7–9 – остановки,
a–n – дуги, A–B – маршруты общественного транспорта)

2.5. Растровая модель данных

Растровая модель данных является исторически самой первой моделью данных геоинформатики. В этой модели вся плоскость разбивается системой равноотстоящих вертикальных и горизонтальных прямых на одинаковые ячейки – *пиксели*, каждому из которых сопоставлен какой-то код. В каждом пикселе может храниться какая-то числовая характеристика пространства (например, высота рельефа, цвет на фотоснимке, уровень загрязнения окружающей среды) или код объекта, которому принадлежит соответствующий пиксель.

На рис. 2.9 приведён пример представления карты земельных участков в векторной и растровой модели. В векторной модели для каждого полигона A, B, C и D заданы координаты границ полигонов, то есть в векторной модели указывается, *где* находится объект. В растровой модели всё пространство разделено на пиксели, в каждом из которых хранится код соответствующего земельного участка, то есть в растровой модели хранится информация о том, *что* находится в заданной точке территории.

Рис. 2.9. Пример представления земельных участков в векторной (вверху) и растровой (внизу) моделях данных

На примере рис. 2.9 видно, что точность задания границ земельных участков в растровой модели невысока, так как соответствует размеру пикселя. Поэтому для повышения точности данных приходится существенно увеличивать количество пикселей. Однако бесконечно увеличивать число пикселей также нельзя, так как ресурсы компьютеров ограничены. Например, если бы мы захотели на карте города размером 10×10 км представить карту земельных участков с точностью 1 см (пикселями размером 1×1 см), то нам понадобилось бы 10^{12} пикселей. Если каждый пиксель мы будем кодировать 4 байтами, то нам понадобится примерно 4 Тб памяти, что значительно превосходит возможности типичного современного персонального компьютера. Именно поэтому при выборе размера и числа пикселей приходится идти на компромисс.

Для экономии затрачиваемой памяти существуют различные алгоритмические методы компрессии растров, которые позволяют в зависимости от типа данных сжимать их в десятки, сотни и даже тысячи раз. Поэтому в вышеприведённом примере на практике может оказаться достаточно только 1 Гб или даже меньше для хранения вышеуказанной карты земельных участков.

Одним из достоинств растровой модели данных является простота алгоритмов обработки, включая операции пространственного анализа. Например, очень легко можно отыскать все здания, располагающиеся в водоохраной зоне, для чего надо наложить растровые слои зданий и водоохранных зон и попиксельно найти искомые здания.

В настоящее время растровая модель не является основной в ГИС, а используется только в тех случаях, когда векторная модель не даёт адекватного результата. Именно поэтому актуальными являются операции преобразования данных из растра в вектор (*векторизация*) и наоборот (*растеризация*). Растеризация – это обычная для ГИС и достаточно простая операция, однако векторизация является гораздо более сложной и большинством ГИС не поддерживается. Векторизация обычно выполняется в ручном или полуавтоматическом режиме с помощью специальных программ – *векторизаторов*.

Определение. Если ГИС поддерживает только векторные модели данных и нерегулярные сети, то она называется *векторной*. Если основной для ГИС является растровая модель данных, то она называется *растровой* ГИС. *Растрово-векторной* называется такая растровая ГИС, в которой имеются как поддержка векторных моделей, так и средства векторизации и растеризации.

2.6. Триангуляционная модель поверхностей

Триангуляционная модель данных (нерегулярная триангуляционная сеть) предназначена для описания поверхностей. В качестве моделируемой поверхности может выступать рельеф земной поверхности (рис. 2.10) или распределение какого-то параметра по земной поверхности, например загрязнения окружающей среды, количества выпадающих осадков или среднегодовой температуры.

Рис. 2.10. Триангуляционная модель поверхности Земли

Заметим, что для моделирования поверхностей может использоваться и растровая модель, когда в каждом пикселе растра задаётся высота моделируемой поверхности. Однако триангуляционная модель имеет ряд преимуществ по сравнению с растровой. Во-первых, это более высокая точность моделирования и обычно меньшие затраты памяти. Во-вторых, в триангуляционной модели можно в явном виде представлять резкие изломы поверхности, то есть точки и линии, вдоль которых резко меняется кривизна поверхности (вершины гор, границы оврагов, обрывы рек, границы искусственных сооружений). В растровой модели предполагается, что вся моделируемая поверхность является гладкой.

Исходными данными для построения триангуляционной модели поверхности служат высотные отметки, изолинии, а также различные структурные линии, меняющие форму поверхности.

В основе триангуляционной модели данных лежит *триангуляция* – особая структура данных из вычислительной геометрии, определённая на плоскости. В самом общем понимании *триангуляция* – это планарный граф, построенный на множестве заданных узлов и разбивающий всю плоскость на треугольники и одну внешнюю бесконечную фигуру.

Триангуляция может быть различного вида. В триангуляционной модели данных используется так называемая *триангуляция Делоне с ограничениями*, в которой треугольники строятся так, чтобы они были «максимально равносторонними», а точнее так, что внутрь окружности, описанной вокруг любого треугольника, по возможности не должны попадать узлы триангуляции (рис. 2.11).

Так как триангуляция определена на плоскости, то для моделирования поверхностей (в частности, рельефа) в каждом узле триангуляции дополнительно добавляется ещё одна координата – высотная отметка. При этом каждый треугольник триангуляции становится пространственным, определяя некоторую плоскую часть моделируемой поверхности.

Рис. 2.11. Пример триангуляции Делоне с демонстрацией условия Делоне

Такие триангуляционные модели поверхностей обычно относят к классу так называемых 2,5-мерных моделей (ещё они иногда называются *однозначными поверхностями двух переменных*), подчеркивая, что, несмотря на наличие z-координат, это не полноценная 3-мерная модель, так как не любая поверхность может быть описана такой моделью. Например, в этой модели нельзя описать внутреннюю структуру пещеры и склоны горы, являющиеся вертикальными или имеющими отрицательный уклон. При этом на практике при необходимости моделирования строго вертикальных граней (например, стен зданий) грани делают «почти» вертикальными, вводя дополнительные узлы в триангуляцию.

Триангуляционная модель данных содержит 3 основных типа данных: *узлы*, *ребра* и *треугольники* (рис. 2.12).

Рис. 2.12. Связи объектов в триангуляционной модели данных

Узлы в триангуляции характеризуются координатами (x, y, z).

Ребра в триангуляции являются отрезками, соединяющими два некоторых узла. Большинство рёбер в триангуляции в явном виде не представляются, так как их можно всегда косвенно получить через треугольники. В явном виде представляются только особые ребра, для которых нужно хранить дополнительную информацию, например признак структурности линии или то, что поверхность не сохраняет гладкость вдоль этой линии.

Треугольники в триангуляции описываются ссылками на 3 образующих узла, а также ссылками на смежные треугольники и особые рёбра. Ссылки на смежные треугольники и рёбра нужны только для ускорения операций анализа поверхности, а для отображения на карте не нужны.

2.7. Георeляционная модель данных

Одним из важнейших свойств геоинформационных систем является то, что почти для любого пространственного объекта можно задать набор дополнительных атрибутов в виде числовых или символьных значений.

Последние десятилетия среди множества различных моделей баз данных наиболее распространённой в геоинформатике является так называемая *реляционная модель*. С точки зрения пользователя вся база данных в этой модели состоит из набора различных *таблиц*, имеющих фиксированные наборы столбцов (*полей*) и переменное число строк (*записей*), опи-

сывающих некоторые объекты. Связи между таблицами обеспечиваются с помощью *ключевых полей* – специально выделенных столбцов таблиц.

В полях реляционных таблиц могут хранится данные только некоторых определённых типов: целые и вещественные числа, строки, логические значения, дата, время, а также *BLOB* (англ. *Binary Large OBjects* – большие бинарные объекты).

Для работы с реляционными базами данных создан специальный язык SQL (язык структурированных запросов), позволяющий выполнять модификацию базы данных и поиск требуемых данных.

На рис. 2.13 представлена простая база данных из двух таблиц, содержащая сведения о земельных участках и их собственниках. Каждая из таблиц содержит *ключевое поле* (*ключ*) «ID», уникально определяющее объект «земельный участок» или «собственник» внутри соответствующей таблицы. Связи между таблицами осуществляются с помощью таких ключевых полей. Так, для этого в таблице «Земельный участок» специально выделено поле «Код собственника», в котором запоминается значение ключа из таблицы «Собственник».

Земельный участок

ID	Код собственника	Площадь
1	34	267,98
2	48	132,72
3	97	2056,02
4	97	350,78
...	...	...

Собственник

ID	Описание	Частник
34	ООО «Мечта»	Нет
48	ЗАО «Дельфин»	Нет
97	Иванов М.О.	Да
...	...	...

Рис. 2.13. Таблицы реляционной базы данных

В дальнейшем при необходимости получения имени собственника для заданного земельного участка система управления базами данных (СУБД) получит код собственника в таблице «Земельный участок», затем найдет в таблице «Собственник» запись с этим кодом и извлечет из соответствующего поля искомое описание собственника.

Одним из недостатков таблицы «Земельный участок» является то, что здесь никак не хранятся сведения о геометрии самого участка. Для этого в соответствии с реляционным подходом следовало бы завести ряд вспомогательных таблиц и хранить в них необходимую информацию о полигонах, составляющих земельные участки. Однако скорость работы даже самых лучших в мире СУБД не позволит оперативно использовать геометрические данные, представленные в таком виде. «Оперативно» – это когда требуется, например, за доли секунды отрисовать на экране компьютера десятки и сотни тысяч земельных участков.

Именно поэтому в большинстве геоинформационных систем сложился несколько иной – *георeляционный* подход, когда *геометрия* пространственного объекта (например, земельного участка) хранится в отдельном месте в специально разработанном формате, а *атрибуты* объекта – в некоторой таблице базы данных. При этом связь между геометрией и атрибутами осуществляется с помощью *ключа* – уникального кода пространственного объекта, примерно так же, как и в реляционных таблицах (рис. 2.14).

Рис. 2.14. Георeляционная база данных (слева – упорядоченный список пространственных объектов в слое карты, а справа – связанные с ними записи в базе данных)

В геоинформационных системах для удобства пользователей имеется операция *соединения* атрибутов пространственных данных с таблицами внешних баз данных. В результате пользователю кажется, будто он имеет дело с обычными таблицами баз данных, в которых дополнительно появился первый столбец с геометрией объектов. Для вышеприведённого примера с земельными участками получаемый результат представлен на рис. 2.15.

Рис. 2.15. Соединение таблиц георeляционной базы данных

Теперь, после операции *соединения* возможно выполнение операций различных информационных запросов над соединённой таблицей. Например, среди всех земельных участков можно найти все те, которые принадлежат физическим лицам, и они будут выделены на карте в ГИС.

Другой важной особенностью ГИС после выполнения *соединения* является автоматическое добавление и удаление записей в присоединённой таблице. Так, при создании на слое карты нового полигона в присоединённой таблице (в нашем примере в таблице «Земельный участок») будет автоматически создана запись с необходимым значением кода связи ID. При удалении полигона с карты связанная запись будет удалена.

Георeляционный подход в ГИС используется не только для хранения атрибутов для векторных объектов (в шейп-файлах, покрытиях, транспортных сетях и САПР-моделях). Аналогичным способом хранятся данные в растровой модели данных (рис. 2.16).

Рис. 2.16. Георeляционная база данных (вверху – растровый слой карты, внизу – связанные с ними записи в базе данных)

2.8. Геобаза данных

Изначально и до сих пор почти во всех ГИС геометрия и атрибутика пространственных объектов хранятся в различных файлах, а не в базах данных. Это связано с двумя основными причинами.

Во-первых, с низкой скоростью извлечения и изменения геометрической информации из баз данных, управляемых обычными системам СУБД, по сравнению с обычными файлами. Отчасти это было связано с низкой пропускной способностью каналов связи между сервером с СУБД, не позволявших передавать с сервера на компьютер пользователя информацию о пространственных объектах, которые должны выводиться на экран практически в реальном режиме времени. Кроме того, низкая скорость связана с тем, что геометрия линейных и площадных объектов должна храниться во вспомогательных таблицах или в BLOB-полях, что также существенно снижает скорость обращения к данным.

Во-вторых, хранение геометрии объектов в базе данных не даёт тех преимуществ, которые имеются при хранении обычных негеометрических данных. Например, в обычных БД имеются несколько ключевых понятий, используемых практически во всех прикладных базах данных. Это «*ограничения целостности»,* не позволяющие вводить некорректные значения в поля таблиц и создавать некорректные ссылки между таблицами базы данных; «*блокировки»,* запрещающие редактировать отдельные поля или целые таблицы базы данных, а также «*транзакции»,* позволяющие выполнять большие изменения БД, но в случае ошибки во время транзакции «откатывающие» состояние всей БД в состояние до её начала.

Но все эти ограничения целостности, блокировки и транзакции мало применимы для пространственных объектов. Так, ограничения целостности в ГИС в основном имеют геометрический характер (например, запрещено пересечение линий дорог и рек, так как пересечение рек дорогами должно быть только через мост) и их очень сложно описать стандартными средствами СУБД (в виде хранимых процедур на языке SQL). Блокировки в ГИС должны также иметь пространственный характер, например, для обеспечения возможности параллельной работы многих пользователей с одной картой нужно заблокировать некоторый регион этой карты, что приводит к необходимости блокировки целых таблиц в СУБД.

Классические транзакции в теории баз данных называют также ещё *короткими транзакциями*, чтобы подчеркнуть, что процесс ввода данных в СУБД обычно занимает немного времени. При этом пока выполняется транзакция одним пользователем, работа другого пользователя должна быть заблокирована, чтобы не нарушить целостность базы данных.

В ГИС же требуется выполнять *длинные транзакции*, в течение которых пользователь может изменять состояние множества взаимосвязанных слоёв карты. При этом в процессе редактирования многие геометрические ограничения целостности могут нарушаться. По окончании ввода данных (для завершения длинной транзакции) пользователь вновь должен

привести базу данных (карту) в допустимое состояние. Длинная транзакция может выполняться сколько угодно долгое время (дни и даже недели). Очевидно, что во время ввода данных одним пользователем нельзя блокировать всю базу данных от изменений другими пользователями на такое большое время.

С другой стороны, возможность хранения геометрии совместно с атрибутикой в базе данных обеспечила бы определённые преимущества, но только если бы удалось решить вышеприведённые проблемы.

В конце концов всё это привело к разработке различных расширений и надстроек над обычными СУБД, позволяющих создавать полноценные *пространственные базы данных*, удовлетворяющие всем современным требованиям ГИС. Консорциум разработчиков языка SQL ввёл в последний стандарт языка SQL 3 соответствующие разделы, регламентирующие основы работы с пространственными базами данных.

Самым главным достоинством современных пространственных баз данных является то, что в них можно тесно интегрировать *геометрию*, *атрибутику* и *поведение* объектов. Всё это соответствует главным принципам объектно-ориентированного подхода, являющегося сейчас основным при создании любых программных систем.

В настоящее время наибольшее распространение получили две надстройки над промышленными СУБД, реализующие требования стандарта SQL 3 и тесно интегрированные с ведущими мировыми ГИС. Это ArcSDE (Spatial Database Engine) компании ESRI, Inc (США) и SpatialWare компании MapInfo, Inc (США).

Модель геобазы данных ArcSDE 8.x/9.x является логическим развитием топологической модели данных (покрытия). С её помощью при необходимости можно создавать аналоги нетопологической модели шейп-файлов. Кроме того, модель геобазы позволяет создавать *сети*, определять *пространственные отношения* между объектами и вводить новые *объектно-ориентированные сущности*.

Одним из наиболее заметных достижений ArcSDE является введение технологии *версий*, предназначенных для выполнения «*длинных транзакций*» и позволяющих отказаться от традиционных блокировок в регионах.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое пространственный объект?
2. Какие бывают модели пространственных данных?
3. Что такое ЦММ, ЦМР?
4. В чём заключается разница между топологической и нетопологической моделями данных?
5. Как представляются объекты в растровой модели данных?
6. Какие модели данных используются для моделирования рельефа?
7. Что такое георeляционная модель данных?
8. Что такое геобаза данных и каковы её основные преимущества перед традиционными моделями данных в файловом исполнении?

Глава 3. Структура и источники геоданных

3.1. Системы координат

Основная цель введения некоторой системы координат в геоинформатике – это описание положения объектов на поверхности Земли в некотором «естественном» виде.

Если мы хотим определить положение судна в океане и нам нужно проложить маршрут движения по карте, то вначале мы «естественно» должны определить *широту* и *долготу* положения судна в градусах с помощью специальных приборов. При этом мы используем *географические координаты*. Применение таких координат удобно с точки зрения их понимания и вычисления различными астрономическими методами, однако крайне неудобно для выполнения любых геометрических измерений и построений. Например, очень сложно определить кратчайшее расстояние между двумя пунктами на поверхности Земли, положения которых заданы в градусах.

Это связано с тем что поверхность Земли не является плоскостью, а поэтому формулы вычисления расстояний и других геометрических измерений на реальной поверхности Земли крайне сложны.

В связи с тем, что физическая поверхность Земли имеет очень сложную форму, она в зависимости от решаемых задач аппроксимируется некоторой фигурой, достаточно просто описываемой математически, например сферой или эллипсоидом. Это позволяет разработать формулы для определения того же самого расстояния на поверхности сферы.

Однако если мы строим новый квартал в городе, то «естественно» предположить, что поверхность Земли в пределах застраиваемой территории является плоской, а потому все сложности сферической геометрии можно отбросить и использовать привычные для всех со школы формулы геометрии на плоскости. Именно поэтому проект внутриквартальной застройки «естественно» выполнить на топографическом плане, используя *прямоугольные декартовы координаты* в пространстве.

При этом важнейшим вопросом является выбор этой декартовой системы координат. «Естественно» предполагать, что ось Z этой системы координат должна быть направлена вверх, а другие оси – параллельно поверхности Земли в начале координат. Это нужно для того, чтобы можно было в полевых условиях измерять высоты на местности с помощью нивелира, а также определять вертикали с помощью обычного отвеса.

В то же время если мы строим большой протяжённый объект, например, дорогу, протянувшуюся на сотни или тысячи километров, то поверхность Земли на таких расстояниях будет существенно отличаться от плоскости. Отклонение поверхности Земли от касательной плоскости, в

которой определена декартова система координат, составляет на расстоянии 1 км от точки касания 7,8 см, а на 10 км – уже 7,84 м! Поэтому проект строительства дороги будет разбит на участки, выполняемые в различных декартовых системах координат. Основной проблемой такого способа является стыковка участков проекта, выполненных в разных локальных системах координат. Таким образом, возникает необходимость выработки общего подхода, позволяющего легко и непротиворечиво получать локальные системы координат, взаимно увязывать их друг с другом, а также при необходимости переходить к географическим координатам.

Для этого надо построить некоторую модель поверхности всей Земли, а также определить формулы перехода от этой модели к локальным координатам и обратно. «Естественно» предполагать, что все локальные (местные) декартовы системы координат должны иметь: 1) начала координат, лежащие на модели поверхности Земли, 2) ось Z, направленную по нормали к модели поверхности. При таких предположениях, по крайней мере, измерение вертикали в локальной системе координат можно будет производить на местности с помощью обычного отвеса. Отсюда возникают следующие понятия.

Определение. *Уровенной* называется поверхность, ортогональная в каждой своей точке к векторам силы тяжести.

Определение. *Геоидом* называется уровенная поверхность, проходящая через некоторую точку начала отсчёта высот.

Однако геоид имеет крайне сложную форму и её практически невозможно математически точно описать. Поэтому в зависимости от решаемых задач форма геоида может аппроксимироваться сферой, эллипсоидом вращения, трёхосным эллипсоидом или, наиболее точно, *квазигеоидами*.

Сложность формы геоида (как и любой другой уровенной поверхности) возникает из-за того, что Земля состоит из неравномерно распределённых масс различной плотности. Это приводит к тому, что сила тяжести на поверхности Земли в разных местах является различной. Кроме того, векторы силы тяжести имеют самые разные направления, не сходящиеся в центре масс Земли.

Определение. *Общеземным* называется эллипсоид вращения, плоскость экватора и центр которого совпадают с плоскостью экватора и центром масс Земли и который наилучшим образом аппроксимирует поверхность геоида.

Определение. *Референц-эллипсоидом* (*референц-сферой*) называется такой эллипсоид (сфера), который наилучшим образом аппроксимирует поверхность геоида на соответствующей территории Земли.

Определение. *Квазигеоидом* называется такая фигура, которая на различных участках поверхности Земли аппроксимируется различными местными референц-эллипсоидами. На территории морей и океанов поверхность квазигеоида совпадает с поверхностью геоида, а на суше она отклоняется от него в пределах двух метров.

Большинство референц-эллипсоидов являются эллипсоидами вращения, которые характеризуются длинами своих полуосей (a – расстояние от его центра до точек экватора и b – расстояние от центра до полюсов) и вытекающим из этих длин коэффициентом сжатия $\alpha = (a - b)/a$ (рис. 3.1). Вместо коэффициента сжатия эллипсоиды иногда характеризуются эксцентриситетом $e = (1 - (b/a)^2)^{1/2}$.

Рис. 3.1. Эллипсоид вращения

Кроме своих размеров, референц-эллипсоиды характеризуются положением центра в теле Земли и ориентацией вертикальной оси. Когда для работы на территории берётся некоторый местный референц-эллипсоид, то он выбирается так, чтобы максимально точно соответствовать поверхности геоида на этой территории (рис. 3.2). Именно поэтому данный референц-эллипсоид может очень сильно отличаться от поверхности геоида на других территориях.

Рис. 3.2. Аппроксимация поверхности Земли референц-эллипсоидами

Среди множества имеющихся в мире референц-эллипсоидов в России наиболее часто используется эллипсоид Красовского ($a = 6378245$; $b = 6356863{,}0188$; $\alpha = 1:298{,}3$), начальный пункт в Пулково, превышение геоида над референц-эллипсоидом в начальном пункте равно нулю, а из-

мерение высот делается в Балтийской системе высот, ведущей отсчёт от нуля Кронштадтского футштока. Эта система координат называется СК-42, так как она была разработана в 1942 г., а с 1946 г. была введена в эксплуатацию на территории СССР. Тем не менее на Дальнем Востоке иногда используется другая система высот от уровня Охотского моря.

В России с 1 июля 2002 г. обязательным к применению является система координат СК-95 (на основе эллипсоида Красовского, но несколько смещенного и повернутого относительно СК-42) для всех геодезических и картографических работ, а для геодезического обеспечения орбитальных полетов – ПЗ-90 (Параметры Земли 1990 г.), имеющая параметры $a = 6378136$; $b = 6356751$; $\alpha = 1:298{,}25279401$.

Тем не менее в последнее время в России все чаще стал также применяться международный референц-эллипсоид WGS-84 ($a = 6378137$; $b = 6356752$; $\alpha = 1:298{,}25284078$). Это связано с тем, что в системе этого референц-эллипсоида выдают координаты приёмники американской системы глобального позиционирования GPS, которая всё шире применяется в практике геодезических работ.

В математической картографии используются пространственные прямоугольные, криволинейные, плоские прямоугольные и полярные системы координат.

Самой простой является пространственная прямоугольная *геоцентрическая система координат*, начало которой совмещено с центром Земли, ось Z направлена на Северный полюс Земли, ось X – на точку пересечения Гринвичского меридиана с экватором, а ось Y – на восток от Гринвича (рис. 3.3). В качестве точки Северного полюса обычно используют *условный земной полюс* (*международное условное начало*), которая вместе с центром масс Земли определяет некоторое фиксированное среднее положение оси вращения Земли. Это связано в основном с *прецессией* – астрономическим явлением, заключающимся в том, что ось вращения Земли со временем перемещается в теле Земли и относительно звезд.

В то же время на практике обычно используются различные *квазигеоцентрические системы координат*, центр которых и угол наклона осей несколько иной. Именно поэтому имеются специальные формулы для пересчёта координат из одной системы координат в другую:

$$\begin{vmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{vmatrix} = M \begin{vmatrix} 1 & \varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & 1 & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} x \\ y \\ z \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{vmatrix},$$

где x_0, y_0, z_0 – координаты начала координат второй системы в первой; M – масштабный коэффициент; $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ – разворот осей на малые углы.

Ориентация используемого референц-эллипсоида характеризуется смещением от центра масс Земли и отклонением его оси относительно оси вращения Земли.

Рис. 3.3. Геоцентрическая система координат

Однако более привычной является *географическая* (*геодезическая*) система координат, когда координаты точки на поверхности эллипсоида определяются *широтой* φ и *долготой* λ, измеряемыми в градусах от экватора и от Гринвичского меридиана соответственно (рис. 3.4). Координаты любой точки в пространстве складываются из широты и долготы её проекции по нормали на эллипсоид и высоты H точки относительно эллипсоида.

В связи с тем, что широта и долгота точки на местности зачастую определяются с помощью астрономических наблюдений, географические координаты также иногда называются *астрономическими*.

Рис. 3.4. Географическая (геодезическая) система координат

Использование вышеприведённых геоцентрической и географической систем координат не всегда удобно. Так, при работе на небольших участках земной поверхности чаще применяется *топоцентрическая* (*горизонтная*) система координат, которая является обычной прямоугольной пространственной системой координат и характеризуется некоторой начальной точкой $Q_0(\varphi_0, \lambda_0, H_0)$, задаваемой в географической системе координат (H_0 – это высота точки Q_0 над уровнем референц-эллипсоида). Ось Z топоцентрической системы координат совпадает с нормалью к по-

верхности эллипсоида, проходящей через Q_0, ось X лежит в плоскости меридиана и направлена на северный полюс, а ось Y направлена на восток (рис. 3.5).

Рис. 3.5. Топоцентрическая (горизонтная) система координат

Кроме вышеупомянутых, также широко используется *полярная сфероидическая (сферическая) система координат*. В этой системе отсчёт ведётся от точки нового полюса $Q_0(\varphi_0, \lambda_0)$, задаваемого в географической системе координат (рис. 3.6). Положение любой точки C на поверхности эллипсоида задаётся двумя углами a и z. Угол a (азимут) измеряется между нормальными плоскостями в точке полюса, одна из которых проходит через старые полюса эллипсоида, а другая – через точку C. Угол z определяется как $\angle CO'Q_0$, где точка O' является точкой пересечения вертикальной оси референц-эллипсоида с нормалью к эллипсоиду, проведённой через точку нового полюса. Слово *полярная* в названии данной системы координат призвано подчеркнуть, что координаты a и z можно представлять себе как полярные угол и радиус соответственно, только на поверхности эллипсоида, а не на плоскости.

Рис. 3.6. Полярная сфероидическая (сферическая) система координат

Отметим, что в математической картографии иногда также используется «почти обычная» полярная система координат – так называемая *полярная геодезическая система координат*. В этой системе отсчёт, так же как и в предыдущем случае, ведётся от точки нового полюса $Q_0(\varphi_0, \lambda_0)$, задаваемого в географической системе координат (рис. 3.7). Положение любой точки *C* на поверхности эллипсоида задаётся длиной геодезической линии *s* от Q_0 до *C* и азимутом *a* – углом между нормальными плоскостями в точке полюса, одна из которых проходит через старые полюса эллипсоида, а другая – через точку *C* (*геодезической линией* между двумя заданными точками на некоторой поверхности называется кратчайшая линия, связывающая эти две точки на данной поверхности).

Рис. 3.7. Полярная геодезическая система координат

Все вышеприведённые системы координат предназначены для задания «абсолютных координат», то есть координат, не зависящих от положения никаких объектов в пространстве.

В противовес *абсолютным* часто используются различные *относительные* координаты, в которых отсчёт ведётся от некоторых заметных объектов на местности.

Относительные системы координат бывают двух основных видов:

1. *Относительная полюсная система координат*. В этих координатах отсчёт ведётся от полюсов – некоторых известных точек на местности, заданных либо в абсолютной системе координат, либо в описательном виде. Положение любой иной точки на местности может задаваться как азимут и расстояние от некоторого полюса либо как расстояния от двух полюсов.

С помощью таких координат очень часто задаётся положение объектов подземных инженерных коммуникаций (колодцев, труб, кабелей) на картах местности, например в терминах «4 метра на север от угла дома» или «в 5 метрах от угла дома и на расстоянии 6 метров от стены трансформаторной подстанции» (рис. 3.8).

Эта система координат позволяет задать положение объектов на плане, а также в пространстве, добавляя в описание координат смещение по высоте искомой точки от плановой («2 метра под землей») или от базовой точки («3 метра ниже отметки на стене дома»).

Рис. 3.8. Задание положения инженерных коммуникацией с помощью относительной полюсной системы координат

2. *Относительная линеаризованная (пикетажная) система координат*. В этой системе за основу берётся некоторая *базовая кривая*, положение которой задано в абсолютной системе координат. Кроме того, на этой кривой выбирается некоторая базовая точка *B* (обычно это начало кривой). Положение любой иной точки *C* на базовой кривой считается как кратчайшее расстояние от этой точки до базовой точки вдоль базовой кривой. Такое расстояние часто называют *пикетажным расстоянием* или *пикетажем*. Для определения положения любой точки *P* на плоскости, не лежащей на базовой прямой, нужно найти ближайшую точку *C* на базовой прямой. Положением точки *P* будет считаться пара величин «пикетаж + смещение», где «пикетаж» – это пикетаж точки *C* относительно *B*, а «смещение» – это расстояние от *P* до *C*. Причем если точка P располагается справа от кривой *BC*, то смещение берётся со знаком плюс, иначе – со знаком минус (рис. 3.9).

Рис. 3.9. Задание положения объектов инженерного обустройства автомобильной дороги с помощью линеаризованной системы координат

3.2. Картографические проекции

В связи с тем, что форма Земли не является плоской, при построении бумажных или электронных карт используются так называемые *картографические проекции* – математические способы отображения поверхности Земли на плоскость.

К настоящему времени создано огромное количество различных проекций, выбор которых зависит от размеров картографируемой территории, назначения карты, а также стандартов, принятых в той или иной стране мира.

Важнейшими характеристиками проекций являются характер и величина искажений. При этом выделяют следующие виды проекций:

1. *Равноугольные* проекции. В этих проекциях сохраняются без искажений углы и формы малых объектов, но сильно искажаются длины и площади объектов. В математике такие преобразования называются конформными. Такие проекции используются, например, для навигации и прокладки транспортных маршрутов.

2. *Равновеликие* проекции. Эти проекции сохраняют площади всех объектов, но искажают углы и формы объектов. В таких проекциях очень удобно, например, определять площади земельных участков.

3. *Равнопромежуточные* проекции. В этих проекциях сохраняются длины вдоль одного из главных направлений (обычно вдоль параллелей либо вдоль одного или всех меридианов).

4. *Произвольные* проекции. В таких проекциях не сохраняются длины, площади или углы, однако преобразование проекции подбирается так, чтобы искажения углов, площадей и длин были в целом по карте минимальны. Как правило, в центре карты делают минимальные искажения, которые плавно возрастают к краям.

Картографические проекции обычно задаются в виде:

$$\begin{cases} x = f_1(\varphi, \lambda); \\ y = f_2(\varphi, \lambda), \end{cases}$$

где x – вертикальная (не горизонтальная!) координата после проецирования; y – горизонтальная координата; φ – широта проецируемой точки; λ – долгота.

В зависимости от общего вида функций f_1 и f_2 получаются различные семейства проекций. Рассмотрим основные классы проекций.

1. *Цилиндрические* проекции. В этих проекциях меридианы – это равноотстоящие параллельные линии, а параллели – параллельные прямые, ортогональные меридианам. Общие уравнения цилиндрических проекций выглядят так:

$$\begin{cases} x = f_1(\varphi); \\ y = c\lambda, \end{cases}$$

где c – постоянный параметр.

На рис. 3.10–3.12 приведены различные варианты цилиндрической проекции.

Рис. 3.10. Равноугольная цилиндрическая проекция

Рис. 3.11. Равновеликая цилиндрическая проекция

Рис. 3.12. Равнопромежуточная по меридианам цилиндрическая проекция

2. *Псевдоцилиндрические* проекции. В этих проекциях параллели – это параллельные прямые, а меридианы – кривые или прямые, симметричные относительно среднего прямолинейного меридиана.

Общие уравнения псевдоцилиндрических проекций выглядят так:

$$\begin{cases} x = f_1(\varphi); \\ y = f_2(\varphi, \lambda). \end{cases}$$

Варианты равновеликих псевдоцилиндрических проекций приведены на рис. 3.13–3.15 с меридианами в форме синусоид, а на рис. 3.16 – с меридианами в форме эллипсов. На рис. 3.17–3.19 приведены примеры произвольных псевдоцилиндрических проекций.

Рис. 3.13. Равновеликая синусоидальная псевдоцилиндрическая проекция с полюсами в виде точек

Рис. 3.14. Равновеликая синусоидальная псевдоцилиндрическая проекция с полярной линией

Рис. 3.15. Равновеликая синусоидальная псевдоцилиндрическая проекция Каврайского

Рис. 3.16. Равновеликая эллиптическая псевдоцилиндрическая проекция

Рис. 3.17. Произвольная синусоидальная псевдоцилиндрическая проекция

Рис. 3.18. Произвольная эллиптическая псевдоцилиндрическая проекция Каврайского

Рис. 3.19. Произвольная эллиптическая псевдоцилиндрическая проекция Михайлова

Рис. 3.20. Произвольная псевдоцилиндрическая проекция ЦНИИГАиК (Гинзбурга)

3. *Поперечно-цилиндрические* проекции. Для их получения вначале географические координаты переводятся в сферические полярные координаты, которые в свою очередь преобразуются с помощью некоторой обычной цилиндрической проекции. К таким проекциям относятся наиболее распространённые в мире проекции: проекции Гаусса–Крюгера и UTM.

Общие уравнения поперечно-цилиндрических проекций выглядят следующим образом:

$$\begin{cases} x = rX; \\ y = f(Y); \end{cases}$$

где X, Y – сферические полярные координаты поперечной системы, а r – константа.

Примеры некоторых поперечно-цилиндрических проекций приведены на рис. 3.21–3.22.

Рис. 3.21. Поперечно-цилиндрическая проекция Гаусса–Крюгера. Практически так же выглядят проекции Кассини–Зольднера, Гаусса–Ламберта и Меркатора, которая известна также как UTM и проекция Гаусса–Боага

Рис. 3.22. Поперечно-цилиндрическая проекция Гаусса–Крюгера для широкой полосы

4. *Конические* проекции. В этих проекциях параллели – это концентрические окружности, а меридианы – пучок прямых, проведённых из центра окружностей.

Общие уравнения конических проекций выглядят так:

$$\begin{cases} x = \rho_{ю} - \rho\cos\delta; \\ y = \rho\sin\delta; \\ \rho = f(\varphi); \\ \delta = \alpha\lambda, \end{cases}$$

где $\rho_{ю}$ – полярный радиус южной параллели, а $\alpha = \text{const}$.

Некоторые варианты равноугольных конических проекций приведены на рис. 3.23–3.24.

Рис. 3.23. Равноугольная коническая проекция с одинаковыми искажениями на крайних параллелях 10° и 80°

Рис. 3.24. Равноугольная коническая проекция

5. *Псевдоконические* проекции. В этих проекциях параллели – это дуги концентрических окружностей, а меридианы – кривые, симметричные относительно среднего прямолинейного меридиана, на котором расположен центр параллелей.

Общие уравнения псевдоконических проекций выглядят так:

$$\begin{cases} x = q - \rho\cos\delta; \\ y = \rho\sin\delta; \\ \rho = f(\varphi); \\ \delta = F(\varphi,\lambda), \end{cases}$$

где q – полярное расстояние южной параллели на плоскости.

Примеры псевдоконических проекций приведены на рис. 3.25–3.26.

Рис. 3.25. Равновеликая псевдоконическая проекция Бонна (стандартная параллель = 50°)

Рис. 3.26. Псевдоконическая проекция Штаба-Вернера (сердцевидная). Искажения отсутствуют на среднем меридиане (55°) и Северном полюсе

6. *Поликонические* проекции. В этих проекциях параллели – это дуги эксцентрических окружностей с центрами, расположенными на среднем прямолинейном меридиане, а меридианы – кривые, симметричные относительно среднего меридиана и экватора.

Общие уравнения поликонических проекций выглядят так:

$$\begin{cases} x = q - \rho\cos\delta; \\ y = \rho\sin\delta; \\ q = f_1(\varphi); \\ \rho = f_2(\varphi); \\ \delta = f_3(\varphi,\lambda). \end{cases}$$

Варианты поликонических проекций приведены на рис. 3.27–3.31.

Рис. 3.27. Поликоническая проекция Лагранжа

Рис. 3.28. Простая поликоническая проекция

Рис. 3.29. Видоизменённая простая поликоническая проекция

Рис. 3.30. Равновеликая поликоническая проекция

Рис. 3.31. Ортогональная поликоническая проекция

7. *Азимутальные* проекции. В этих проекциях параллели (*альмукантараты*) – это концентрические окружности, а меридианы (*вертикалы*) – прямые линии, пересекающиеся в центре окружностей под углами, равными разностям долгот соответствующих меридианов.

Общие уравнения азимутальных проекций выглядят так:

$$\begin{cases} x = \rho \cos a; \\ y = \rho \sin a; \\ \rho = f(z), \end{cases}$$

где z, a – сферические полярные координаты точек φ, λ.

Варианты азимутальных проекций приведены на рис. 3.32–3.35.

Рис. 3.32. Равноугольная азимутальная проекция

Рис. 3.33. Равноугольная азимутальная проекция для изображения полярных областей

Рис. 3.34. Равноугольная азимутальная проекция для изображения территорий с округлыми очертаниями (кроме полярных областей)

Рис. 3.35. Равновеликая азимутальная проекция шара Ламберта. Аналогично выглядит проекция Постеля (в ней также отсутствуют искажения вдоль стандартной параллели)

8. *Псевдоазимутальные* проекции. Такие проекции применяются в случаях, когда нужно передать на карте эффект сферичности Земли. В этих проекциях параллели – это концентрические окружности, а меридианы – кривые или прямые, сходящиеся в центре параллелей. При этом меридианы 0° и 360° совпадают.

Общие уравнения псевдоазимутальных проекций выглядят так:

$$\begin{cases} x = \rho\cos a; \\ y = \rho\sin a; \\ \rho = f_1(z); \\ \delta = a + f_2(z)\sin ka, \end{cases}$$

где z, a – сферические полярные координаты точек φ, λ; k и a – константы.

Некоторые примеры псевдоазимутальных проекций приведены на рис. 3.36–3.37.

Рис. 3.36. Псевдоазимутальная проекция Вихеля

(*а*) (*б*)

Рис. 3.37. Псевдоазимутальная проекция Гинзбурга:
а – простая; *б* – с эффектом выпуклости

9. *Перспективные* проекции. К этим проекциям относят проекции, в которых поверхность Земли отображается прямолинейными визирными лучами из точек пространства, называемыми точками зрения, на развертывающиеся поверхности цилиндра (при этом получается *перспективно-цилиндрическая* проекция), конуса (*перспективно-коническая*) или плоскость (*перспективно-азимутальная*). Наибольшее распространение на практике получили перспективно-азимутальные, а также перспективно-цилиндрические проекции. На рис. 3.38–3.39 даны примеры перспективно-цилиндрических проекций, а на рис. 3.40–3.42 – перспективно-азимутальных.

Рис. 3.38. Перспективно-цилиндрическая проекция Уэтча

Рис. 3.39. Комбинированная перспективно-цилиндрическая проекция с негативным и позитивным изображениями

Рис. 3.40. Гномическая проекция (перспективно-азимутальная с негативным изображением)

Рис. 3.41. Стереографическая проекция (перспективно-азимутальная с негативным изображением)

Рис. 3.42. Ортографическая проекция (перспективно-азимутальная с негативным изображением)

10. *Проекции для карт глобусов*. Глобусы обычно изготавливаются путём оклеивания шаровых заготовок или выдавливания прессом пленки в полусферы.

В первом способе (методе оклейки) вначале производится изготовление меридианных полос с картографическим изображением размером в 30° по долготе и в 140° по широте, не включая полярные шапки за 70-ми параллелями.

Для построения изображения на этих полосах обычно используется видоизмененная простая поликоническая проекция, сохраняющая длины на среднем меридиане, на всех параллелях и имеющая незначительные искажения на крайних меридианах. Формулы данных проекций для этих полос представляют в виде

$$\begin{cases} x = s(\varphi) + \rho(1 - \cos\delta); \\ y = \rho \sin\delta; \\ \rho = kR \operatorname{ctg}\varphi; \\ \delta = \dfrac{\lambda}{k} \sin\varphi, \end{cases}$$

где R – радиус референц-сферы; $s(\varphi)$ – длина дуги меридиана от экватора до данной параллели φ, а k – константа, обычно принимаемая равной 2, но может иметь и другие значения.

Для построения изображений полярных шапок обычно применяется прямая равнопромежуточная вдоль меридианов азимутальная проекция (рис. 3.43).

Рис. 3.43. Развертка глобуса

Во втором способе (методе выдавливания) изображение наносится на специальную тонкую пленку, отличающуюся равномерностью вытяжки в продольном и поперечном направлении при выдавливании плоскости в полусферу. Выдавливание предварительно нагретой пленки производится с помощью специального пресса. Картографическое изображение, наносимое на пленку, строится в видоизменённой равнопромежуточной вдоль меридианов азимутальной проекции с учётом необходимых величин её растяжения при выдавливании. Формулы этих проекций имеют вид

$$\begin{cases} x = \rho\cos\lambda; \\ y = -\rho\sin\lambda; \\ \rho = k_1 R(90° - \varphi), \end{cases}$$

где R – радиус референц-сферы, а k_1 – константа, определяемая с учётом растяжения пленки.

11. *Переменно-масштабные проекции*. Такие проекции могут быть использованы для картографирования неравномерно распределённых в пространстве объектов и явлений, когда существует необходимость сжатия или растяжения отдельных участков земной поверхности (рис. 3.44).

Рис. 3.44. Переменно-масштабная проекция

12. *Проекции анаморфированных изображений*. В анаморфированных изображениях (анаморфизмах) величина масштаба в различных точках карты плавно меняется пропорционально значениям некоторого параметра (плотности некоторого явления), распределённого по всей карте. Целью анаморфического преобразования является выравнивание плотности по всей карте.

Например, если в качестве выравнивающего параметра выбрать плотность населения, то наиболее плотно населённые районы увеличатся в размерах, а менее населённые – уменьшатся. Такие изображения называются *эквидемическими*. На рис. 3.45 приведён пример анаморфированного изображения стран мира по населению.

Рис. 3.45. Эквидемическая карта мира
(анаморфизм по населению отдельных регионов стран)

Среди всего множества проекций в России наиболее часто используется «двойная» равноугольная поперечно-цилиндрическая проекция Гаусса–Крюгера, сохраняющая длины на среднем меридиане. Эта проекция лучше всего подходит для картографирования территории Российской Федерации, имеющий большой территориальный охват.

Для топографических карт многих стран мира в настоящее время применяется проекция UTM – универсальная поперечно-цилиндрическая проекция Меркатора. Эта проекция отличается от проекции Гаусса–Крюгера только тем, что на среднем меридиане частный масштаб длин равен не единице, а 0,9996.

3.3. Картографические и координатные сетки

Для удобства работы на географических картах даётся с некоторой частотой изображение сетки параллелей и меридианов, называемой *картографической сеткой*. С помощью такой сетки легко оперировать географическими координатами на местности, но решение большинства практических задач по таких картам затруднено (за исключением карт, представленных в простых цилиндрических проекциях). Именно поэтому на современных топографических картах дополнительно к картографической сетке даётся ещё *координатная сетка*, являющаяся системой взаимно перпендикулярных прямых, параллельных или перпендикулярных линии начального меридиана карты.

В табл. 3.1 показано, с какой частотой даётся координатная сетка на картах, применяемых в Российской Федерации.

Применение координатной сетки существенно упрощает выполнение измерений расстояний, углов, направлений, площадей, а также выполнение быстрой визуальной оценки.

Таблица 3.1. Частота координатной сетки на картах России

Масштаб	Частота координатной сетки	
	На карте, см	На местности, м
1:500	10	50
1:1 000	10	100
1:2 000	10	200
1:5 000	10	500
1:10 000	10	1 000
1:25 000	4	1 000
1:50 000	2	1 000
1:100 000	2	2 000
1:200 000	2	4 000

3.4. Разграфка и номенклатура карт

Система деления карт на отдельные листы называется *разграфкой*.

На практике используются две основные системы разграфки: *по линиям картографической сетки* и *по линиям координатной сетки*. Кроме того, в ряде случаев применяется прямоугольная разграфка – по линиям, параллельным и перпендикулярным среднему меридиану.

Разграфка по линиям картографической сетки обычно используется в мелкомасштабных картах. Так, в Российской Федерации топографические карты, составляемые в проекции Гаусса–Крюгера в масштабах от 1:10 000 до 1:1 000 000, строятся в шестиградусных зонах. Координатными осями являются прямолинейный средний меридиан зоны (ось абсцисс) и прямолинейный экватор (ось ординат). Нумерация координатных зон ведётся с запада на восток от Гринвича. Долгота осевых меридианов зон определяется по формуле $L_0 = 6N - 3$, где N – номер зоны.

Система координат в каждой зоне одинакова. Чтобы исключить отрицательные значения ординат, ко всем к ним добавляется константа 500 000 м, и уже полученное значение отображается на картах. В случаях, когда необходимо показывать координаты, определённые в разных зонах, дополнительно к ординатам добавляется величина $N \times 1\,000\,000$.

Для топографических планов масштабов 1:5 000 и крупнее используются трёхградусные зоны, осевые меридианы которых определяются как $L_0 = 3N$, где N – номер зоны.

Листы топографических карт севернее параллели 60° составляют сдвоенными, а выше параллели 76° – счетверенными по долготе.

Система обозначений отдельных листов карты после разграфки называется *номенклатурой* карт. Наиболее часто используется табличная система обозначения карт, когда каждый лист карты получает своё буквенно-цифровое обозначение.

В основе разграфки и номенклатуры российских карт лежит карта масштаба 1:1 000 000, являющаяся кривосторонней трапецией и имеющая

размеры 6° по долготе и 4° по широте. Все миллионные карты обозначаются в виде «латинская буква + арабская цифра». Латинскими буквами обозначают трапеции по широте последовательно от A (широты 0–4°) до V (широты 84–88°). Буквой Z обозначается карта в районах полюса (широты 88–90°). Арабская цифра обозначает номер одной из 60 колонн шириной 6°, нумерация которых идет от 180° (рис. 3.46).

Так, трапеции N-37 соответствует 52–56° широты и 36–42° долготы. На этом листе карты располагается столица Российской Федерации – Москва.

Рис. 3.46. Номенклатура и разграфка листов карт масштаба 1:1 000 000

Каждая карта масштаба 1:1 000 000 содержит $2 \times 2 = 4$ трапеции масштаба 1:500 000 (обозначаемые в виде N-37-Г – в конце добавляется русская прописная буква А, Б, В или Г; рис. 3.47), $3 \times 3 = 9$ трапеций масштаба 1:300 000 (обозначаемых в виде IX-N-37 – в начале добавляется римская цифра от I до IX; рис. 3.48), $6 \times 6 = 36$ трапеций масштаба 1:200 000 (обозначаемых в виде N-37-XXXVI – в конце добавляется римским числом номер от 1 до 36; рис. 3.49) и $12 \times 12 = 144$ трапеции масштаба 1:100 000 (обозначаемые в виде N-37-144 – в конце добавляется арабскими цифрами номер трапеции; рис. 3.50).

Рис. 3.47. Номенклатура и разграфка листов карт масштаба 1:500 000

Рис. 3.48. Номенклатура и разграфка листов карт масштаба 1:300 000

Рис. 3.49. Номенклатура и разграфка листов карт масштаба 1:200 000

Рис. 3.50. Номенклатура и разграфка листов карт масштаба 1:100 000

Номенклатура листов карт более крупных масштабов строится аналогичным образом, но на основе листа карты масштаба 1:100 000.

Каждая карта масштаба 1:100 000 содержит $2 \times 2 = 4$ трапеции масштаба 1:50 000 (обозначаемые в виде N-37-144-Г – в конце добавляется русская прописная буква А, Б, В или Г; рис. 3.51).

В свою очередь, каждая карта масштаба 1:50 000 может быть разбита на $2 \times 2 = 4$ трапеции масштаба 1:25 000 (обозначаемые в виде N-37-144-Г-г – в конце добавляется русская строчная буква а, б, в или г; рис. 3.52) или $4 \times 4 = 16$ трапеций масштаба 1:10 000 (обозначаемых в виде N-37-144-Г-г-4 – в конце добавляется арабскими цифрами номер трапеции; рис. 3.53).

Рис. 3.51. Номенклатура и разграфка листов карт масштаба 1:50 000

Рис. 3.52. Номенклатура и разграфка листов карт масштаба 1:25 000

Рис. 3.53. Номенклатура и разграфка листов карт масштаба 1:10 000

При разграфке карт масштабов 1:5 000 и 1:2 000, создаваемых на территории более 20 км^2, также берётся некоторый базовый лист карты масштаба 1:100 000, который делится на $16 \times 16 = 256$ частей – карт масштаба 1:5 000 (обозначаемых в виде N-37-144-Г-(256) – в конце добавляется в скобках арабскими цифрами номер листа; рис. 3.54), а каждый лист масштаба 1:5 000 делится на $3 \times 3 = 9$ листов карты масштаба 1:2 000 (обозначаемых в виде N-37-144-Г-(256) – в конце добавляется обозначающая листы строчная буква а, б, в, г, д, е, ж, з или и; рис. 3.55).

Рис. 3.54. Номенклатура и разграфка листов карт масштаба 1:5 000

Рис. 3.55. Номенклатура и разграфка листов карт масштаба 1:2 000

Для топографических планов, создаваемых на участки площадью менее 20 км^2, применяется разграфка по прямоугольной координатной сетке с размерами рамок 40×40 см^2 для планов масштаба 1:5 000, а для масштабов 1:2 000, 1:1 000 и 1:500 – 50×50 см^2. При этом в основу разграфки берётся лист карты масштаба 1:5 000, обозначаемый арабскими цифрами. Порядок нумерации этих листов устанавливается произвольно решением главного архитектора населённого пункта (рис. 3.56). Такая номенклатура листов карт часто называется *внутригородской номенклатурой*.

Рис. 3.56. Внутригородская номенклатура и разграфка листов топографических планов масштаба 1:5 000 на примере Томска

В этой разграфке лист масштаба 1:5 000 делится на $2 \times 2 = 4$ листа масштаба 1:2 000 (обозначаемые заглавными русскими буквами А, Б, В и Г), которые, в свою очередь, делятся ещё на $2 \times 2 = 4$ листа масштаба 1:1 000 (обозначаемые римскими цифрами; рис. 3.57) или на $4 \times 4 = 16$ листов масштаба 1:500 (обозначаемых арабскими цифрами; рис. 3.58).

Рис. 3.57. Внутригородская номенклатура и разграфка листов карт масштаба 1:2 000

Рис. 3.58. Внутригородская номенклатура и разграфка листов карт масштаба 1:500

3.5. Источники пространственных данных

В качестве *источников пространственных данных* выступают аналоговые или цифровые данные, которые служат основой для создания моделей пространственных данных. Существует несколько основных типов источников пространственных данных:

1. *Картографические источники*, в т.ч. карты, планы, атласы, схемы и другие картографические изображения, нанесённые на бумагу, картон, пленку, пластик или иные носители. Такие данные должны быть вначале переведены в электронный вид с помощью *сканирования* или цифрового фотографирования. Полученные растровые изображения могут быть непосредственно использованы в качестве слоя карты в ГИС, либо их можно *векторизовать* – перевести в векторный вид. Кроме современного метода «сканирование–векторизация», ранее широко (сейчас уже достаточно редко) использовался метод *цифрования* (*дигитализации*), когда векторные данные непосредственно «скалывались» специальным пером с твердой копии карты, уложенной поверх *дигитайзера* (*цифрового планшета*).

2. *Данные дистанционного зондирования Земли* (*ДДЗ Земли, данные ДЗЗ*), включая аэро- и космоснимки в видимом, инфракрасном, ультрафиолетовом, радиодиапазоне или во многих диапазонах волн сразу; результаты лазерного сканирования поверхности Земли, а также другие данные, полученные неконтактным способом.

3. *Данные полевых изысканий*, полученные с использованием различных геодезических приборов (теодолиты, нивелиры, электронные тахеометры, лазерные сканеры) и приборов глобальной спутниковой навигации (GPS, ГЛОНАСС, Galileo).

4. *Данные натурных наблюдений* на гидрометеорологических и иных постах и станциях. Как правило, эти данные характеризуют распределение полей некоторых явлений на Земле, таких как температура, осадки, скорость и направление ветра и др. Эти данные обычно передаются в ГИС в виде точечных объектов (с координатами места наблюдения) с атрибутами, содержащими измеренные значения.

5. *Статистические данные* ведомственной и государственной статистики. Такие данные обычно помещаются в ГИС в виде атрибутов пространственных объектов.

Как правило, источники пространственных данных не могут быть непосредственно переданы в геоинформационную систему для использования.

3.6. Векторизация

Процедура *векторизации* предназначена для перевода существующих картографических изображений из растрового в векторный вид. Предполагается, что с помощью сканера или цифрового фотоаппарата получено растровое изображение, которое предстоит векторизовать с помощью компьютера.

В настоящее время массовое применение векторизации в ГИС – это во многом вынужденное и временное явление. Со временем роль векторизации в подготовке данных для ГИС будет падать, так как уже сейчас почти все новые карты изготавливаются с помощью компьютеров сразу в векторной форме, а потому в будущем для всех бумажных карт должны быть исходные векторные данные, на основе которых они были созданы.

Процедура векторизации разбивается на несколько основных этапов:

1. *Геометрическая коррекция снимка.* Необходимость этого этапа может возникать, например, из-за небольших погрешностей в работе механики сканера, что приводит к неравномерному движению сканирующей головки по противоположным краям сканируемого листа. В результате прямоугольник на карте может превратиться в трапецию в памяти компьютера. Если ввод данных в компьютер выполнялся с помощью цифрового фотоаппарата, то на этом этапе исправляются оптические искажения, вызванные оптикой объектива фотоаппарата.

2. *Привязка к требуемой картографической проекции.* На данном этапе определяется использованная в исходном изображении картографическая проекция и на растре отмечается некоторое число характерных точек, координаты которых можно точно установить из каких-то соображений. Такими характерными точками обычно выступают кресты координатной или картографической сетки, и только при их недостаточном количестве – другие точечные объекты.

3. *Склейка различных растров в единое полотно* для сплошного покрытия территории. Для выполнения склейки на смежных растровых изображениях находятся общие объекты (например, дорога, проходящая через несколько листов карты), координаты которых должны быть совмещены на карте. После этого программа векторизации подбирает оптимальное преобразование (кусочно-линейное или сплайновое), позволяющее достичь заданных требований с минимальными искажениями растра.

По окончании первых трёх этапов растр обычно преобразуется в новый, в котором исправлены все геометрические и проекционные искажения, а также данный растр увязан с другими, смежными.

4. *Подготовка к векторизации*. На данном этапе обычно последовательно выполняется корректировка яркости и контраста (ручным или гистограммным способом), удаление различных шумов (удаление очень мелких пятен, устранение маленьких разрывов линий и др.).

Кроме того, в связи с тем, что для печати карт обычно применяется небольшое количество различных цветов, каждый из которых используется для обозначения различного рода пространственных сущностей, на данном этапе растр может быть разделён по цветам на несколько отдельных растров. Например, на картах железные дороги могут быть отмечены чёрным цветом, красным цветом – автомобильные дороги государственного значения, а синим – автомобильные дороги местного значения. Поэтому для векторизации транспортных сетей имеет смысл разделить по цветам исходный растр на 3 разных.

5. *Собственно векторизация*. Существует 3 способа векторизации: *ручной*, *полуавтоматический* и *автоматический*. При ручном способе пользователь самостоятельно отмечает координаты фигур пространственных объектов поверх растра с помощью компьютерной мышки. При полуавтоматическом способе пользователь отмечает объект, который предстоит векторизовать, а система предлагает векторный вариант (линию или полигон), который может быть принят пользователем, отвергнут или модифицирован. В автоматическом режиме программа анализирует сразу весь растр и выделяет все имеющиеся объекты. Главным недостатком автоматического режима является невысокая точность распознавания. Это связано как непосредственно с математическими и алгоритмическими проблемами решения задачи распознавания, так и с проблемой каскадных ошибок, когда один неверно распознанный объект может повлиять на распознавание следующего объекта. Поэтому после автоматического распознавания оператор вынужден визуально полностью проверять полученные результаты и вносить коррективы. В итоге общее время такой работы может превзойти время полуавтоматической векторизации. Именно поэтому на практике наибольшее распространение получили программы полуавтоматической векторизации, позволяющие гибко управлять процессом перевода растра в векторный вид.

3.7. Дистанционное зондирование

К *данным дистанционного зондирования Земли* относят географически координированные сведения о земной поверхности, полученные неконтактным способом, в т.ч. аэро- и космоснимки в видимом, инфракрасном, ультрафиолетовом, радиодиапазоне или во многих диапазонах волн сразу; результаты лазерного сканирования поверхности Земли.

В литературе данные дистанционного зондирования сокращают как ДДЗ, а сам процесс зондирования – как ДЗЗ. Из-за внешнего сходства этих аббревиатур их часто путают, а некоторые даже считают синонимами.

Раньше ДДЗ получали с помощью фотокамер, которыми делали снимки с самолетов или спутников. Фотоплёнка из камер затем доставлялась на Землю, где проявлялась и переводилась в цифровой вид.

В настоящее время наибольший объём ДДЗ поступает от оптических или радиосенсоров, установленных на искусственных спутниках Земли или на самолетах. Кроме того, в ряде случаев используются вертолеты, мотодельтапланы, дирижабли и различные беспилотные летательные аппараты (радиоуправляемые вертолеты и самолеты).

Сенсоры, устанавливаемые на спутниках и пригодные для картографических работ, имеют относительно невысокую разрешающую способность. Самые лучшие из них имеют точность 2 м, 1 м и даже 0,4 м в оптическом диапазоне. Аппараты, работающие во многих диапазонах одновременно, обычно дают меньшее разрешение (5, 10, 50, 100 м), в особенности в радиодиапазонах. Кроме того, разрешение по вертикали и горизонтали иногда бывает разным.

На рис. 3.59 показан пример космического снимка большой территории с низким разрешением. Снимок выполнялся с помощью российского спутника «Ресурс-01» № 3.

На рис. 3.60 приведён космический снимок высокого разрешения, полученный с целью создания карты г. Томска масштаба 1:5000.

Стоит также отметить, что на спутниках работают сенсоры и гораздо более высокого разрешения, чем 0,4 м, однако они имеют узкую полосу фотографирования, не обеспечивающую взаимного перекрытия снимков, и ряд других недостатков. В настоящее время такие сенсоры используются в основном только в разведывательных целях.

Высокая разрешающая способность космических фотоснимков в ряде случаев имеет и свои недостатки. В связи с общим ограничением на количество пикселей в снимках высокое разрешение означает также небольшую площадь картографируемой области, что не всегда хорошо. Так, в различных задачах мониторинга (например, своевременное обнаружение лесных пожаров) требуется регулярно получать свежие снимки одного и того же участка местности (для обнаружения пожаров желательно не реже одного раза в сутки).

ДДЗ могут поступать пользователям напрямую со спутника либо из архивов эксплуатирующей спутник компании.

Рис. 3.59. Пример космического снимка Казахстана, выполненного с помощью российского спутника Ресурс-01 № 3

Рис. 3.60. Пример космического снимка Томска

В первом случае у пользователя устанавливается станция спутникового приёма, которая принимает всё изображение, снимаемое со спутника. Такой подход часто используется в спутниках со средним и низким разрешением (10–100 м), которые имеют регулярность пролёта над одним и тем же участком Земли не реже чем раз в неделю. Такие станции приёма могут использоваться для создания регулярно действующих пунктов мониторинга различных природных явлений.

Полученные со спутника данные пользователи на месте обрабатывают специальными программами и переводят в вид, понятный геоинформационным системам и специальным системам обработки ДДЗ.

Во втором случае пользователь заказывает у эксплуатирующей организации снимки на заданный участок местности в заданном разрешении. Если такие снимки уже имеются, то они извлекаются из архивов и переда-

ются покупателям. Иначе приходится делать съёмку со спутника, что обычно стоит дороже, так как для этого необходимо выполнять переориентацию спутника.

При передаче данных напрямую от эксплуатирующей спутник компании снимки поступают уже обработанными и преобразованными в необходимую систему координат. Такие снимки обычно могут быть сразу использованы в ГИС и системах обработки ДДЗ.

Обработка ДДЗ на некоторых этапах напоминает векторизацию, однако существенно отличается от неё. Рассмотрим эти этапы.

1. *Геометрическая и оптическая коррекция снимка*. На данном этапе исправляются геометрические и оптические искажения, вызванные объективом сенсора, установленного на борту летательного аппарата. Математические параметры объектива обычно точно известны, и данный этап не вызывает затруднений.

2. *Привязка к требуемой картографической проекции.* На данном этапе на основе точного положения в пространстве летательного аппарата, ориентации объектива сенсора и используемой системы координат выполняется преобразование изображения в некоторую проекцию для дальнейшей обработки.

3. *Стереофотограмметрия* предназначена для получения цифровой модели рельефа на основе *стереопар* – пар перекрывающихся снимков. Для этого исходные снимки должны быть взаимно скоординированы и привязаны не только к некоторой проекции, но и к высотной системе координат. После этого автоматически или вручную строится ЦМР. При работе вручную пользователю предоставляется возможность в стереорежиме (с помощью специальных очков с жидкокристалическими шторками и обычного монитора с электронно-лучевой трубкой либо с помощью с помощью очков с двумя маленькими встроенными мониторами) просмотреть изображение, навести резкость на требуемый видимый объект, а программа сама вычислит его положение в пространстве.

4. *Ортокоррекция*. Данная операция выполняет «поправку за рельеф», исправляя геометрические искажения, вызванные фотографированием в перспективе с неравномерностью реальных высот на местности (лучи света как бы выходят из точек местности и сходятся в объективе). Для выполнения такого преобразования необходимо знание карты высот на местности. После выполнения ортокоррекции получается неискажённый снимок, как будто он получен множеством параллельных лучей в ортографической проекции.

5. *Склейка различных растров в единое полотно* для сплошного покрытия территории. Для выполнения склейки на смежных растровых изображениях находятся общие объекты, координаты которых должны быть совмещены на карте. После этого программа подбирает оптимальное преобразование, позволяющее достичь заданных требований с минимальными искажениями растра.

По окончании работы первых пяти этапов растр обычно преобразуется в новый, в котором исправлены все геометрические и проекционные искажения, сделана ортокоррекция («поправка за рельеф»), а также выполнена увязка данного растра со смежными.

6. *Дешифрирование*. Перечень операций, выполняемых на данном этапе, зависит от типа исходных данных и дешифрируемых объектов. Поэтому типичные растровые ГИС содержат богатый набор самых разнообразных инструментов.

Вначале из растров производится выделение каналов, необходимых для выполнения дешифрирования. Затем растр подвергается яркостной коррекции (изменяется яркость и контраст изображения гистограммным или ручным способом).

Фильтрация растров предназначена для улучшения качества изображения, удаления шумов и выделения интересующих объектов.

Сглаживающие фильтры устанавливают яркость пикселя на основе усреднения с некоторыми положительными коэффициентами яркости смежных пикселей. При этом, как правило, снижается визуально наблюдаемый шум. Наиболее часто применяются *Average, Gauss, Median, Brown, Lev, Graham, Nagao* и другие фильтры.

Обратными к сглаживающим являются *фильтры, выделяющие границы*. В них усреднение яркостей смежных пикселей производится с различными по знаку (положительными и отрицательными) коэффициентами. Наиболее часто используются фильтры *Sharp, Sobel, Prewitt* и др.

Пороговая фильтрация используется для преобразования исходного растра в бинарный вид по условию превышения (или попадания в заданный диапазон) яркостей заданного значения. Таким образом можно достаточно легко выделить равномерно закрашенные (однородные) области, например пашни, луга, реки, дороги и др.

Несмотря на наличие многочисленных автоматизированных методик, по-прежнему актуальны «ручные» методы дешифрирования. Для этого растровые ГИС предоставляют возможности по *тематической обработке растра*, включающие в себя логические и арифметические операции, классификацию и различные способы отображения, помогающие визуально оценить растр и выделить необходимые объекты.

3.8. Геодезические изыскания

Самые точные сведения о пространственных объектах на Земле можно получить только в результате полевых геодезических изысканий. Раздел науки, занимающийся сбором и обработкой таких изысканий, называется *инженерной геодезией*.

3.8.1. Геодезические приборы

В настоящее время в геодезии наиболее часто используются следующие основные технические средства сбора информации:

1. *Дальномеры (измерители расстояний)*. Сюда относятся *рулетки* (стальные, фиберглассовые и тканевые) и *лазерные дальномеры* (рис. 3.61). Лазерный дальномер излучает лазерный луч, который отражается от измеряемого объекта, а дальномер измеряет с высокой точностью время хода луча. После этого на основе измеренного времени дальномер вычисляет расстояние до объекта.

(*а*) (*б*) (*в*) (*г*)

Рис. 3.61. Измерители расстояний:
а – стальная 15-метровая рулетка Stabilia 49;
б – фиберглассовая 50-метровая рулетка Stabilia 42;
в – лазерная рулетка Leica DISTO Classic 5 (лазер видимый);
г – лазерный дальномер Yardage Pro 500 (лазер невидимый)

2. *Оптические нивелиры (измерители превышений*). Нивелиры предназначены для измерения превышения одного участка местности над другим. Прибор состоит из вращающегося вокруг вертикальной оси горизонтального круга, на котором установлена горизонтальная зрительная труба (рис. 3.62).

Перед началом работы с нивелиром первый изыскатель должен установить прибор строго горизонтально с помощью встроенного в прибор уровня, вращая регулировочные винты. После этого можно начинать выполнять съёмку.

(*а*) (*б*)

Рис. 3.62. Нивелиры:
а – оптический нивелир Nikon AX-2S;
б – цифровой оптический нивелир Trimble DiNi 12

К нивелиру прилагается специальная измерительная рейка, которая устанавливается вторым изыскателем в измеряемом месте. Далее первый изыскатель должен навести визир оптической трубы прибора на измерительную рейку, а затем записать видимое в трубе значение на рейке.

3. *Лазерные уровни (лазерные нивелиры)*. Лазерный уровень, как и нивелир, предназначен для измерения превышений. Лазерный уровень состоит из горизонтального быстровращающегося круга, на котором установлен лазерный излучатель, обычно красного цвета (рис. 3.63).

Перед началом работы лазерный уровень устанавливается оператором горизонтально с помощью регулировочных винтов и встроенного уровня. Некоторые модели лазерных уровней устанавливают горизонталь автоматически. После включения прибора в пространстве вокруг него образуется красная плоскость, видимая человеческим глазом.

Для измерения уровня Земли в любой требуемой точке вокруг прибора нужно установить в этой точке обычную измерительную линейку. После этого останется записать значение, указываемое лазерным лучом в месте его пересечения с линейкой.

(*а*) (*б*)

Рис. 3.63. Лазерные уровни:
а – лазерный построитель плоскости Topcon RL-VH3B;
б – лазерный уклонофиксатор («трубный» лазер) Topcon TP-L4A

4. *Теодолиты (измерители углов*). Теодолиты позволяют измерять вертикальные и горизонтальные углы. Прибор состоит из вращающегося вокруг вертикальной оси горизонтального круга (*лимба*) с *алидадой*, на подставки которой опирается горизонтальная ось вращения зрительной трубы и вертикального круга (рис. 3.64).

Перед началом работы с теодолитом оператор должен установить его строго горизонтально с помощью встроенного в прибор уровня, вращая регулировочные винты. После этого можно выполнять съёмку. Для этого оператор должен навести визир оптической трубы прибора на отражатель или измеряемый объект, а затем записать вертикальный и горизонтальный углы, показываемые прибором.

(*а*) (*б*)

Рис. 3.64. Теодолиты:
а – оптический теодолит УОМЗ 3Т2КП;
б – электронный цифровой теодолит Geo-Fennel FET 120

5. *Тахеометры*. Тахеометром называют теодолит, совмещённый с дальномером. Современные *электронные тахеометры* оснащаются микрокомпьютерами, которые показывают на дисплее вычисленные углы и расстояния, а также могут сразу же преобразовывать их в координаты на местности.

Тахеометры бывают *отражательные* и *безотражательные*. Отражательные тахеометры требуют для своей работы *отражателей*, устанавливаемых на вешках (рис. 3.65). Безотражательные тахеометры используют в своей работе мощный лазерный луч, который может отражаться от любых объектов на местности.

(*а*) (*б*) (*в*)

Рис. 3.65. Тахеометры:
а – электронный тахеометр South NTS-352;
б – электронный тахеометр Sokkia SET 510 R;
в – автоматизированный тахеометр Trimble 5600 DR

При работе с обычным тахеометром оператор должен навести визир оптической трубы прибора на отражатель, а затем нажать кнопку выполнения съёмки. Для работы с *автоматизированными тахеометрами* не требуется оператора, стоящего у тахеометра и наводящего прибор на отражатель. Кнопка выполнения съёмки находится на вешке с отражателем. При нажатии этой кнопки радиосигнал с вешки передаётся на тахеометр, тот самостоятельно выполняет наведение по радиосигналу и выполняет съёмку точки (рис. 3.65,*в*).

6. *Лазерный сканер*. Лазерные сканеры по своим функциям похожи на электронные безотражательные тахеометры (они измеряют углы и расстояния до любых объектов), но они выполняют измерения не по одной точке, указываемой оператором, а сразу пакетами. Сканеры перемещают лазерный луч по горизонтали и вертикали, снимая подряд все объекты, попадающие на пути (рис. 3.66). В результате образуется плотная сеть точек съёмки.

(*а*) (*б*)

Рис. 3.66. Лазерные сканеры:
а – MENSI GS200; *б* – Leica CYRAX 2500

7. *Приборы спутниковой навигации*. Системы спутниковой навигации рассматриваются в п. 3.9. В настоящее время в геодезии применяются геодезические приёмники систем GPS и ГЛОНАСС. При проведении геодезических изысканий они используются обычно только для съёмки отдельных ключевых точек на местности, например тех, где устанавливаются тахеометры. Это связано с низкой скоростью работы спутниковых приёмников и их невысокой точностью.

В следующих разделах мы рассмотрим, как все эти приборы используются для выполнения собственно съёмки положения пространственных объектов на местности.

3.8.2. Тахеометрическая съёмка

Процесс геодезической съёмки обычно состоит из двух основных этапов: *планово-высотного съёмочного обоснования* и собственно *съёмки*

интересующих точек на местности. В результате выполнения съёмочного обоснования с высокой точностью определяется положение *станций* (обычно это места установки таких геодезических приборов, как нивелиры, теодолиты, тахеометры, лазерные сканеры) в пространстве. После этого выполняется уже сама съёмка с этих станций.

В настоящее время для планово-высотного съёмочного обоснования большинства инженерно-геодезических работ используется метод *теодолитного* (*тахеометрического*) *хода*.

Теодолитный ход – это последовательность пунктов (*станций*) на местности, увязанных между собой с помощью геодезических измерений. В каждом пункте теодолитного хода устанавливается теодолит или тахеометр, а затем измеряются углы и расстояния до предыдущего и следующего пункта хода. На рис. 3.67 приведены 2 примера теодолитных ходов (разомкнутый и замкнутый). Цифрами 1–9 на рисунке показаны места установки теодолита, буквами А и В – пункты с известными координатами, α_i – измеренные теодолитом (тахеометром) углы между направлениями на предыдущий и следующий пункты, d_{i-j} – измеренные каким-либо дальномером (например, встроенным в тахеометр) расстояния между пунктами *i* и *j*. Участки между последовательными пунктами хода называются *сторонами* хода.

Рис. 3.67. Теодолитные ходы: *а* – разомкнутый; *б* – замкнутый

Для того чтобы установить реальные координаты пунктов теодолитного хода, необходимо выполнить привязку этого хода к некоторой системе координат. Привязка выполняется к некоторым пунктам на местности, которые имеют известные координаты. Это могут быть пункты государственной геодезической сети (пункты А и В на рис. 3.67) либо любые иные

пункты, координаты которых измерены с помощью приборов спутникового позиционирования. В случае если в пункте геодезической сети есть возможность точно установить направление на север и, соответственно, угол α_A (рис. 3.67), то достаточно выполнить привязку теодолитного хода только к одному известному пункту. Иначе привязка должна выполняться, по крайней мере, к двум известным пунктам, обычно в начале и в конце теодолитного хода. Если ход замкнутый, то привязку надо делать в начале и в середине хода.

В приведённых на рис. 3.67 примерах теодолитных ходов никак не учтена высота пунктов хода.

В *теодолитно-нивелирном ходе* дополнительно с помощью нивелира определяется превышение каждого очередного пункта по отношению к предыдущему и к следующему.

В *теодолитно-тахеометрическом* ходе дополнительно с помощью тахеометра (или теодолита с дальномером) определяется горизонтальный угол и расстояние от каждого очередного пункта до предыдущего и следующего.

Всем выполняемым измерениям с помощью геодезических приборов всегда присуща некоторая погрешность, связанная с точностью приборов, точностью их установки на местности, погодными условиями и индивидуальными особенностями человека, выполняющего измерения. Именно поэтому при выполнении съёмки необходимо закладывать некоторую избыточность измерений, например, делая привязку теодолитного хода к 3 и более геодезическим пунктам, выполняя дополнительные измерения углов. Ещё один распространённый приём повышения точности вычислений заключается в увеличении количества измерений за счёт выполнения *обратного теодолитного хода*, когда повторно выполняются все измерения углов и расстояний, но в обратном порядке, от последнего пункта к первому.

В результате выполнения избыточных измерений теоретическая сумма всех измеренных углов должны быть кратна 180°, если взять углы поворотов налево со знаком плюс, а направо – со знаком минус. Однако в действительности сумма измеренных углов будет несколько иная. Величина отличия теоретической суммы от суммы измеренных углов называется *угловой невязкой* хода.

Суть *углового уравнивания* теодолитного хода заключается в распределении общей величины угловой невязки хода на все выполненные измерения. В самом простом способе уравнивания величина угловой невязки делится на общее число измеренных углов и получается поправка, на которую изменяется каждый измеренный угол.

После выполнения углового уравнивания необходимо уравнять плановые координаты точек. Для этого надо вначале вычислить координаты всех известных геодезических пунктов на основе положения остальных пунктов. Эти координаты будут отличаться от известных значений геодезических пунктов на величину *плановой невязки*.

Полученная плановая невязка с помощью *планового уравнивания* распределяется на каждую сторону хода пропорционально длинам сторон хода. В результате корректируются углы α_i и длины сторон d_{i-j}.

После выполнения теодолитного хода и его уравнивания мы получаем с высокой точностью координаты всех станций хода и углы между его сторонами.

Теперь рассмотрим, как теодолитный ход используется в реальной геодезической работе. Теодолитный ход прокладывается на местности не ради самого себя, а для того, чтобы закрепить на местности положения станций и выполнить съёмку *пикетов* – разных характерных точек на поверхности Земли. Съёмка пикетов выполняется теодолитами (тахеометрами) так же, как и съёмка других станций хода, то есть измеряя расстояния и углы на пикеты со станций (рис. 3.68). Позже, уже выполняя камеральную обработку результатов геодезических изысканий, эти расстояния и углы пересчитываются в реальные координаты пикетов на местности. Причем этот пересчёт должен выполняться после уравнивания теодолитного хода, когда положения станций уже установлены с высокой точностью.

Рис. 3.68. Тахеометрическая съёмка пикетов $P_{i,j}$

3.8.3. Линейные изыскания

Ещё одним распространённым видом инженерно-геодезических изысканий, помимо тахеометрической съёмки, являются изыскания вдоль некоторого линейно-протяжённого объекта. Такие изыскания называют *линейными*.

Линейные изыскания состоят из трёх этапов:

1. *Прокладка трассы и закрепление её на местности*.

2. *Выполнение пикетажных изысканий*.

3. *Нивелирование по поперечникам*. Этот этап часто выполняется одновременно с предыдущим.

Итак, для проведения линейных изысканий вначале на местности прокладывается *трасса* – некоторая линия, идущая вдоль линейного объекта (рис. 3.69). Затем от начала трассы на местности через 100 м откладывают *пикеты* (отметим, что термин «пикет» здесь используется в ином смысле, чем в предыдущем пункте; здесь «пикет» – не съёмочная точка, а некоторая условная отметка на оси трассы). Пикеты иногда откладываются через 10, 25, 50, 500, 1000 м или иное расстояние, а иногда даже и через нерегулярные интервалы.

Каждая точка на трассе откладывается от начала какого-то очередного пикета и обозначается в формате ПК<Номер пикета>+<Расстояние от начала пикета> (например, ПК0+55).

Далее выполняется съёмка каждой интересующей точки на местности. Для этого через каждую точку проводится *поперечник* к трассе, то есть строится перпендикуляр к линии трассы, проходящий через данную точку, и измеряется расстояние от этой точки по перпендикуляру до трассы. Для точек, находящихся справа от трассы, результат записывается в виде П+<Расстояние до трассы> (например, П+20 или просто +20), для точек слева от трассы – в виде Л+<Расстояние до трассы > (например, Л+20 или просто –20).

Рис. 3.69. Линейные изыскания (пикетажные и нивелировочные измерения)

3.8.4. Геодезические построения

В последнее время при выполнении геодезических изысканий всё чаще используют тахеометры, позволяющие выполнять любые виды съёмки на местности. Тем не менее для ряда задач по-прежнему используются более простые приборы, например нивелиры, теодолиты, рулетки. Это обосновано как технически и технологически, так и экономически.

Во-первых, использование нивелиров и теодолитов зачастую проще и быстрее, чем полноценное применение тахеометров, так как не требуется точной и достаточно продолжительной установки и геодезической привязки тахеометрической станции. Это возникает в тех случаях, когда не тре-

буется точного трёхмерного измерения координат съёмочных точек. Например, при съёмке ровной поверхности автомобильной дороги без колейности нет большого смысла в точной плановой съёмке точек, гораздо более важными являются высотные отметки. С другой стороны, при съёмке объектов инженерного обустройства в кадастровых задачах не важны высотные отметки дорожных знаков, ограждений, столбов линий электропередачи; важным является плановое положение этих объектов.

Во-вторых, современные электронные тахеометры стоят существенно дороже обычных нивелиров, теодолитов и дальномеров, вместе взятых. Так, цена электронного тахеометра колеблется в диапазоне от 4 500 до 10 000 долларов (например, китайский South NTS-327 стоит 4 500 долларов, японский Sokkia SET 530 R – 9 500 долларов), в то время как оптические нивелиры стоят около 160 – 1 500 долларов, оптические теодолиты российского производства (УОМЗ – Уральский оптико-механический завод, г. Екатеринбург) стоят 550 – 1 050 долларов, а ручные лазерные дальномеры – 330 – 800 долларов.

В данном разделе рассматриваются *геодезические построения* – специальные математические приёмы, позволяющие в ряде случаев упростить применение таких обычных геодезических приборов, как нивелиры, теодолиты и дальномеры, когда нет возможности напрямую воспользоваться для измерений имеющимися приборами. Например, если необходимо измерить расстояние до объекта, находящегося на другом краю оврага, а в наличии имеется только рулетка и теодолит, то есть нет возможности напрямую измерить расстояние между двумя точками на местности.

Рассмотрим основные виды геодезических построений.

1. *Пересечение двух отрезков*. Этот способ позволяет получить координаты точки, находящейся в створе двух пар точек, то есть размещённой в месте пересечения двух отрезков. Для этого должны быть известны координаты четырёх точек – координат концов этих отрезков (рис. 3.70,*а*).

2. *Построение по трём точкам*. Этот метод предполагает, что неизвестная точка находится в углу параллелограмма, три другие точки которого известны (рис. 3.70,*б*).

(*а*) Пересечение двух отрезков (*б*) Построение по трем точкам

Рис. 3.70. Простые геометрические построения

3. *Линейная засечка*. В способе линейной засечки дальномером определяются только расстояния от измеряемой точки до двух известных точек (рис. 3.71,*а*).

4. *Полярная засечка*. Этим методом с помощью теодолита нужно измерить угол между направлением на измеряемую точку и створом двух известных точек. Кроме того, с помощью дальномера нужно определить расстояние от теодолита до измеряемой точки (рис. 3.71,*б*).

5. *Прямая угловая засечка*. Этот метод наиболее часто применяется при теодолитной съёмке труднодоступных точек местности. В этом методе с помощью теодолита из двух известных точек нужно измерить углы между измеряемой и другой известной точкой (рис. 3.71,*в*).

6. *Обратная угловая засечка*. Данный способ позволяет определить положение станции с теодолитом на местности, выполнив измерения двух углов между направлениями на три известных пункта (рис. 3.71,*г*).

7. *Створная засечка*. Этот метод позволяет определить положение точки, находящейся в створе двух известных точек, если дано расстояние от измеряемой точки до одной из точек в створе (рис. 3.72,*а*).

(*а*) Линейная засечка (*б*) Полярная засечка

(*в*) Прямая угловая засечка (*г*) Обратная угловая засечка

Рис. 3.71. Различные виды засечек
(линейная, полярная и угловые)

(*а*) Створная засечка (*б*) По параллельной линии

(*в*) Перпендикуляром в створ (*г*) Перпендикуляром от створа

Рис. 3.72. Створная засечка и построения по параллелям и перпендикулярам

8. *Построение по параллельной линии*. Данный метод предназначен для определения положения точки, находящейся на линии, проходящей через заданную точку и параллельную другой линии, построенной по двум другим известным точкам (рис. 3.72,*б*).

9. *Построение перпендикуляром в створ*. В этом методе искомая точка находятся в месте пересечения створа между двумя известными точками со своим перпендикуляром, проведёнными через другую известную точку (рис. 3.72,*в*).

10. *Построение перпендикуляром из створа*. Этот метод позволяет определить положение точки, если известна длина перпендикуляра из этой точки до створа двух заданных точек, а также известно расстояние от места пересечения этого перпендикуляра со створом до одной из точек створа (рис. 3.72,*г*).

3.9. Глобальные системы позиционирования

Для выполнения топографо-геодезических работ в заданной системе координат одним из важнейших требований является наличие *пунктов государственной геодезической сети* (*ГГС*) в непосредственной близости от точки съёмки. Однако на огромных территориях нашей страны такие пункты отсутствуют (они либо не создавались, либо разрушились).

Кроме того, существуют задачи, когда применение геодезических методов снятия координат невозможно, например в движении, на борту воздушного или водного судна.

Для решения вышеприведённых задач предназначены *глобальные системы позиционирования*. В настоящее время функционируют американская система GPS (Global Positioning System) и российская глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС. Кроме того, сейчас готовится к эксплуатации европейская система Galileo. В 2006 г. Китай заявил о намерении также создать собственную независимую систему Compass.

Все эти системы состоят из трёх основных подсистем: 1) наземного контроля и управления; 2) созвездия космических аппаратов; 3) аппаратуры пользователей.

Подсистема наземного контроля и управления состоит: 1) из станций слежения за спутниками; 2) службы точного времени; 3) главной станции с вычислительным центром и станции загрузки данных на борт спутников.

Спутники проходят над контрольными пунктами дважды в сутки. Собранная на станциях слежения информация об орбитах спутников используется для прогнозирования точного положения спутников на орбите. Совокупность сведений о траекториях всех спутников называется *альманахом* и загружается на все спутники сразу.

В спутниковых системах GPS и ГЛОНАСС имеется по 24 основных работающих и несколько резервных спутников (рис. 3.73), которые равномерно распределены в околоземном пространстве на высотах порядка 20 тыс. км в 6 и 3 орбитальных плоскостях соответственно (рис. 3.74). В системе Galileo будет 27 основных и 3 резервных спутника, расположенных на высоте 23 200 км.

Рис. 3.73. Российский навигационный спутник Глонасс-М, введённый в эксплуатацию в октябре 2004 г.

Рис. 3.74. Орбитальные созвездия GPS (*а*) и ГЛОНАСС (*б*)

На каждом спутнике установлены солнечные батареи, маневровые двигатели, атомные эталоны частоты-времени, а также приёмо-передатчики радиосигналов.

Для измерения дальностей передатчики на всех спутниках излучают радиоволны на двух частотах L_1 и L_2 с длинами волн 19,0 и 24,4 см в системе GPS и на волнах, близких к 19 и 24 см (каждый спутник работает на своих волнах) в системе ГЛОНАСС, кроме того, планируется ввести также третью частоту L_5 с длиной волны 25,5 см.

Различные частоты нужны, чтобы исключить из измерений существенные временные задержки, возникающие при прохождении радиоволн через ионосферу.

В основе аппаратуры пользователя лежит спутниковый приёмник (обобщённо называемый GPS-приёмником, вне зависимости от того, в какой системе он работает: в GPS, ГЛОНАСС или в Galileo), который совместно с передатчиком на спутнике образует радиодальномер. Приёмник принимает радиоволны, передаваемые спутником, и сравнивает их с электрическими колебаниями, выработанными в самом приёмнике. В результате определяется условное время распространения радиоволн, а следовательно, и дальность от приёмника до спутника. Дальность определяется двумя способами: кодовым методом (стандартная точность) и фазовым методом (более высокая, «геодезическая», точность).

Кроме того, от спутника в приёмник пользователя периодически (раз в два часа) передаётся так называемое навигационное сообщение, содержащее необходимую для определения координат информацию.

Современные приёмники бывают ориентированными на использование только одной спутниковой системы – GPS или ГЛОНАСС, но бывают и комбинированные, при этом примерно в 2 раза возрастает количество доступных спутников, а следовательно, и повышается точность определения координат – примерно в 1,5 раза (рис. 3.75).

(*а*)

(*б*)

(*в*)

Рис. 3.75. Приёмники: *а* – навигационный GPS-приёмник Garmin Etrex Legend; *б* – геодезический GPS-приёмник Trimble R8; *в* – комбинированый приёмник GPS/ГЛОНАСС

Приёмники бывают *кодовыми* и *кодово-фазовыми*. Первые из них очень компактны (умещаются на ладони) и совмещают в одном корпусе приёмник, антенну и источник питания. Такие приёмники часто называют *навигационными*, так как они выдают относительно неточные координаты. В целом эти приёмники достаточно дёшевы и потому доступны для массового применения.

Фазово-кодовые приёмники позволяют достигать гораздо большей точности координат. Они также являются очень компактными, но с отдельной выносной антенной; часто имеют внешние аккумуляторы и отдельные клавиатуру и дисплей. В случае, когда фазово-кодовые приёмники работают в паре со вторым приёмником в так называемом дифференциальном режиме, то возможно достижение точности до 1–2 см.

В силу некоторых особенностей определения координат приёмники глобальных систем позиционирования могут измерять координаты одной точки достаточно долго. Чем больше времени отводится на съёмку, тем точнее результат. В навигационных приёмниках определение координат выполняется достаточно быстро (секунды), однако точность составляет метры и даже десятки метров. В геодезических приёмниках время установления координат может составлять от 5 минут до одного часа. Причем время и точность съёмки существенно зависят от количества доступных на небосводе спутников.

Именно поэтому из-за большого времени точной съёмки координат, глобальные системы позиционирования используются в топографо-геодезических работах не для сплошной съёмки всех объектов на местности, а только для установления координат небольшого количества специальных точек, выбираемых в качестве альтернативы необходимым, но отсутствующим пунктам государственной геодезической сети.

Навигационные же приёмники могут быть использованы для массовой съёмки точек, так как время съёмки достаточно мало. Одно из применений навигационных приёмников – это съёмка осей автомобильных дорог для нанесения на мелкомасштабные карты. К недостаткам работы GPS-приёмников в движении можно отнести снижение точности измерений и возможная временная потеря видимости некоторых спутников, например, при проезде автомобиля с GPS-приёмником через густой лес, в низине или в тоннеле. Для исключения прерывания съёмки координат в последнее время GPS-приёмники начинают комбинировать с так называемыми *инерциальными навигационными системами* (*ИНС*), в которые встроены гироскопы и акселерометры, позволяющие достаточно точно измерять направление и скорость движения. Тогда при временной потере связи со спутниками данные о перемещениях получают от ИНС.

3.10. Фото- и видеосъёмка

Последнее время, в связи с появлением дешевых цифровых фото- и видеокамер и стремительным ростом объёмов жёстких дисков компьютеров, получила широкое распространение технология *визуального сопровождения пространственных объектов*. Следует отметить несколько основных вариантов этой технологии.

1. *Отдельные снимки местности*, сделанные простыми фотоаппаратами из какой-то точки пространства в одном направлении. Такие снимки служат обычным информационным дополнением к атрибутам пространственных объектов в базе данных.

2. *Панорамные снимки*. Они позволяют осматривать местность, находясь в фиксированной точке пространства и поворачивая угол зрения по азимуту в любом направлении. Панорамные снимки получают с помощью специальных панорамных объективов либо, программно обрабатывая нескольких обычных снимков, сделанных в четырёх, восьми или больше противоположных направлениях. В памяти компьютера такие снимки хранятся в виде обычных растровых изображений, существенно вытянутых по горизонтали (рис. 3.76,*а*). При изменении пользователем азимута просмотра на экран выводится только определённая часть снимка (рис. 3.76,*б*).

3. *Снимки окружающей среды* позволяют осматривать местность, находясь в фиксированной точке пространства и поворачивая угол зрения в любом направлении – влево-вправо и вверх-вниз. Такие снимки чаще используются внутри помещений, а также на местности, когда вблизи имеются сложные или высокие объекты. Такого рода снимки обычно делаются на основе 6 обычных квадратных фотоснимков, сделанных в трёх взаимно перпендикулярных направлениях (рис. 3.77). При выводе изображения на экран программа на ходу формирует из этих 6 снимков требуемое изображение, как будто пользователь смотрит в направлении заданного азимута и вертикального угла. В настоящее время поддержка такого рода снимков (*кубических карт окружающей среды*) реализована аппаратно на уровне видеокарт и доступна через интерфейсы DirectX 8.x/9.x и OpenGL 1.x.

(*а*)

(*б*)

Рис. 3.76. Пример панорамного снимка:
а – исходный снимок; б – окно просмотр снимка

Рис. 3.77. Пример набора снимков окружающей среды (кубическая карта)

4. *Последовательности фотоснимков*, сделанные вдоль некоторой траектории, например вдоль автомобильной дороги с движущегося автомобиля или низколетящего летательного аппарата. Такие последовательности снимков обычно делаются через некоторое фиксированное расстояние на местности (например, через 10 м), а каждый снимок имеет чёткую пространственную привязку в виде абсолютных (*x*, *y*) или линейных (*пикет*, *смещение*) координат, получаемых с помощью GPS-приёмников или иным способом (рис. 3.78). Геоинформационные системы, в которые включены функции работы с последовательностями фотоснимков, позволяют: 1) выполнять навигацию по фотоснимкам как по видеофильму и одновременно показывать положение точки съёмки на местности; 2) указывать точку на карте, переводить её координаты в линейные и отображать соответствующий фотоснимок.

Рис. 3.78. Пример последовательности снимков автомобильной дороги

5. *Видеосъёмка по траектории*. Данная технология является в целом аналогичной предыдущей (последовательности фотоснимков), только съёмка выполняется на цифровую видеокамеру формата MiniDV. Видеосъёмка позволяет в целом получить большее количество отдельных кадров, чем фотосъёмка, однако гораздо худшего качества. Низкое качество вызывается, во-первых, меньшим разрешением изображения (только 720x576 = 0,4 мегапикселя в стандарте MiniDV, тогда как сейчас широко

доступны фотокамеры с матрицами 5–10 мегапикселей и больше); во-вторых, чересстрочной разверткой, что в движении, по сути, уменьшает вертикальное разрешение изображения в два раза. С другой стороны, видеосъёмка, несмотря на большее общее число кадров, требует меньшего объёма памяти для своего хранения (из-за меньшего разрешения кадров и из-за особенностей алгоритмов сжатия видеоизображений). Всё это позволяет создавать очень большие архивы видеоданных.

6. *Ситуационная видеосъёмка*. Используется обычно для осмотра небольших участков местности. Такие видеоролики служат информационным дополнением к атрибутам пространственных объектов в базе данных.

3.11. Форматы данных

Большинство ГИС-приложений получает пространственные данные в виде уже готовых наборов. В п. 3.5 были кратко охарактеризованы основные источники пространственных данных. При этом следует отметить, что такие данные зачастую создаются отнюдь не в ГИС, а в некоторых других классах программ.

Так, растровые данные поступают в ГИС в виде готовых файлов, получаемых с цифровых фотоаппаратов, со сканеров или из других источников. Большинство ГИС не обладает достаточными средствами для глубокой обработки растровых изображений, а потому растры обычно обрабатываются в особом классе программ для обработки ДДЗ (такие программы могут быть растровыми ГИС, но совсем не обязательно). После соответствующей обработки растры уже поступают в ГИС.

Векторные данные также часто создают в других программах. Например, данные геодезических изысканий обычно обрабатываются вне ГИС в специализированных программах. Векторизация растровых данных в настоящее время также наиболее качественно выполняется в специализированных программах – *векторизаторах*.

Кроме того, так исторически повелось, что многие крупномасштабные карты создаются в программах класса САПР. Дело в том, что модели данных в САПР гораздо богаче, нежели в ГИС (это разница заметна именно в крупном масштабе); кроме того, САПР предоставляют более полные инструменты для ввода и редактирования геометрических данных, а также они более широко распространены, чем ГИС.

Справедливости ради надо отметить, что САПР не могут заменить ГИС, так как в большинстве САПР отсутствуют такие фундаментальные средства ГИС, как работа с атрибутами объектов, средства пространственного анализа, поддержка проекций и пр.

В силу вышесказанного для любой ГИС является очень важным вопрос импорта пространственных данных, созданных в других программах, а также экспорта данных в другие программы.

Все форматы, используемые в ГИС, можно разделить на *внутренние* и *обменные*. Внутренние форматы обычно имеют закрытую структуру, и другие приложения, как правило, не могут их читать и создавать.

Импорт данных в ГИС выполняется с помощью файлов в обменных форматах. Эти файлы создаются в других программах, а в ГИС импортируются и при необходимости преобразуются во внутренний формат ГИС.

Рассмотрим основные векторные форматы файлов, используемых в ГИС для работы и обмена данными с другими приложениями.

1. *Шейп-файлы*. Эти файлы являются стандартным обменным форматом для представления векторных нетопологических данных от фирмы ESRI, Inc (производитель ArcGIS, ArcView, ARC/INFO). В этом файле можно представлять точки, мультиточки, линии или полигоны, но смешивать фигуры разного типа в одном файле запрещено. Все фигуры могут представляться с координатами в 2-мерном (X, Y), 3-мерном (X, Y, мера M) и 4-мерном (X, Y, Z, мера M) пространстве.

В шейп-файлах для фигур можно задать атрибуты, причем все фигуры будут иметь одинаковый набор атрибутов. Допустимы атрибуты числовые, логические, даты и строки.

Каждый шейп-файл сохраняется в виде трёх файлов: 1) с расширением .SHP для представления геометрии; 2) с расширением .DBF для представления атрибутики (этот файл хранится в формате dBase III); 3) с расширением .SHX для представления вспомогательных индексов.

В настоящее время формат шейп-файлов поддерживается большинством производителей ГИС в качестве обменного, а иногда даже в качестве основного (внутреннего) формата.

2. *Покрытия ARC/INFO*. Этот формат является стандартным для представления векторных топологических данных (покрытий) от фирмы ESRI. Формат поддерживается некоторыми другими компаниями, но он не сильно распространён, так как является закрытым.

Недостатком этого формата считается то, что он состоит из множества файлов, находящихся в отдельном каталоге. Это не очень удобно при копировании, архивировании и т.д.

3. *Обменный формат покрытия ARC/INFO* (файлы с расширением .E00). Формат является открытым обменным эквивалентом файла покрытия. Он состоит только из одного файла, что достаточно удобно. Формат является текстовым, в силу чего размер файла E00 получается существенно больше по сравнению с обычным покрытием ARC/INFO.

4. *Обменный формат MapInfo* (файлы с расширением .MIF). Этот формат является стандартным форматом обмена векторными нетопологическими данными от фирмы MapInfo, Inc (США). Формат поддерживается большинством современных ГИС.

5. *Форматы F1M и SXF*. Эти форматы являются российским изобретением для представления электронных карт, а потому поддерживаются только некоторыми российскими ГИС. Формат F1M является стандартом Роскартографии, а SXF – стандартом Военно-топографической службы.

6. *Формат DWG*. Этот формат является стандартным форматом для представления чертежей в системе автоматизированного проектирования AutoCAD от фирмы Autodesk, Inc (США). В геоинформационных системах

этот формат используется обычно только для того, чтобы прочитать чертёж и подложить его на карту в качестве слоя. Если ГИС предполагает выполнять пространственный анализ объектов чертежа DWG, то из чертежа читаются только точки, линии и полигоны.

Формат DWG долгое время оставался закрытым форматом, а потому был недоступен для чтения и создания во многих других программах. Начиная с 13-й версии AutoCAD, формат DWG был раскрыт и теперь доступен для широкого использования.

7. *Обменный формат DXF*. Этот формат изначально был задуман как открытый обменный эквивалент формата DWG. В настоящее время, когда формат DWG раскрыт, единственным достоинством формата DXF является то, что он текстовый, а потому его достаточно просто создавать и читать.

8. *Формат DGN*. Этот формат является стандартным форматом для представления чертежей в системе автоматизированного проектирования Microstation от фирмы Bentley, Inc (США). В ГИС этот формат используется обычно только в режиме чтения, чтобы загрузить чертёж и положить его на карту в качестве слоя. Если ГИС предполагает выполнять пространственный анализ объектов чертежа DGN, то из чертежа читаются только точки, линии и полигоны. Этот формат менее распространён, нежели DWG, тем не менее поддерживается многими зарубежными ГИС.

9. *Формат EMF*. Этот формат используется в ГИС, только чтобы передать графическое изображение слоя или всей карты в другие программы.

10. *Стандартные растровые файлы* (с расширениями .BMP, .JPG, .PCX, .TIF, .GIF, .PNG и др.). Эти форматы являются самыми обычными для хранения растровых изображений в среде Windows. Особенность применения растров в ГИС состоит в том, что на карте растры должны иметь *геопривязку*, указывающую, какому месту географического пространства соответствует растр. А такая информация отсутствует в обычных растровых форматах, поэтому её зачастую приходится вводить вручную при загрузке растра в ГИС. Ещё одним недостатком типичных растровых форматов является то, что они малопригодны (очень медлительны) для работы с огромными растрами, типичными для ГИС, а также то, что они не позволяют работать с многозональными данными дистанционного зондирования Земли.

11. *Формат ERDAS Imagine* (файлы с расширением .IMG). В этом формате возможно сохранение растровых данных с любым количеством слоёв совместно и параметрами геопривязки. При необходимости в этом файле сохраняется дополнительная пирамидальная структура, позволяющая очень быстро просматривать данные в любом масштабе вне зависимости от реального (даже огромного) размера файла.

12. *Формат GeoTIFF*. Этот формат является развитием широко распространённого растрового формата TIFF. Формат GeoTIFF дополняет растр параметрами геопривязки. Недостатком данного формата (впрочем, как и его предшественника TIFF) является невысокая степень сжатия дан-

ных, не позволяющая интерактивно работать с растрами больших размеров.

13. *Форматы Mr.SID и ECW*. Эти форматы были изначально созданы для работы с растрами больших размеров в среде ГИС. Форматы отличаются гораздо более высоким уровнем сжатия (используют метод вейвлет-сжатия), нежели в других распространённых форматах данных. Кроме того, данные в файлах Mr.SID и ECW организованы так, что из файла можно очень быстро извлечь любой фрагмент растра в любом требуемом разрешении.

Вопросы для самопроверки

1. Какие системы координат используются в ГИС?
2. Что такое картографическая проекция?
3. Какие виды проекций бывают по характеру искажений?
4. Что такое анаморфизм?
5. Что такое картографическая и координатная сетки?
6. Что такое разграфка карт?
7. Какая система координат, проекция и какая номенклатура карт наиболее часто используется в Российской Федерации для составления топографических карт?
8. Каковы основные виды источников пространственных данных для геоинформационных систем?
9. Что такое векторизации и каковы её основные этапы выполнения?
10. Что такое ДДЗ?
11. Какие глобальные системы позиционирования сейчас существуют и создаются?
12. Как используется в ГИС фото- и видеосъёмка?

Глава 4. Работа с картами в ГИС

4.1. ГИС-проекты

Основным понятием в картографии является *карта* – графическое изображение пространственных объектов. Аналогично в геоинформационных системах под термином «*карта*» («*электронная карта*») понимается совокупность данных, позволяющих отображать пространственные объекты на экране компьютера, а также редактировать их и анализировать.

Электронная карта состоит из упорядоченной совокупности графических *слоёв карты*, которые последовательно отображаются на экране компьютера (рис. 4.1). В случае необходимости некоторые слои карты могут быть временно отключены, чтобы не мешать просмотру остальных.

Рис. 4.1. Слои карты

В геоинформатике пространственные данные отделены от способа их отображения. Поэтому каждый слой карты содержит некоторый набор пространственных данных, а также параметры их интерпретации и отображения на карте. Каждому набору данных может быть назначен один или больше *визуализаторов* пространственных данных, отображающих данные на карте.

Ещё одно понятие, часто используемое в геоинформационных системах, – это понятие «*ГИС-проект*». В некоторых геоинформационных системах (ArcGIS, MapInfo) понятие «*проект*» совпадает с понятием «*карта*», в других системах (ArcView GIS, IndorGIS) проекты могут включать в себя несколько карт, логически связанных друг с другом. На рис. 4.2 приведён пример структуры ГИС-проекта в IndorGIS. В этой системе проект

Рис. 4.2. Пример ГИС-проекта в IndorGIS 5.0

может включать в себя любое число карт, растровых изображений, текстовых и других файлов, при этом все они могут быть сгруппированы в папки.

В следующих разделах рассмотрим основные операции, используемые при работе с картами в ГИС.

4.2. Навигация по карте

Одним из важнейших преимуществ электронных карт в ГИС перед бумажными аналогами является удобство просмотра карты. ГИС позволяет увидеть любой фрагмент карты в любом требуемом масштабе.

Выбор необходимого фрагмента карты и масштаба его отображения в ГИС можно выполнять интерактивно либо с помощью команд поиска объектов и фрагментов карты. Интерактивный выбор видимого фрагмента карты выполняется с помощью одного из следующих режимов работы:

1. *Режим увеличения изображения* (см. п. 1.3).
2. *Режим уменьшения изображения* (см. п. 1.3).
3. *Режим панорамирования* (см. п. 1.3).
4. *Режим динамического масштабирования*. В этом режиме пользователь нажимает кнопку мышки в некоторой точке на карте и, удерживая её, перемещает мышку вверх, при этом масштаб изображения увеличивается; при перемещении мышки вниз масштаб будет уменьшаться.

Вышеприведённые режимы навигации по карте используют для своей работы только одну левую кнопку мышки. Если же мышка имеет дополнительное колесо прокрутки, то с его помощью можно быстро изме-

нять масштаб изображения, крутя колесо вперед или назад. Достоинством этот способа является то, что использование колеса не требует переключения в специальный режим навигации по карте, а может использоваться в дополнение к любому другому режиму.

Теперь рассмотрим команды поиска объектов и фрагментов карт.

1. *Поиск по атрибутам*. Данная команда позволяет находить объекты, имеющие заданные значения атрибутов. При этом в ГИС можно задать как конкретное искомое значение, так и некоторое условие над атрибутами. Например, можно потребовать найти все города на карте мира, имеющие население более 10 миллионов человек.

2. *Адресный поиск*. Данная команда позволяет находить объекты по его адресу. Под адресом обычно подразумеваться название улицы и номер дома, однако аналогичным образом могут быть найдены и любые другие объекты, имеющие названия (не обязательно в городе). Для выполнения поиска по адресу вначале необходимо создать *геокод* – набор правил, по которым адрес будет преобразовываться в пространственные координаты. После этого в ГИС становятся доступными команды выполнения адресного поиска (рис. 4.3). При этом достаточно ввести название улицы и номер дома, и ГИС покажет на карте найденный объект. Ещё одним вариантом поиска является задание двух пересекающихся улиц, при этом ГИС найдёт положение соответствующего перекрёстка. Весь процесс перевода тестового описания адреса в координаты на карте называется *геокодированием*.

Рис. 4.3. Адресный поиск дома на карте города по геокоду

Геокод бывает нескольких основных видов:

- *Одно имя*. Используется для поиска объектов, однозначно характеризуемых одним атрибутом пространственного объекта. По сути, ГИС ищет имя объекта в заданном атрибуте и показывает найденный объект на карте. Типичным представителем запросов такого рода является поиск города на карте страны. Для этого все города должны быть представлены в виде векторного набора данных, а в некоторый атрибут занесены их названия.
- *Улица и номер дома.* Данный тип геокода используется для поиска объектов, однозначно характеризуемых двумя атрибутами, напри-

мер, дома однозначно описываются именем улицы и номером дома. При выполнении адресного поиска можно найти либо все здания на указанной улице, либо конкретный дом.

- *Улица и дома по разные стороны*. Этот тип геокода используется для кодирования адресов домов уличными сегментами – отрезками дорог между перекрёстками, на которых известен диапазон номеров домов вдоль сегмента по левой и правой стороне (дома по одну сторону от улицы должны быть чётными, а по другую – нечётными). Поиск конкретного дома в таком геокоде выполняется в несколько шагов (рис. 4.4): а) находятся уличные сегменты с заданным названием улицы; б) определяется чётность номера разыскиваемого дома; в) среди найденных сегментов улицы выполняется поиск сегмента, у которого номер дома попадает внутрь диапазона номеров домов по чётной или нечётной стороне; г) если искомый сегмент найден, то выполняется интерполяция положения дома относительно улицы на основе номеров домов на концах уличного сегмента и номера искомого дома.

Рис. 4.4. Пример адресного поиска дома по уличным сегментам

3. *Выбор листа карты*. Данная команда позволяет находить требуемый фрагмент карты (лист) по его номеру в какой-то разграфке. Некоторые ГИС позволяют создать произвольную разграфку с нумерацией листов карты по столбцам и строкам (например, ArcGIS). В других ГИС используются системы разграфки, общепринятые в России или в мире. Например, в IndorGIS пользователь может ввести номер 159-А-7 и система покажет на экране соответствующий лист топографического плана масштаба 1:500 (рис. 4.5).

4. *Выбор закладок*. В настоящее время многие ГИС позволяют создавать т.н. «закладки». При этом ГИС запоминает координаты центра текущего видимого фрагмента карты и текущий масштаб изображения. В дальнейшем ГИС позволяет быстро возвращаться к ранее запомненным фрагментам карты.

Рис. 4.5. Выбор листа карты по номеру

Ещё одним удобным способом навигации по карте в ГИС является использование *окна обзора* (рис. 4.6), в котором отображается вся карта и прямоугольником показывается область, видимая в настоящее время в основном окне. В окне обзора можно мышкой указать прямоугольную область карты, которая сразу же будет отображена в основном окне карты.

Рис. 4.6. Пример окна обзора карты в правой верхней части основного окна ГИС

4.3. Получение информации по объектам

Основное отличие электронной карты в ГИС от бумажной заключается в том, что в ГИС хранится не просто статичное изображение карты, а полноценная модель местности. Именно поэтому неотъемлемой функцией

ГИС является получение детальной информации по объектам, имеющимся на карте. Предоставляемая по объектам информация в ГИС делится на атрибутивную, геометрическую и топологическую.

Для получения *атрибутивной* информации, например, в системе ArcGIS 8.x пользователь должен перейти в режим выборки информации по объектам и указать мышкой на карте требуемый объект. В появившемся окне будут показаны все атрибуты выбранного объекта (рис. 4.7).

Рис. 4.7. Получение детальной атрибутивной информации по объектам на примере ГИС ArcGIS

В других ГИС аналогичным способом можно получить не только атрибутивную информацию по объектам, но и *геометрическую*, а также сразу отредактировать соответствующие значения. Например, в ГИС IndorGIS при выделении объекта вся информация о нём (геометрическая и атрибутивная) отображается в *инспекторе объектов*, с помощью которого можно просмотреть информацию по объектам и изменить её (на рис. 4.8 в окне инспектора объектов представлена геометрическая информация о районе в Томской области, находящемся в центре карты).

К *топологической* информации по заданным объектам в ГИС относятся сведения об объектах: 1) смежных с данным объектом; 2) удалённых от данного не более чем на некоторое расстояние; 3) находящихся от данного в указанном направлении; 4) содержащихся полностью внутри данного; 5) покрывающих данный объект; 6) окружающих данный объект; 7) пересекающихся с данным объектом; 8) совпадающих с данным объектом.

Рис. 4.8. Просмотр и редактирование геометрической информации векторных объектов в ГИС IndorGIS

Ещё одним отличием электронных карт от бумажных аналогов является наличие в ГИС развитых функций поиска пространственных объектов на карте в соответствии с некоторыми условиями, налагаемыми на их атрибуты. Обычно это выглядит как написание некоторого запроса на специальной упрощённой версии языка SQL. На рис. 4.9 показан пример запроса, заданного в среде ArcGIS. Этот запрос выявляет все города на карте мира, которые имеют население не менее 1 миллиона человек и находятся в России. Результаты выделяются в таблице и на карте.

Рис. 4.9. Поиск объектов в таблицах с помощью SQL-запросов

4.4. Горячая связь

Горячая связь предназначена для организации связи некоторых объектов на карте с некоторыми другими объектами, например другими картами, проектами, растровыми изображениями и т.д. При выборе в ГИС режима горячей связи щелчок мышкой по объектам приводит к срабатыванию горячей связи, при этом, например, на экран выводится некоторое изображение, ассоциированное с выбранным объектом.

При выполнении горячей связи у выбранного объекта на карте берётся значение атрибута, используемого для установления горячей связи. Затем это значение передаётся в процедуру выполнения горячей связи некоторого вида. На рис. 4.10 дан пример вызова горячей связи для показа изображения, ассоциированного с отмеченным на карте городом.

Рис. 4.10. Этапы выполнения горячей связи

Наиболее часто в геоинформационных системах используются следующие виды горячей связи:

- *Просмотр растрового файла*. В этом случае из атрибута горячей связи берётся имя файла с изображением, которое отображается на экране.
- *Просмотр карты или проекта*. Этот вид позволяет перейти к карте (или проекту), указанной в атрибуте горячей связи.
- *Открытие файла*. Открывает файл, указанный в атрибуте горячей связи, программой, установленной по умолчанию в Windows для данного типа файлов.
- *Запуск программы Windows*. Запускает выполняемый файл Windows, указанный в атрибуте горячей связи.

- *Запуск программы с передачей параметров*. Запускает фиксированный файл Windows с параметрами, указанными в атрибуте горячей связи.
- *Вызов в браузере страницы Интернета.* Данный вид горячей связи позволяет устанавливать ссылки на произвольные адреса в Интернете. При выполнении связи ГИС запустит установленный в операционной системе Интернет-браузер, которому передаст в качестве аргумента указанный в атрибуте адрес в формате URL.
- *Выполнение процедуры (макроса)*. Запускает некоторую процедуру (макрос) с параметрами, указанными в атрибуте горячей связи. Данный вид горячей связи используется в ГИС со встроенными возможностями написания процедур (макросов) на некотором языке программирования. В настоящее время в ГИС наиболее часто используется язык Visual Basic for Applications.

4.5. Видеоряды

Видеоряды – это последовательность фотоснимков, сделанных через определённое расстояние вдоль некоторой траектории (см. п. 3.10). В ГИС видеоряды привязывают к некоторым линейным векторным объектам.

Для создания видеорядов фотокамера (обычно достаточно простой Web-камеры) устанавливается на автомобиле. Фотокамера соединяется с портативным компьютером. При движении автомобиля компьютер должен периодически получать с фотокамеры снимки, сохранять их, а также записывать положение автомобиля во время съёмки.

При создании видеорядов каждый фотоснимок должен быть координатно привязан к карте. Для этого можно использовать GPS-приёмники, соединённые с компьютером, либо приборы, измеряющие текущее пикетажное положение автомобиля и передающие данные в компьютер.

В настоящее время различные фирмы предлагают законченные решения для создания и просмотра видеорядов. Например, ООО ИДЦ «Индор» совместно с ООО «ИндорСофт» (г. Томск) производят программно-аппаратный комплекс ИРА-3М, который состоит из портативного компьютера, Web-камеры, измерителя пикетажного положения автомобиля и специализированного программного обеспечения (рис. 4.11). Этот комплекс сохраняет полученные фотоснимки в специальном формате, которые затем привязываются к дорогам в ГИС IndorGIS.

В IndorGIS для работы с видеорядами предусмотрен специальный режим работы с картой. В этом режиме можно выделить некоторую линию (ось дороги) на карте и привязать к этой линии видеоряд, указав имя файла видеоряда и параметры пикетажной привязки видеоряда. После того как видеоряды привязаны, можно просто указать точку на линии, а ГИС покажет в отдельном окне соответствующий фотоснимок из автомобиля. Перемещение курсора по карте в ГИС будет автоматически вызывать смену кадров в окне просмотра видеоряда (рис. 4.12).

Рис. 4.11. Программно-аппаратный комплекс для создания видеорядов ИРА-3М (производитель ООО ИДЦ «Индор», г. Томск)

Рис. 4.12. Просмотр видеорядов в ГИС IndorGIS

4.6. Публикация карт

В среде ГИС имеются богатейшие возможности по просмотру электронных карт. Тем не менее существует объективная потребность в получении «твердых копий карт» (в бумажном виде), а также просмотре карт в других программных продуктах, а не только в ГИС.

Помимо самой ГИС, в которой создана карта, для её просмотра могут использоваться следующие программные продукты:

1. *ГИС-вьюеры* (ГИС-просмотрщики) – программы, которые обладают только функциями просмотра карт и получения элементарной информации по объектам на карте. Такие простые ГИС-вьюеры выпускают практически все основные производители ГИС, и они обычно распространяются бесплатно.

2. *Системы автоматизированного проектирования* (*САПР*) транспортного, промышленного и гражданского строительства. Используемые в таких САПР модели данных существенно отличаются от принятых в ГИС, поэтому электронные карты обычно используются там только как информационная подложка, поверх которой выполняется проектирование различных объектов.

Для передачи данных из ГИС в САПР необходимо выполнить экспорт данных из ГИС в некоторый формат, который понимается в САПР. В настоящее время стандартом де-факто является формат DXF (Drawing eXchange Format) – открытый обменный формат системы AutoCAD. Кроме того, иногда используются форматы SHP (ShapeFile) – открытый формат представления векторных нетопологических данных систем ArcGIS и ArcView GIS, а также MIF (MapInfo Interchange Format) – открытый формат представления данных ГИС MapInfo.

3. *Векторные графические программы* (векторные редакторы) типа Corel Draw! и Adobe Illustrator. Такие программы обычно используются для окончательной доводки карт перед печатью, так как именно векторные редакторы обладают огромным набором функций, позволяющих обрабатывать изображения.

4. *Специализированные программы*, не базирующиеся на ГИС, но в которые программистами с помощью набора ГИС-компонентов встроены дополнительные геоинформационные функции.

5. *Интернет-браузеры*, которые используются для просмотра карт, опубликованных в Интернете. В свою очередь, для публикации карт в Интернете используются различные геоинформационные Интернет-серверы, например ArcIMS (Internet Map Server) производства ESRI, Inc, США.

6. Кроме того, карты могут быть экспортированы в один из широко распространённых универсальных растровых или векторных форматов, например в BMP, GIF, JPEG, TIFF или в метафайл Windows (EMF). После этого изображение может быть просмотрено любыми доступными на компьютере приложениями или через Интернет.

Теперь рассмотрим вопросы печати карт непосредственно из ГИС. Следует отметить главное отличие карт в ГИС на экране компьютера от бумажных аналогов. Изображение карты в ГИС является отражением точной математической модели пространственных объектов на местности. В то же время при составлении классических бумажных карт приходится отступать от точных геометрических характеристик объектов, чтобы более наглядно и удобно донести до человека суть карты.

Процесс подготовки карты к печати состоит из следующих этапов:

1. *Выбор компоновки карты*. На этом этапе следует ответить на следующие вопросы:

- Какая часть поверхности Земли будет изображена на карте?
- На сколько листов будет поделена карта при печати?
- Какие выносные фрагменты и врезки будут представлены на каждом листе карты?
- Какие проекции будут использованы при печати различных листов карты и выносных фрагментов?
- Какое типовое оформление будет использовано для всех листов карты?

На рис. 4.13 показана типичная карта с четырьмя врезками, две из которых являются фрагментами других карт, а на двух других представлена легенда, масштабная линейка, а также справочная информация.

Рис. 4.13. Типичная карта (в нижней части листа имеется четыре врезки)

2. *Подготовка картографической основы*. На этом этапе необходимо определить, какие слои пространственных данных будут отображаться на различных листах создаваемой карты, а также выполнить необходимую геометрическую коррекцию данных с учётом масштаба печати и назначения карты. При этом используются такие геометрические приёмы, как:

- *Генерализация* – замена маленьких площадных объектов линейными или точечными, например, контур реки часто заменяется её осью, а границы города – точкой; а также замена множества точечных объектов одним площадным, например, множество отдельно стоящих деревьев можно заменить полигоном.
- *Разгрузка карты* – удаление секретных и малозначимых объектов, например малонаселённых пунктов.
- *Геометрическое редактирование* – внесение в некоторых местах небольших геометрических искажений данных для обеспечения лучшего зрительного восприятия карты. Например, на мелкомасштабной карте два близкорасположенных города следует немного отодвинуть друг от друга, так как иначе они сольются при печати.

3. *Выбор способов отображения пространственных данных*. На этом этапе нужно определить, какими условными знаками следует отображать точечные, линейные и площадные объекты (подробно различные способы отображения данных рассматриваются в следующей главе).

На этом же этапе нужно выполнить размещение подписей объектов на карте. Подписи всех объектов обычно вначале размещают автоматически, после чего вручную дорабатывают. Некоторые надписи могут быть при этом удалены, чтобы они не заслоняли другие, более значимые.

4. *Подготовка оригинал-макетов листов карты*. На этом этапе всё изображение электронной карты разбивается на отдельные листы, для каждого листа задаётся некоторая рамка и наносятся дополнительные элементы внутреннего и зарамочного оформления карты, такие как легенда карты, стрелки направления на север, масштабные линейки, дополнительные текстовые надписи и др. При необходимости на листы могут быть помещены дополнительные фрагменты этой или другой карты.

5. *Печать листов карты*. На этом этапе производится печать листов карты на принтере или плоттере. В настоящее время большинство ГИС работает в среде Windows, которая бёрет на себя все проблемы взаимодействия с принтерами и плоттерами. Пользователь только должен выбрать принтер или плоттер, на котором будет выполняться печать, указать параметры печати и направить карту на печать.

В некоторые ГИС встроены различные дополнительные функции для управления процессом печати. Одной из таких функций является возможность печати больших карт на маленьких принтерах. Например, если нужно напечатать карту размером 1×1 м, но нет необходимого для этого широкоформатного принтера, то можно обойтись и обычным принтером формата А4, указав в ГИС, что при печати карту нужно разбить на листы.

К другим функциям печати ГИС относятся растеризация изображения перед печатью (это в ряде случаев ускоряет процесс печати), управление цветами, управление способом печати текстовых надписей и пр.

В настоящее время в ГИС используется 3 основных подхода к процессу подготовки карт к печати:

Подход 1. В ГИС готовится картографическая основа, которая затем передаётся в другую программу – универсальный (типа Corel Draw или Adobe Illustrator) или специализированный векторный редактор для последующей обработки и подготовки карты к печати. На рис. 4.14 показана карта, созданная в специализированном редакторе IndorDraw, предназначенном для подготовки чертежей и карт к печати. Этот подход позволяет создавать карты, наиболее качественные с точки зрения дизайна, но он более трудоемок. Однако проще и нагляднее является подход 2 и особенно 3 (см. ниже).

Рис. 4.14. Подготовка карты к печати в специализированном векторном редакторе IndorDraw

Подход 2. Карта готовится к печати в ГИС с использованием для оформления расширенных методов визуализации пространственных данных, а также дополнительных слоёв карты с возможностью создания картографических рамок и рисования разнообразных фигур.

Такой подход используется, например, в ГИС IndorGIS (рис. 4.15). Эта система позволяет наложить поверх картографической основы специальные слои оформления, включающие картографическую или топографическую рамку, а также разнообразные фигуры для внутрирамочного и зарамочного оформления.

Рис. 4.15. Подготовка карты к печати в ГИС IndorGIS

В слой оформления могут быть включены легенда карты, стрелки направления на север, масштабные линейки, а также фрагменты этой или другой карты. Для задания нестандартного оформления можно использовать разнообразные типы линий, многоугольников, прямоугольников, окружностей, дуг, сплайнов и точечных символов.

Если нужно поверх карты разместить какие-то таблицы, графики или другие сложные изображения, то можно воспользоваться функцией помещения на карту произвольного OLE-документа. Например, так можно поместить фрагмент текстового документа Microsoft Word, электронную таблицу, график или диаграмму Microsoft Excel.

Подход 3. Для подготовки карт к печати в ГИС вводится новое понятие «*макет карты*». Макет – это способ расположения различных печатаемых элементов карты на листе бумаги. На макет можно поместить фрагменты различных карт, легенду, масштабные линейки, стрелки направления на север, дополнительные текстовые надписи и пр.

В настоящее время данный подход наиболее полно реализован в геоинформационной системе ArcGIS (рис. 4.16) , а также в некоторых других ГИС.

Рис. 4.16. Подготовка макета карты для печати в ГИС ArcGIS

Вопросы для самопроверки

1. Что такое ГИС-проект?
2. Какие основные способы навигации имеются в ГИС?
3. Какую информацию можно получить по объектам в ГИС?
4. Что такое горячая связь?
5. Что такое видеоряды и как они применяются в ГИС?
6. В каких классах программных продуктов, кроме ГИС, можно работать с картами?
7. Каковы основные этапы подготовки карт к печати?

Глава 5. Визуализация пространственных данных

5.1. Тематические карты

Одним из важнейших достоинств геоинформационных систем является то, что они позволяют очень наглядно представить человеку информацию о территориально распределённых объектах и явлениях.

В условиях отсутствия карт человеку нужно достаточно долго изучать различные таблицы, графики, тестовые данные, тогда как иногда достаточно бросить один взгляд на карту и всё становится ясно. Именно поэтому в картографии очень давно появился термин «*тематические карты»*, который описывает карты, созданные для демонстрации каких-либо явлений или объектов. Геоинформационные системы дали толчок дальнейшему развитию тематических карт, внеся новые изобразительные инструменты и новые методики. И самое главное: с помощью ГИС процесс создания новой тематической карты происходит очень быстро.

Особенностью геоинформационных систем является то, что в них данные (*геометрия* и *атрибутика*) и их смысл (*семантика*) разнесены. Именно поэтому для того, чтобы пространственные данные были отображены на карте, необходимо для них указать *визуализаторы* – наборы правил отображения данных на карте. В некоторых ГИС визуализаторы пространственных данных называются также *символикой* отображения пространственных данных.

Для различных моделей данных существуют различные виды визуализаторов, используя которые, можно создавать разнообразные *тематические карты*. Мы их рассмотрим в следующих разделах.

5.2. Условные знаки

Базовым элементом всех картографических изображений являются *условные знаки*, с помощью которых пространственные объекты изображаются на карте.

Условные знаки определяют способ отображения одного конкретного пространственного объекта на карте. Отметим также, что визуализаторы набора пространственных данных задают правила, по которым будут выбираться различные условные знаки для отдельных объектов из этого набора данных.

В картографии выделяют 3 основных типа условных знаков: точечные, линейные и площадные.

Точечными условными знаками (рис. 5.1) на карте изображают объекты или явления, размеры которых в масштабе карты пренебрежимо малы (обычно меньше 1 мм). При этом размер условного знака выбирается не пропорционально размеру изображаемого объекта, а так, чтобы он хорошо

воспринимался человеком. Именно поэтому, например, города на мелкомасштабных картах Российской Федерации обычно изображают точечными условными знаками в виде кругов, а не многоугольниками с точными границами, при этом размер таких кругов существенно больше точных многоугольников.

Рис. 5.1. Некоторые стандартные точечные условные знаки, применяемые для составления топографических карт в Российской Федерации

Каждый точечный условный знак характеризуется координатами размещения на карте, типом, размером, углом поворота и цветами отображения.

Линейными условными знаками (рис. 5.2) на карте изображают объекты или явления, существенно протяжённые в масштабе карты, однако имеющие пренебрежимо малую ширину (обычно меньше 1 мм). Например, на мелко- и среднемасштабных картах малые реки, магистральные нефтегазопроводы, воздушные линии электропередачи, автомобильные и железные дороги обычно изображаются линиями.

Рис. 5.2. Некоторые стандартные линейные условные знаки, применяемые для составления топографических карт в Российской Федерации

Каждый линейный условный знак на карте повторяет некоторую линию (ломаную или кривую), дополнительно характеризуясь типом знака, толщиной и цветами отображения.

Линейные условные знаки в некоторых случаях могут включать в себя в качестве составляющих частей точечные условные знаки, которые размещаются вдоль отображаемой линии через определённое расстояние либо в особых характерных точках, в частности в узлах отображаемой ломаной. При этом точечные условные знаки могут поворачиваться вместе с линией либо быть все одинаково ориентированы.

Например, воздушная ЛЭП может быть описана ломаной, вершины которой представляют опоры, а отрезки – пролёты между опорами. Линейный условный знак, описывающий эту ЛЭП, может включать в себя точечные условные знаки опор, при этом пролёты между опорами будут изображены обычными отрезками прямых.

Площадными условными знаками (рис. 5.3) на карте изображают *регулярные* объекты или явления, существенно протяжённые в масштабе карты и не представимые точечными или линейными условными знаками. Термин «регулярные» означает, что внешний вид площадного условного знака не зависит от порядка задания точек в контуре объекта. Те условные знаки, которые не являются регулярными, обычно относят к *специальным условным знакам* – особому подвиду площадных знаков (см. ниже).

Рис. 5.3. Некоторые стандартные площадные условные знаки, применяемые для составления топографических карт в Российской Федерации

Каждый площадной условный знак на карте заполняет некоторую замкнутую область и дополнительно характеризуется типом, его размером и цветами отображения.

Площадные условные знаки состоят из некоторого специального рисунка, равномерно заполняющего замкнутую область на карте. В ряде случаев этот рисунок может состоять из точечных условных знаков, которые с определённой регулярностью заполняют всю отображаемую область.

Специальными условными знаками (рис. 5.4) на карте изображают такие объекты или явления, которые не удаётся представить обычными площадными условными знаками. Например, специальными условными знаками на картах отображают различные виды откосов. Откосы, хоть и занимают на карте некоторую область и имеют некоторую границу, к обычным площадным знакам не относятся, так как при задании формы откоса на карте необходимо дополнительно указать, какие отрезки контура откоса определяют его верхнюю границу откоса, а какие – нижнюю. Эта информация не может быть сохранена в обычной модели многоугольника.

Рис. 5.4. Некоторые стандартные специальные условные знаки, применяемые для составления топографических карт в Российской Федерации

Помимо точечных, линейных, площадных, в геоинформатике к категории условных знаков иногда также относят *текстовые условные знаки* (рис. 5.5), которые включают в себя описание способа представления текстовых надписей на карте.

Текст Текст Текст Текст **Текст**
Текст **Текст** Текст Текст **Текст**
Текст Текст Текст Текст **Текст**

Рис. 5.5. Некоторые текстовые условные знаки, применяемые для составления карт

Каждый текстовый условный знак характеризуется текстом надписи, а также типом, размером и цветом шрифта, используемым для отображения надписей. Кроме того, текстовый условный знак характеризуется углом наклона либо линией, вдоль которой должна быть уложена надпись.

На рис. 5.6 показан фрагмент типичной топографической карты, демонстрирующий применение различных условных знаков.

Одной из особенностей условных знаков, используемых в традиционной картографии, является то, что их выбор и размещение на карте недостаточно формализованы и очень многое зависит от индивидуальных предпочтений и опыта картографа. Именно поэтому, а также из-за технических сложностей программирования многие распространённые ГИС обладают достаточно скудными возможностями по отображению условных знаков, не позволяющими создавать карты в полном соответствии с существующими стандартами составления картографических материалов.

В геоинформационных системах используется несколько различных способов для создания условных знаков.

Точечные условные знаки задают следующими способами (рис. 5.7):

1. *Простые стандартные фигуры*, такие как круги, квадраты, ромбы, треугольники, перекрестия. Этот способ позволяет быстро отображать точечные объекты на экран, и, несмотря на то, что он не соответствует нормам картосоставления, он реализован в большинстве ГИС.

Рис. 5.6. Фрагмент топографической карты, демонстрирующий применение различных условных знаков

Рис. 5.7. Различные способы задания точечных условных знаков в ГИС

2. *Стандартные стрелки*. Этот способ используется для отображения точечных событий и объектов, имеющих определённую ориентацию в пространстве. Для стрелок задаётся тип, размер, длина и угол поворота. Этот способ применяется во многих ГИС.

3. *Растровые изображения*. Такие условные знаки задаются в виде прямоугольного растра, при этом некоторые пиксели помечаются как про-

зрачные. Достоинством этого способа является простота задания условных знаков. К недостаткам же можно отнести: а) пиксельный характер изображения, заметный при увеличении карты (этого можно избежать, только существенно увеличив размер растра); б) технические сложности плавного масштабировании и поворота растров, а также отображения прозрачных частей растра; в) низкая скорость вывода растров по сравнению с выводом векторных рисунков. Тем не менее в последнее время благодаря развитию программно-аппаратных технологий работы с растрами эти недостатки практически нивелировались. Этот способ реализован во многих ГИС.

4. *Символы масштабируемых шрифтов Windows* (OpenType, TrueType, Type 1). Такие условные знаки состоят из нескольких символов шрифтов, последовательно наложенных друг на друга, и каждый из них характеризуется своим индивидуальным размером, цветом, углом поворота и смещением относительно других символов. Главным достоинством является высокая скорость вывода и качество получаемых условных знаков на экране компьютера, так как изображение символов на экране осуществляется стандартными средствами Windows, обеспечивающими сглаживание лестничных эффектов символов. Недостатком же метода является сложность создания условных знаков для обычных пользователей ГИС, так как для этого нужно создавать новые символы шрифтов Windows с помощью специальных программ редактирования шрифтов. Этот способ реализован, например, в ArcGIS.

5. *Векторные рисунки*, создаваемые в специализированных векторных редакторах условных знаков. Данный способ является наиболее гибким, поскольку а) векторные изображения рисуются быстрее, чем другими способами; б) качество изображения на печати (но не на экране) является более высоким, нежели в других способах; в) позволяет пользователю быстро и удобно создавать новые условные знаки. Этот способ реализован, например, в технологии ex-шрифтов, используемой системой IndorGIS.

6. *Метафайлы*. Условные знаки задаются в виде векторных изображений, сохранённых в формате Windows Metafile. Этот способ является достаточно быстрым и качественным, однако неудобен для пользователя, если он хочет создать новые условные знаки.

7. *Многослойные условные знаки*, состоящие из знаков, заданных разными вышеприведёнными способами. Этот способ используется, например, в ArcGIS, а также в ряде других ГИС.

Линейные условные знаки задают такими способами (рис. 5.8):

1. *Простые стандартные линии*, отрисовка которых встроена в Windows (реализована в Windows GDI). Это сплошные, штриховые, пунктирные, штрихпунктирные и штрих-штрихпунктирные линии. При этом только сплошные линии могут отображаться не единичной толщиной. Этот способ позволяет быстро отображать линейные объекты на экране, однако он не соответствует нормам создания картографических материалов. Способ реализован в большинстве ГИС.

Рис. 5.8. Различные способы задания линейных условных знаков в ГИС

2. *Штриховые линии*, в которых можно задавать толщину и длину штрихов, а также промежутки между ними. Этот способ немного улучшает изобразительные возможности ГИС, но не решает проблемы отображения полноценных условных знаков. Этот способ реализован во многих ГИС.

3. *Рубленые линии.* Вдоль отображаемой линии с определённой периодичностью рисуются небольшие отрезки под заданным углом к линии. Рубленые линии характеризуются размером и формой маленьких отрезков, а также промежутками между ними. Данный способ реализован только в некоторых современных ГИС.

4. *Точечные условные знаки,* повторяемые вдоль линии с определённой периодичностью, а также отдельные знаки, повторяемые на концах линии. Этот способ реализован во многих современных ГИС.

5. *Многослойные условные знаки*, состоящие из знаков, заданных разными вышеприведёнными способами. Этот способ используется, например, в ArcGIS, а также в ряде других ГИС.

Основная проблема при компьютерном изображении линейных условных знаков заключается в изображении концов линий и мест перегиба. Дело в том, что для многих условных знаков, применяемых в картографии, есть разнообразные строго не формализованные ограничения, например, если линейный условный знак является штриховой линией, то её промежутки не должны приходиться на концы и точки поворота отображаемой линии. Именно поэтому многие линейные условные знаки на реальных картах имеют неформальную (не строго периодическую) структуру.

Рис. 5.9. Различные способы задания площадных условных знаков в ГИС

Площадные условные знаки задают такими способами, как (рис. 5.9):

1. *Одноцветная закраска*. Отображаемая область закрашивается одним цветом. Этот способ имеется во всех ГИС.

2. *Градиентная закраска*. Отображаемая область заполняется плавным переходом цветов в соответствии с некоторым цветовым шаблоном. Этот способ реализован, например, в ArcGIS.

3. *Закраска по шаблону*. Задаётся некоторая матрица размером 8×8, каждый элемент которой имеет значение 0 или 1. При отрисовке вся область заполняется такими шаблонами попиксельно, используя два цвета для отрисовки значений 0 и 1 в матрице. В этом способе нельзя масштабировать рисунок закраски, а это приёмлемо только для изображения пространственных данных на экране компьютера, так как на принтере пиксели настолько малы, что рисунок на печати будет выглядеть как обычная одноцветная закраска. Недостатком является также то, что можно использовать только два цвета. Способ во многом устарел, но по-прежнему имеется во многих ГИС.

4. *Текстурная закраска*. Этот способ является логическим развитием предыдущего, позволяя задать *текстуру* – произвольное растровое изображение, которым будет заполнена отображаемая область на карте. В отличие от предыдущего способа, текстуры могут масштабироваться. Недостатком данного способа является то, что при определённом увеличении становятся видны отдельные пиксели текстуры. Этот способ сейчас используется во многих ГИС.

5. *Заполнение точечным условным знаком*. Заданный произвольный точечный условный знак размножается внутри отображаемой области. Если точечный условный знак попадает на границу рисуемой области, то в зависимости от настроек он может либо не рисоваться совсем, либо отсекаться вдоль границы рисуемой области. Этот способ сейчас реализован во многих ГИС.

6. *Заполнение параллельными линиями*. Отображаемая область заполняется параллельными линиями под некоторым углом и на некотором расстоянии друг от друга. Каждая из параллельных линий определяется как некоторый линейный условный знак. Этот способ реализован, например, в ArcGIS.

7. *Многослойные условные знаки*, состоящие из знаков, заданных разными вышеприведёнными способами. Этот способ используется, например, в ArcGIS, а также в ряде других ГИС.

В заключение отметим, что все условные знаки бывают *масштабируемыми* и *немасштабируемыми*. Для первых размер задаётся в единицах системы координат карты, а потому при увеличении изображения размер знака на экране пропорционально увеличивается. В немасштабируемых знаках размер задаётся в некоторых единицах (например, в миллиметрах; это удобно, если карта готовится для печати) или в системе координат экрана (в пикселях), а потому знак на экране изображается всегда одного размера вне зависимости от текущего масштаба отображения.

В большинстве ГИС (например, в ArcGIS) все условные знаки являются немасштабируемыми. В некоторых ГИС (например, в IndorGIS) условные знаки могут быть масштабируемыми.

5.3. Визуализация векторных данных

Большинство визуализаторов векторных данных (так же как и условные знаки) бывают масштабируемыми и нет. Если они масштабируются, то при увеличении размера карты на экране будут пропорционально увеличиваться и отображаемые размеры условных знаков. Если они не масштабируются, то их размер на экране будет всегда одинаковым вне зависимости от текущего масштаба изображения.

Рассмотрим самые распространённые виды визуализаторов векторных данных.

1. *Визуализаторы одинаковым условным знаком*. Эти визуализаторы являются самыми простыми. Здесь все пространственные объекты отображаются одинаково – одним и тем же условным знаком (рис. 5.10).

2. *Визуализаторы по категориям*. Для использования этого визуализатора необходимо указать некоторый атрибут, имеющийся у всех отображаемых объектов. После этого ГИС анализирует весь набор пространственных данных и для каждого возможного значения указанного атрибута задаёт некоторый условный знак. Затем пользователь может изменить условные знаки, которыми будут отображаться пространственные объекты, имеющие определённые значения атрибута.

Рис. 5.10. Пример отрисовки карты мира одинаковыми условными знаками (страны, города и линии градусной сетки отображаются одинаковыми условными знаками)

В качестве демонстрации возможностей визуализации по категориям на рис. 5.11 показан пример отрисовки карты мира. Там был взят набор пространственных данных со странами мира, для которых указан атрибут с именами стран.

3. *Визуализатор по диапазонам*. В этом визуализаторе, как и в предыдущем, пользователем задаётся некоторый атрибут. При этом, однако, не каждому возможному значению этого атрибута ставится в соответствие отдельный условный знак, а только некоторым диапазонам значений этого атрибута.

Например, на рис. 5.11 города на карте мира отображаются визуализатором по диапазонам. В качестве классифицирующего атрибута взят атрибут населения городов. Все города были разделены на две группы: 1) города с населением в диапазоне от 0 до 999 999 чел. и 2) города с населением в диапазоне от 1 000 000 до 25 000 000 чел. Этим двум диапазонам были сопоставлены два разных условных знака соответственно в виде малого и большого кругов.

4. *Визуализатор по условным выражениям*. Данный способ является логическим развитием предыдущего. В этом способе можно указать логические выражения над атрибутами пространственных объектов и какие условные знаки будут соответствовать этим атрибутам.

Рис. 5.11. Пример отрисовки карты мира разными условными знаками (страны, города и линии градусной сетки рисуются разными знаками)

Например, на рис. 5.11 линии градусной сетки, кратные 30°, более толстые, чем все остальные. Для этого должно быть задано примерно следующее выражение: (DEGREE mod 30 = 0), где DEGREE – это атрибут с широтой и долготой соответственно горизонтальных и вертикальных отрезков градусной сетки.

5. *Визуализатор подписями*. Он позволяет размещать текстовые надписи около объектов. Для этого должны быть указаны некоторый атрибут или выражение над атрибутами, значения которого необходимо вывести около соответствующих векторных объектов; также должны быть указаны параметры шрифта (имя, размер, стиль и цвет). Кроме того, обычно можно указать, чтобы повторяющиеся надписи не выводились на экране, а надписи не перекрывались друг другом (рис. 5.12).

6. *Визуализатор диаграммами*. Он позволяет визуально анализировать распределение по карте выбранных параметров пространственных объектов. При этом необходимо указать несколько атрибутов объектов, которые будут использоваться для построения диаграмм (рис. 5.13).

7. *Визуализатор точками плотности*. Разбросанные случайным образом по полигону с какой-то плотностью некоторые точечные условные знаки (обычно это маленькие кружочки) позволяют в ряде случаев наглядно представить некоторые характеристики объектов, например плотность населения стран (рис. 5.14).

Рис. 5.12. Пример визуализации подписями
(подписи городов на карте мира)

Рис. 5.13. Пример отрисовки диаграммами
(площадь диаграмм показывает население субъектов Российской Федерации,
а сегменты диаграмм – соотношение мужского и женского населения)

8. *Визуализатор сплайнами*. Визуализация полилиний и полигонов стандартным способом в виде ломаных не всегда позволяет получить адекватные визуальные результаты, когда этими геометрическими фигурами представляются объекты, имеющие гладкую природу. В этом случае фигуры можно сгладить сплайнами (рис. 5.15).

Рис. 5.14. Пример отрисовки точками плотности
(плотность населения в разных странах мира)

Рис. 5.15. Пример отрисовки сплайнами рек и дорог
(слева линии рисуются прямыми, справа – сглаженными линиями)

Кроме вышеприведённых визуализаторов, некоторые ГИС имеют ещё другие, как правило, предназначенные только для визуального оформления карт. Например, в IndorGIS имеются визуализаторы для псевдообъёмной визуализации (рис. 5.16).

В заключение отметим, что во всех визуализаторах имеются различные параметры, значения которых должен заранее указать пользователь (например, в визуализаторе фиксированным условным знаком нужно указать размер условного знака). Некоторые же ГИС позволяют такие значения не фиксировать, а брать из указанного атрибута или вычислять на основе множество атрибутов отрисовываемых объектов.

Рис. 5.16. Пример псевдообъёмной визуализации

5.4. Визуализация растровых данных

Растровые пространственные данные представляются в виде матрицы, в каждой ячейке (*пикселе*) которой хранится одно или несколько чисел. Количество хранящихся в каждом пикселе чисел определяется количеством *каналов*, из которых состоит растр. На практике наиболее часто используется 1 или 3 канала (однако каналов может быть 2, 4 и даже больше). Обычно 3 канала представляют отдельные RGB-составляющие видимого человеческим глазом света – красную (R), зелёную (G) и синюю (B). В случае использования только одного канала в каждом пикселе хранится некоторый код, интерпретация которого зависит от предметной области (очень часто этому коду с помощью *палитры* растра сопоставляется некоторый цвет). Ниже мы рассмотрим самые основные виды визуализаторов растровых данных.

1. *Композитный визуализатор*. Этот визуализатор используется для отображения растров, имеющих несколько каналов. При этом пользователь должен указать, какие из каналов растра будут соответствовать красному, зелёному и синему цвету при формировании цвета выводимого пикселя.

Применение композитного визуализатора является очевидным в случае, если растр содержит три канала с RGB-составляющими цвета. Однако он может применяться и для других каналов. Например, данные ДЗЗ, поступающие со спутников, зачастую содержат множество каналов с данными как в видимом, так и в ультрафиолетовом, инфракрасном или радиодиапазоне волн. Такие данные отображают с помощью композитного визуализатора, выбирая для отображения те или иные каналы. Про изображение, полученное этим способом, говорят, что оно «показано в условных цветах», так как цвета изображения не имеют прямого отношения к воспринимаемым человеческим глазом цветам (рис. 5.17).

Рис. 5.17. Пример композитной визуализации ДДЗ в условных цветах

2. *Визуализатор по уникальным значениям*. Этот визуализатор позволяет отображать данные только одного канала растра. В нём всем возможным значениям в пикселях растра ставятся в соответствие цвета, которыми и отображаются соответствующие пиксели (рис. 5.18). Таблица такого соответствия называется *палитрой*.

Рис. 5.18. Пример визуализации растра с помощью палитры

3. *Визуализатор по диапазонам значений*. Этот визуализатор, так же как и предыдущий, позволяет отображать данные только одного канала растра. При этом все возможные значения в пикселях растра разбиваются на диапазоны, которым ставятся в соответствие определённые цвета. При отображении растра для каждого его пикселя определяется диапазон, в который попадает значение пикселя, а следовательно, определяется и соответствующий ему цвет для отображения на карте.

4. *Визуализатор с растяжением значений вдоль цветового ряда*. В нём каждое значение в пикселях растра масштабируется и приводится к вещественному значению в диапазоне от 0 до 1. Полученная величина определяет значение цвета вдоль некоторого непрерывного цветового ряда. На рис. 5.22,*а* приведён пример визуализации растра, представляющего модель рельефа, в каждом пикселе которого записана высота соответствующей точки на поверхности Земли в некоторой системе высот.

5.5. Визуализация транспортных сетей

Напомним, что транспортная сеть состоит из узлов, рёбер и маршрутов (см. п. 2.4). При отображении объектов транспортной сети на карте можно применять обычные визуализаторы, используемые для векторных данных. Однако в некоторых ГИС имеются специфичные способы визуализации для транспортных сетей. Например, на рис. 5.19 приведён пример улично-дорожной сети города, на которой дуги сети отображаются линиями со стрелками на концах, показывающими допустимые направления движения. Там же представлены маршруты общественного транспорта, которые обозначены линиями со стрелками, идущими вдоль дорог.

Рис. 5.19. Фрагмент улично-дорожной сети города с маршрутами транспорта

В некоторых случаях информация о транспортной сети может отображаться иными способами, например следующими:

1. *Картограммы транспортных потоков* (рис. 5.20). В этом визуализаторе дуги сети отображаются линиями одинакового цвета, но разной толщины, которая пропорциональна транспортному потоку на соответствующей дуге сети. Транспортным потоком может быть количество автомобилей, проехавших по дороге за некоторое время (например, за час или сутки), количество пассажиров, перевезённых по указанной дуге, или что-то иное.

Рис. 5.20. Пример визуализации транспортных потоков

Рис. 5.21. Пример визуализации межрайонных связей транспортных районов

2. *Межрайонные связи* – это картограмма укрупнённых транспортных потоков между транспортными районами. Между серединами транспортных районов проводятся линии, толщина которых делается пропорциональной величине обобщённого транспортного потока по всем дорогам между двумя районами (рис. 5.21).

5.6. Визуализация поверхностей

Поверхности в ГИС обычно представляются двумя способами – в виде регулярной или нерегулярной сети отсчётов, то есть с помощью растровой или триангуляционной модели.

Существует несколько основных способов отображения поверхностей на карте:

1. *Отображение цветами по высотам*. Каждая точка на карте отображается цветом, который выбирается исходя из высоты соответствующей точки на поверхности (рис. 5.22,*а*).

2. *Светотеневое отображение* (способ «*отмывки рельефа*»). В этом способе каждая точка на карте отображается цветом так, чтобы создавался эффект «выпуклого» трёхмерного изображения (рис. 5.22,*б*).

(*а*) (*б*)

Рис. 5.22. Отображение модели рельефа: *а* – цветами по высотам; *б* – светотенями

3. *Отображение изолиниями*. Этот способ является наиболее распространённым в традиционной («бумажной») картографии. На карте отображается множество *изолиний* – линий одинаковой высоты, проводимых через разные высотные отметки с некоторым шагом (рис. 5.23,*а*).

4. *Отображение изоконтурами*. *Изоконтуры* – это области на карте, в которых высоты распределены в некотором диапазоне. По сути, изокон-

туры – это области между смежными изолиниями. Данный способ отображения является компьютерным обобщением способа изолиний, позволяя в ряде случае более наглядно показать распределение высот на карте. При отображении изоконтуров на карте их часто раскрашивают в зависимости от высот отдельных контуров (рис. 5.23,*б*).

(*а*) (*б*)

Рис. 5.23. Отображение модели рельефа: *а* – изолиниями; *б* – изоконтурами

(*а*) (*б*)

Рис. 5.24. Отображение модели рельефа изоклинами в виде: *а* – линий; *б* – контуров

5. *Изображение изоклинами*. *Изоклины* – это линии одинакового уклона на поверхности, построенные с определённым шагом. Уклон в точке поверхности измеряется как отклонение нормали к поверхности в этой точке от вертикали. Уклон может измеряться в градусах, однако наиболее часто он измеряется в процентах или промилле.

Величина уклона поверхности в *процентах* указывает, на сколько метров изменится высотная отметка на поверхности при перемещении вдоль поверхности на 100 м. Например, проценты используются для обозначения уклона на дорожных знаках. Так, значение уклона 5% означает перепад высот в 5 м на 100 м дороги.

Аналогично измеряется величина уклона поверхности в *промилле*, только здесь за основу берётся перемещение по поверхности на 1000 м. Например, уклон дороги в 20 ‰ означает перепад высот в 20 м на 1000 м дороги.

В ГИС изоклины, как и изолинии, могут отображаться как отдельные линии (рис. 5.24,*а*), так и в виде замкнутых контуров (рис. 5.24,*б*).

6. *Отображение векторами уклонов*. Этот способ визуализации обычно используется при работе в крупном масштабе, когда достаточно визуально определить направление и угол уклона поверхности. Обычно в центре каждой ячейки поверхности (в каждой ячейке регулярной модели или в каждом треугольнике нерегулярной) ставится стрелка, которая направлена в сторону наклона поверхности, а её длина показывает степень наклона: чем длиннее стрелка, тем больше уклон (рис. 5.25,*а*). Иногда вместо длины стрелки варьируется её толщина: чем толще стрелка, тем больше уклон.

(*а*) (*б*)

Рис. 5.25. Отображение модели рельефа:
а – векторами уклонов; *б* – экспозициями склонов

7. *Отображение экспозициями склонов*. Данный способ позволяет визуально определить, в какую сторону света наклонена поверхность Земли. Обычно все стороны света делят на 8 частей секторами по 45° (север, юг, запад, восток, северо-запад, северо-восток, юго-запад и юго-восток), а затем для каждой ячейки модели поверхности определяют направление уклона поверхности и выбирают один из 8 цветов отображения ячейки (рис. 5.25,*б*).

5.7. Трёхмерная визуализация

Трёхмерная визуализация в ГИС является дополнительным иллюстративным средством, позволяющим интерактивно осмотреть цифровую модель местности с эффектом присутствия.

Обычная ЦММ зачастую не несёт в себе достаточно информации для создания полноценного трёхмерного изображения. Такая ЦММ, дополненная вспомогательными сведениями, называется *виртуальной моделью местности* (*ВММ*) или иногда *сценой*.

В настоящее время виртуальные модели местности отображаются на экране компьютера с помощью стандартных средств, имеющихся во всех современных компьютерах. Почти все современные компьютеры содержат в своём составе видеокарты, позволяющие работать в трёхмерном режиме. Почти все операционные системы содержат программные библиотеки для трёхмерной визуализации, среди которых наиболее известны OpenGL и DirectX. Использование той или иной программной библиотеки во многом накладывает определённые ограничения. В первую очередь, это ограничения по скорости, качеству и детальности визуализации.

Виртуальная модель местности состоит из следующих видов данных:

1. *Цифровой модели рельефа* (ЦМР) в виде регулярной или нерегулярной сети отсчётов. С точки зрения качества трёхмерной визуализации наилучший результат обычно достигается с помощью нерегулярной (триангуляционной) модели рельефа, особенно при равном числе элементов ЦМР. Однако часто применяется и регулярная (растровая) модель, особенно для мелкомасштабных карт.

Следует знать, что скорость трёхмерной визуализации (количество кадров, отрисовываемых ГИС за 1 секунду) модели рельефа обычно зависит только от числа элементов ЦМР, а потому выбор типа ЦМР обычно делается в пользу нерегулярной триангуляционной модели, несмотря на то, что файл нерегулярной модели занимает на диске существенно больше места, нежели файл аналогичной регулярной модели.

На рис. 5.26 приведён пример трёхмерного изображения триангуляционной модели рельефа, а на рис. 5.27 – пример регулярной модели.

2. *Растровые изображения земной поверхности*. Это может быть космический или аэрофотоснимок, сканированное изображение карты либо изображение двумерной карты, автоматически сгенерированной обычными средствами ГИС. Такие растровые изображения накладываются (натягиваются) поверх модели рельефа методом *текстурирования* (рис. 5.28).

(*а*) (*б*)

(*в*)

Рис. 5.26. Трёхмерное отображение триангуляционной модели рельефа:
а – триангуляция; *б* – триангуляционная модель рельефа;
в – трёхмерное отображение рельефа

(*а*) (*б*)

Рис. 5.27. Трёхмерное отображение регулярной модели рельефа:
а – регулярная сеть; *б* – трёхмерное отображение рельефа

3. *Векторные данные*, которые путём выдавливания по вертикали приобретают объёмный вид. Например, слой зданий, представленный в виде полигонов, путём выдавливания вверх на некоторую высоту (в зависимости от значений атрибутов) приобретает вид многогранников. Стороны этих зданий могут быть окрашены одним цветом, либо на них можно нанести текстуру (см. рис. 5.28).

4. *Подписи объектов*. Трёхмерные подписи бывают двух видов: плоские и трёхмерные. *Плоские подписи* рисуются поверх готового трёхмерного изображения вблизи интересующих объектов. При этом недостатком является то, что такие подписи могут взаимно перекрываться, не давая читать текст, и не всегда ясно, к какому объекту они относятся.

Рис. 5.28. Трёхмерное изображение местности с натянутым на рельеф аэрофотоснимком и векторными данными (здания)

Трёхмерные подписи – это, по сути, полноценные трёхмерные объекты, являющиеся частью трёхмерной сцены. Трёхмерные подписи обычно подобны дорожным знакам, установленным в некоторых точках местности, но при этом они могут поворачиваться к зрителю. При необходимости можно приблизиться к этой подписи и рассмотреть её.

5. *Трёхмерные объекты специального назначения*. Обычно эти объекты импортируются из других программ в виде готовых моделей, представленных в некотором стандартном формате, при этом наиболее часто используются форматы 3D Studio (файлы с расширением .3DS) и X-файлы (файлы с расширением .X). Таким способом можно, например, импортировать детальную трёхмерную модель здания и установить её в некотором месте на карте, при этом здание появится в окне трёхмерного вида.

Некоторые геоинформационные системы предоставляют возможности автоматического создания трёхмерных моделей стандартных видов объектов, включая здания (имеющие крыши со скатами), автомобили, самолёты, трубопроводы, дорожные знаки, ограждения, заборы, зелёные насаждения и пр. (рис. 5.29).

В настоящее время наиболее часто используются следующие способы просмотра виртуальных моделей местности:

1. *Статический просмотр ВММ с определённой точки зрения.* Данный способ наиболее прост и не требует больших мощностей компьютера.

Рис. 5.29. Трёхмерное изображение местности с дорогой, зданиями, путепроводом и зелёными насаждениями

2. *Облет ВММ в реальном времени (в режиме самолёта)*. Этот способ позволяет наиболее полно осмотреть местность, однако он требует высокой мощности видеокарты и компьютера в целом, так как для обеспечения эффекта присутствия изображение должно пересчитываться в реальном времени со скоростью не менее 10–20 кадров в секунду. В этом режиме пользователь может передвигаться по трёхмерной сцене, используя клавиатуру или мышку.

3. *Объезд ВММ в реальном времени (в режиме автомобиля или пешехода)*. Данный способ, по сути, эквивалентен предыдущему, за исключением того, что в этом случае высота точки зрения над поверхностью фиксирована.

4. *Заранее записанный видеофайл*. Предыдущие два способа не всегда можно полноценно использовать из-за высоких требований к скорости работы видеокарты и компьютера в целом. Именно поэтому во многих трёхмерных ГИС существует возможность создания видеоролика, показывающего изображение вдоль некоторой заранее заданной траектории полёта. ГИС просчитывает отдельные кадры изображения и сохраняет их в видеофайл, например в формате AVI. После этого полученный видеоролик можно прокручивать уже любыми средствами просмотра видеофильмов на обычных (не самых мощных) компьютерах.

Отметим, что большинство ГИС не позволяет работать с реальными большими ВММ в реальном режиме времени. Это обычно связано с техническими особенностями реализации ГИС, когда ВММ целиком загружается в оперативную и видеопамять.

В настоящее время средства работы с ВММ имеются во многих ГИС, однако в большинстве с существенными ограничениями. Среди множества решений для работы с ВММ можно отметить программный продукт SiteBuilder 3D (производитель MultiGen-Paradigm, США), с помощью которого можно создавать виртуальные модели местности с огромным количеством объектов и высокой степенью детализации. Этот продукт реализован как программная надстройка для ArcView GIS 3.2 и для ArcGIS 8.x/9.x.

SiteBuilder 3D по обычным (плоским) данным в ГИС самостоятельно создаёт необходимую ВММ с дополнительными структурами данных, позволяющими выполнять визуализацию трёхмерных карт в реальном режиме времени. На рис. 5.30 приведён пример ВММ, построенного с помощью SiteBuilder 3D на основе карты в ArcView GIS 3.2. В левой части экрана показана исходная двумерная карта, в правой – соответствующее трёхмерное изображение. Для удобства навигации в пространстве в левой части экрана двумя линиями показывается угол обзора.

Рис. 5.30. Трёхмерное изображение местности, построенное с помощью программы SiteBuilder 3D в среде ArcView GIS 3.2

5.8. Картографические анимации

Карты в ГИС являются прямым компьютерным аналогом бумажных карт, однако компьютеры также позволяют использовать новые изобразительные возможности, не имеющие аналогов в традиционной картографии. Один из таких инструментов – функция трёхмерной визуализации, рассмотренная в предыдущем разделе. В данном разделе мы проанализируем другой инструмент, позволяющий создавать *динамические* (*двигающиеся*, *анимированные*) изображения картографических объектов.

Динамические карты можно разделить на следующие виды:

1. *Оперативные карты*, меняющиеся в соответствии с изменением геометрических или атрибутивных характеристик пространственных объектов. Такие изображения обычно предназначены для оперативного мониторинга состояния объектов в реальном режиме времени.

Типичным применением оперативных карт является отслеживание положения объектов, движущихся на местности. Это могут быть, например, автомобили оперативных служб, перемещающиеся по городу. Эти машины должны быть снабжены GPS-приёмниками и периодически передавать информацию в некоторый компьютерный центр с уведомлением об изменении своего положения в пространстве. В этом центре информация о положении автомобилей должна сохраняться в базе данных. В свою очередь, ГИС должна периодически делать запросы к этой базе данных, извлекать оттуда информацию о положении автомобилей и перерисовывать карту с автомобилями (рис. 5.31).

Рис. 5.31. Схема работы системы, отслеживающей с помощью ГИС положение автомобилей на местности

Ещё одним типичным способом применения оперативных карт является их использование для отображения различной технологической информации, поступающей с разнообразных датчиков с помощью телеметрии. Например, система управления светофорами в городе состоит из электронной карты, на которой отображается состояние всех светофоров, а также средств удалённого управления светофорами.

Светофоры могут как управляться из единого центра, так и самостоятельно изменять своё состояние (например, по нажатию кнопки пешеходом, желающим перейти дорогу). Поэтому на светофорах должны стоять датчики, передающие в центральную базу данных своё состояние. В свою очередь, ГИС должна периодические опрашивать состояние всех светофоров и перерисовывать изображение карты.

Отметим, что такие системы, включающие средства для отображения и изменения состояния объектов, часто относят к классу программных продуктов АСУ ТП (автоматизированные системы управления технологией производства). Эти АСУ ТП, как правило, включают в себя средства для визуального отображения различных параметров объектов на схемах, чертежах, планах. В ряде случаев АСУ ТП могут быть построены на основе ГИС.

Заметим, что, в отличие от предыдущего примера с автомобилями, где менялись геометрические характеристики пространственных объектов (координаты автомобилей на местности), в АСУ ТП геометрия объектов обычно фиксирована, но меняются атрибутивные характеристики. С помощью телеметрии в АСУ ТП снимаются показания с различных приборов и передаются на сервер в базу данных. В свою очередь, ГИС периодически извлекает из базы данных различные атрибуты пространственных объектов и перерисовывает карту (рис. 5.32).

Рис. 5.32. Пример карты, на которой оперативно отображаются состояния светофоров

2. *Карты с анимированными условными знаками*. В таких картах используются особые условные знаки, которые постоянно меняют свой внешний вид. В обычной картографии условные знаки характеризуются формой, размером, цветом, яркостью, ориентацией и внутренней структурой. В анимированных условных знаках эти характеристики постоянно меняются по некоторому закону. При этом дополнительной характеристикой условных знаков становится закон изменения знаков, в т.ч. скорость изменения. Рассмотрим некоторые основные способы анимации условных знаков.

а) *Анимация формы*. Например, на карте страны городá могут быть показаны в виде пульсирующих кружочков. Размер кружочков должен периодически меняться между максимальным размером, пропорциональным населению города, и минимальным (например, составляющим половину от максимального). При этом скорость изменения размера кружочков должна быть пропорциональна среднегодовому приросту населения в процентах. Если прирост населения является отрицательным, то кружочки должны уменьшаться от максимального до минимального размера и затем сразу становиться максимальными. Если прирост населения положительный, то кружочки должны увеличиваться.

б) *Анимация цвета*. В этом способе цвет условного знака периодически меняется от одного значения до другого, при этом скорость пульсации цвета может быть пропорциональна некоторому заданному параметру.

в) *Анимация положения знака*. В этом способе сам условный знак не меняется, но меняется его расположение на карте. Условный знак может перемещаться по некоторым траекториям (например, вдоль преобладающих направлений перемещения воздушных масс) либо выполнять случайные перемещения около одного места. Например, такими условными знаками, размещёнными на карте у населённых пунктов, можно описать уровень миграции. При этом частота случайных колебаний условного знака должна быть пропорциональна объёму миграции на душу населения, а амплитуда – средней дальности.

3. *Анимированные двумерные карты динамики*. Такие карты состоят из последовательности карт, содержащих один и тот же набор пространственных объектов (точечных, линейных или площадных), но с разными геометрическими (отражение *динамики положения*) и атрибутивными (отражение *динамики состояния*) характеристиками. Таким способом, например, можно показать во времени динамику движения фронтов воздушных масс по поверхности Земли, динамику изменения загрязнений окружающей среды.

Такие карты динамики можно просматривать по отдельным кадрам, выбирая определённые дату и время, либо с помощью ГИС можно заранее просчитать все кадры изображения и сохранить их в видеофайл (файл с

расширением .AVI). Такой файл в дальнейшем можно просматривать любой стандартной программой проигрывания видеофильмов.

4. *Анимированные анаморфозы*. Данный вид анимации можно рассматривать как разновидность предыдущего вида – карт динамики, показывающих анаморфическими средствами изменение различных параметров во времени. Например, так можно создать видеофильм, показывающий изменение населения Земли в различных регионах во времени.

5. *Анимированные двумерные карты движения*. В таких картах все объекты являются фиксированными и не меняются во время анимации. Меняется только точка зрения на карту (масштаб изображения и координаты центра карты на экране). Последовательность кадров, соответствующих различным точкам зрения, сохраняется с помощью ГИС в видеофайл для дальнейшего просмотра. Такие анимированные карты движения обычно используются в презентационных целях.

6. *Анимированные трёхмерные карты динамики*. Такие карты, как и в двумерном случае, позволяют анимировать фиксированный набор пространственных объектов, меняющих свои геометрические или атрибутивные характеристики. Основное преимущество трёхмерной анимации перед двумерной заключается в более полноценной возможности анимировать поверхности и другие трёхмерные объекты.

7. *Анимированные трёхмерные карты движения*. По сути, этот способ анимации рассмотрен в предыдущем разделе, где описаны функции облёта и объезда трёхмерной модели местности.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое тематическая карта в ГИС?
2. Какие виды условных знаков бывают в картографии и какими способами они создаются в ГИС?
3. Какие способы визуализации векторных данных есть в ГИС?
4. Какие способы визуализации растровых данных есть в ГИС?
5. Какие способы визуализации транспортных сетей есть в ГИС?
6. Какие способы визуализации поверхностей есть в ГИС?
7. Какие способы трёхмерной визуализации есть в ГИС?
8. Что такое картографическая анимация, каково её назначение? Какие виды анимации бывают в ГИС?

Глава 6. Пространственный анализ

6.1. Измерительные операции

К *измерительным операциям* (*картометрическим функциям*) в ГИС относят функции, позволяющие определить различные геометрические характеристики объектов, явлений или пространства по карте (в проекции или по поверхности), такие как расстояния, площади, азимуты и др.

Все измерения в ГИС можно выполнять двумя способами: а) указывая объекты, характеристики которых следует получить, и б) интерактивно задавая точки измеряемой геометрической фигуры.

Рассмотрим основные *измерительные операции*, которые можно выполнять в геоинформационных системах.

1. *Определение координат точки на карте*. Чтобы воспользоваться этой функцией, в большинстве ГИС не требуется переключаться в какой-то специальный режим работы. При перемещении мышки по карте в строке статуса высвечиваются координаты указанной курсором точки. При этом в строке статуса может отображаться и высотная отметка этой точки, если в ГИС некоторая поверхность выбрана в качестве текущей (рис. 6.1).

Координаты точек, отображаемые в ГИС, обычно показываются в исходных координатах объектов на карте (например, в градусах), однако могут и в системе координат проекции (например, в метрах в проекции Гаусса–Крюгера).

Рис. 6.1. Определение координат точек на местности

2. *Измерение расстояний, азимутов и углов*. Пользователь должен указать на карте в ГИС последовательность точек ломаной, длину которой надо вычислить. ГИС выводит в строке статуса общую длину ломаной, а также длину последнего сегмента ломаной. Кроме того, для последнего сегмента может выводиться азимут и угол поворота относительно предыдущего сегмента (рис. 6.2).

Рис. 6.2. Измерение расстояний

3. *Измерение площадей и периметров*. Как и в предыдущем способе, пользователь должен задать в ГИС вершины некоторого многоугольника. При этом в строке статуса ГИС будет выводиться площадь и периметр (рис. 6.3).

Рис. 6.3. Измерение площадей

4. *Измерение линейных координат (пикета и смещения) точки относительно трассы*. В этом режиме пользователь должен указать некоторую линию, относительно которой производится определение линейных координат. Далее при перемещении курсора мышки по карте в строке статуса ГИС будет выводиться пикет и смещение указанной точки (рис. 6.4).

В заключение отметим, что некоторые геоинформационные системы предоставляют возможности по измерению расстояний и площадей с учётом формы земной поверхности. При этом вычисления могут происходить либо по поверхности референц-эллипсоида, либо по некоторой цифровой модели рельефа, заданной в виде регулярной или нерегулярной сети.

Рис. 6.4. Измерение линейных координат (определение пикета и смещения)

6.2. Векторный анализ

Под термином «*векторный анализ*» в геоинформатике подразумевается набор инструментов, позволяющих анализировать существующие геометрические объекты и строить новые.

Все операции векторного анализа определены над фигурами трёх типов: точечными, линейными и площадными.

В следующих подразделах мы рассмотрим различные виды операций векторного анализа и их применение на практике.

6.2.1. Анализ отношений

При анализе пространственных объектов часто возникают задачи поиска объектов, касающихся друг друга, являющихся смежными, вложенными или состоящими в каких-то иных отношениях. Например, пусть задана некоторая автомобильная дорога на карте области. По карте земельных участков мы можем определить полосу отвода, в которой находится дорога, и соответствующую охранную зону. Далее мы можем найти все здания, попадающие внутрь соответствующей охранной зоны.

Все операции анализа отношений делятся на три группы:

а) *Бинарные операции выявления отношений* между парой заданных объектов. Результатом таких операций является логическое значение, определяющее, находятся ли два объекта в этом отношении или нет.

б) *Поисковые запросы*, извлекающие все объекты из заданного набора пространственных данных, находящиеся в некотором бинарном отношении с указанным объектом. Результатом этой операции является множество объектов из заданного набора данных, удовлетворяющих указанному соотношению.

в) Операции *пространственного соединения* двух наборов пространственных данных. Результатом этой операции является множество пар объектов, удовлетворяющих некоторому заданному бинарному отношению, причем первые объекты в этих парах должны принадлежать первому набору пространственных данных, а вторые объекты – второму.

Всего выделяют 8 основных видов *бинарных отношений* между пространственными объектами. Далее мы их рассмотрим, а для каждого из них приведём рисунки, комментирующие их для трёх основных типов (в зависимости от размерности) векторных данных: точечных (0-мерных), линейных (1-мерных) и площадных (2-мерных). Для некоторых сочетаний типов фигур описываемые операции не имеют смысла, о чём указывается на рисунках.

Каждое рассматриваемое отношение имеет два аргумента, которые на рисунке обозначены как «Первая фигура» и «Вторая фигура», соответственно на пересечении размещается пример отношения. Все отношения имеют названия в форме глагола (возможно с последующим предлогом), например «Содержит в себе», поэтому отношение следует читать по следующему шаблону: «Первая фигура *содержит в себе* вторую фигуру».

Итак, рассмотрим эти отношения.

1. Отношение *«Совпадает с» (Equals)*. Две фигуры находятся в этом отношении, если они совпадают между собой (рис. 6.5). При этом фигуры считаются совпадающими, если все узловые точки фигур (ломаных или полигонов) имеют совпадающие координаты. Отношение определено только для фигур, имеющих одинаковую размерность.

Рис. 6.5. Отношение «Совпадает с» (Equals)

2. Отношение *«Содержит в себе» (Contains)*. Две фигуры находятся в этом отношении, если вторая фигура находится внутри первой, при этом ни одна точка второй фигуры не должна находиться вне первой (рис. 6.6). Отношение не определено в случае, когда вторая фигур имеет большую размерность, чем первая.

Вариантом этого отношения является «*Полностью содержит в себе*» (*Covers*) , когда вторая фигура не может пересекать границу первой.

Рис. 6.6. Отношение «Содержит в себе» (Contains)

3. Отношение *«Содержится в» (Within, Inside)*. Две фигуры находятся в этом отношении, если первая фигура находится внутри второй, при этом ни одна точка первой фигуры не должна находиться вне второй (рис. 6.7). Отношение не определено в случае, когда вторая фигур имеет меньшую размерность, чем первая. По сути, это отношение является обратным по отношению к предыдущему («Содержит в себе»), то есть надо только поменять местами аргументы отношения.

Вариантом этого отношения является «*Полностью содержится в*» (*Covered By*), когда первая фигура не может пересекать границу второй.

Рис. 6.7. Отношение «Содержится в» (Within)

4. Отношение *«Пересекается с» (Crosses)*. Отношение определено только между линейными и площадными объектами, при этом хотя бы одна фигура должна быть линией. Если обе фигуры являются площадными, то такое отношение называется «Накладывается на» и рассматривается ниже. Две фигуры находятся в этом отношении, если эти фигуры имеют общие точки, то есть две линии должны иметь точку пересечения, а линия и полигон должны пересекаться по некоторой линии (рис. 6.8).

Рис. 6.8. Отношение «Пересекается с» (Crosses)

5. Отношение *«Отделена от» (Disjoint)*. Две фигуры находятся в этом отношении, если обе фигуры не имеют общих точек (рис. 6.9).

Рис. 6.9. Отношение «Отделена от» (Disjoint)

6. Отношение *«Перекрывается с» (Overlaps)*. Две фигуры находятся в этом отношении, если область пересечения этих фигур имеет ту же размерность, что и сами фигуры, то есть эти фигуры имеют общие внутренние точки (рис. 6.10). Отношение определено только для фигур, имеющих одинаковую размерность.

Рис. 6.10. Отношение «Перекрывается с» (Overlaps)

7. Отношение *«Граничит с» (Touches)*. Две фигуры находятся в этом отношении, если эти фигуры соприкасаются только своими границами, но не своими внутренними областями, то есть ломаные могут касаться только своими вершинами, а полигоны – своими контурами (рис. 6.11). Отношение не определено только для двух точечных фигур.

Рис. 6.11. Отношение «Граничит с» (Touches)

8. Отношение *«Касается» (Any Interacts)*. Две фигуры находятся в этом отношении, если эти фигуры имеют общие точки (рис. 6.12).

Рис. 6.12. Отношение «Касается» (Any Interacts)

Помимо бинарных отношений, существуют и иные отношения, например такое *тернарное* (аргументами в котором являются две фигуры и некоторый параметр), как «*На расстоянии*» (*Distance*). В различных вариантах этого отношения требуется, чтобы расстояние между ближайшими точками двух фигур было равно, менее, более, не более или не менее заданной величины.

Как было сказано выше, в поисковых запросах из заданного набора данных извлекаются все фигуры, находящиеся в некотором бинарном отношении с указанной фигурой. Однако наиболее часто на практике используются следующие виды запросов (особенно при интерактивном выделении объектов на карте):

а) *Поиск фигур, вложенных* в заданный прямоугольник, круг или произвольный многоугольник. Найденные объекты должны целиком помещаться внутри заданной фигуры.

б) *Поиск фигур, пересекающихся* с заданным прямоугольником, кругом или произвольным многоугольником. Найденные фигуры должны полностью или хотя бы частично помещаться внутри заданной фигуры.

Также отметим, что среди всех возможных *операций соединения* наиболее часто используются следующие:

а) *Поиск всех пар вложенных многоугольников* среди двух множеств многоугольников, когда многоугольник из первого множества должен войти в многоугольник из второго множества.

б) *Поиск всех пар пересекающихся многоугольников* среди двух множеств многоугольников, когда многоугольник из первого множества должен пересечься с некоторым многоугольником из второго множества.

В заключение отметим, что проверки отношений фигур всегда выполняются с некоторой заданной величиной допуска, при этом точки, координаты которых отличаются на величину, меньшую заданного допуска, считаются совпадающими.

6.2.2. Отсечение и разрезание

Операция отсечения позволяет удалить части пространственного объекта, лежащие вне области отсечения. При этом части, лежащие на границе области отсечения, считаются попадающими внутрь области, а потому не отсекаются. В качестве области отсечения может выступать любой площадной объект, но обычно используются прямоугольники и одноконтурные многоугольники, реже – произвольные многоконтурные многоугольники и круги.

Операция отсечения может быть применена для пространственных объектов любой размерности. Если исходный объект целиком содержится в области отсечения, то операция возвращает исходный объект без изменений. Иначе, при отсечении некоторых частей исходного создаётся новый пространственный объект, который целиком содержится в области отсечения. При этом из-за отсечения от объекта может вообще ничего не остаться, и поэтому операция отсечения не возвратит пустой объект. Если новый объект будет иметь меньшую размерность, чем исходный, то операция отсечения также ничего не возвратит. Иначе операция отсечения возвратит новый объект, имеющий ту же размерность, что и исходный объект.

На рис. 6.13 приведён пример выполнения операции отсечения для фигур различного вида. В качестве примера 0-мерных (точечных) объектов используется мультиточка – фигура, состоящая из нескольких точек.

В ГИС операция отсечения обычно реализуется следующим образом. Пользователь выделяет некоторые объекты на карте и выбирает команду отсечения. Затем ГИС предлагает пользователю интерактивно указать на

Рис. 6.13. Операция отсечения пространственных объектов

карте область отсечения (прямоугольник, многоугольник, окружность), после чего у выделенных фигур ГИС отсекает части, лежащие вне заданной области.

Операция разрезания во многом похожа на отсечение. Эта операция позволяет разрезать некоторый линейный или площадной объект вдоль заданной ломаной, которая не должна самопересекаться. Результатом операции разрезания являются *отрезы слева и справа* – части исходного объекта, оказавшиеся по разные стороны от линии разреза (рис. 6.14).

Рис. 6.14. Операция разрезания пространственных объектов

В ГИС операция разрезания обычно реализуется следующим образом. Пользователь выделяет некоторые объекты на карте и выбирает команду разрезания. Затем ГИС предлагает пользователю интерактивно указать на карте ломаную разрезания, после чего выделенные фигуры ГИС разрезает на части, лежащие слева и справа от заданной ломаной.

6.2.3. Оверлейные операции

Оверлейные операции (*операции наложения, картографической алгебры, алгебры карт*) позволяют вычислять объединения, пересечения или разности отдельных пространственных объектов или сразу двух множеств объектов. Оверлейные операции определены для пространственных объектов всех размерностей, но в одной операции могут участвовать только объекты одной размерности. Результатом операции является новый объект, имеющий ту же размерность, что и исходные объекты, либо пустое множество. Иногда в результате формального выполнения правил оверлейных операций могут возникать фигуры меньшей размерности (например, область пересечения двух граничащих фигур является линией или точкой), чем исходные, но такие фигуры отбрасываются и считается, что операция возвращает пустое множество.

Результатом *операции объединения* двух пространственных объектов является объект, состоящий из всех точек плоскости, которые принадлежат хотя бы одному исходному объекту (рис. 6.15).

Результатом *операции пересечения* двух пространственных объектов является объект, состоящий из всех точек плоскости, которые принадлежат обоим исходным объектам (рис. 6.16).

Рис. 6.15. Операция объединения пространственных объектов

Рис. 6.16. Операция пересечения пространственных объектов

Результатом *операции разности* двух пространственных объектов является объект, состоящий из всех точек плоскости, которые принадлежат первому объекту, но не принадлежит второму (рис. 6.17).

Результатом *операции симметрической разности* двух объектов является объект, состоящий из всех точек плоскости, которые принадлежат первому или второму объекту, но не обоим сразу (рис. 6.18).

Операции построения объединения, пересечения и разности линий и многоугольников присутствуют во многих графических программах, не являющихся ГИС. Однако в ГИС мы имеем дело не просто с геометрическими фигурами, а пространственными объектами, у которых помимо геометрической составляющей, ещё есть атрибуты. Именно поэтому после выполнения оверлеев новые объекты должны иметь атрибуты, значения которых формируются на основе исходных объектов. Новый набор атрибутов обычно является объединением наборов атрибутов исходных объектов. При этом значения новых атрибутов определяются на основании значений исходных атрибутов одним из двух следующих способов:

Рис. 6.17. Операция разности пространственных объектов

Рис. 6.18. Операция симметрической разности пространственных объектов

а) *Значение атрибута просто копируется из исходного объекта*. Если этот атрибут был в обоих исходных объектах, то берётся атрибут из того объекта, площадь которого больше. Такой способ используется, если в атрибуте хранятся не числа (строки, дата, время, логические значения) или числа, не имеющие непрерывной интерпретации (например, код типа земельных угодий).

б) *Значение атрибута меняется пропорционально изменению площади нового объекта по отношению к исходному.*

6.2.4. Буферные зоны, оболочки, зоны близости

Буферная зона вокруг фигуры F – это наибольшая область на карте, все точки внутри которой удалены от F не более чем на заданное расстояние L (рис. 6.19). При построении в ГИС буферных зон расстояние L может быть задано заранее либо вычисляться динамически для каждого объекта отдельно на основе его атрибутов. Некоторые ГИС позволяют за раз по-

строить для каждого объекта не одну буферную зону, а сразу несколько *кольцевых буферных зон*. Например, указав $L = 15$ и что нужно построить по 3 зоны, будут созданы 3 области, в первой из которых расстояние l от любой точки до исходного объекта будет $0 \le l \le 5$, во второй $5 \le l \le 10$, а в третьей $10 \le l \le 15$.

Буферные зоны используются в геоинформатике, например, для моделирования полос отведения вдоль дорог, санитарных зон вокруг рек и озер, охранных зон вдоль линий газопроводов и линий электропередачи, оценки областей неблагоприятного воздействия на человека вокруг различных источников.

Рис. 6.19. Операция построения буферной зоны

Выпуклая оболочка множества объектов F – это наименьшая выпуклая область на карте, содержащая все объекты F (рис. 6.20). Оболочка может быть построена по объектам любой размерности, но результатом в ГИС всегда является полигон.

Рис. 6.20. Операция построения выпуклой оболочки

В задаче построения *зон близости* требуется найти все точки плоскости, для которых расстояние s до заданного множества объектов $\{a_i\}$ является минимальным. В случае, когда все объекты – точки, данная задача известна как задача построения *диаграмм Вороного* (рис. 6.21).

Операция построения зон близости может использоваться, например, для нахождения зон скорейшего обслуживания (зон близости) из заданных базовых пунктов. Пусть, например, в некоторых точках на территории региона расположены аэродромы с пожарными вертолётами. В случае возникновения лесного пожара по заданной точке его локализации мы определяем зону близости, а следовательно, и вертолёт, который быстрее всех сможет долететь до места пожара.

Рис. 6.21. Операция построения диаграмм Вороного (построение зон близости для точечных объектов)

Приведённый пример предполагает одинаковые скорости перемещения вертолётов, но в действительности они могут отличаться, также могут отличаться и удельные затраты на перемещение.

В операции построения *взвешенных зон близости* требуется определить все точки плоскости, для которых расстояние s до заданного множества объектов $\{a_i\}$, помноженное на веса $w_i > 0$, является минимальным.

Для нашего примера укажем скорости полёта вертолётов в качестве весов w_i. Полученные взвешенные зоны близости приведены на рис. 6.22.

Рис. 6.22. Операция построения взвешенных зон близости

6.2.5. Генерализация

Под термином «*генерализация*» в геоинформатике понимается набор операций обобщения, предназначенных для отображения пространственных данных в соответствии с заданным масштабом, содержанием и тематикой карты. В самом распространённом случае генерализация позволяет уменьшить количество и упростить состав пространственных объектов при заданном уменьшении масштаба карты (рис. 6.23).

Рис. 6.23. Операция генерализации

Рассмотрим основные операции генерализации при работе с векторными объектами. При этом сразу отметим, что не все из нижеприведённых операций реализованы в современных ГИС, так как многие операции чётко не формализованы и потому не могут быть алгоритмизированы. Именно поэтому процесс генерализации в ГИС по-прежнему требует много творческой интерактивной работы пользователя.

1. *Упрощение*. Эта операция изменяет внутреннюю геометрическую структуру линии или полигона, удаляя некоторые точки (например, почти совпадающие, а также последовательные точки, лежащие почти на одной прямой) на основании заданного геометрического критерия.

2. *Сглаживание*. Эта операция сдвигает некоторые точки линий и границ полигонов с целью устранения мелких нарушений и выделения наиболее значимых тенденций изменения фигуры.

3. *Сдвиг объектов*. Эта операция немного (в пределах заданной величины) перемещает целые объекты, чтобы избежать слияния или наложения объектов при уменьшении масштаба.

4. *Чистка (удаление мелких объектов)*. Эта операция удаляет линейные и площадные объекты, размеры которых меньше некоторого установленного минимума (рис. 6.24).

Рис. 6.24. Операция удаления мелких объектов

5. *Адаптивная чистка*. Эта операция удаляет с карты объекты любой размерности, которые накладываются друг на друга и имеют самую низкую «важность». Эта операция реализуется с помощью «жадного» алгоритма. Вначале всем объектам, которые потенциально разрешено удалять, присваиваются некоторые веса (важности объектов), и все эти объекты сортируются в порядке убывания весов. Затем объекты по очереди помещаются на карту, начиная с самого важного. Если изображение очередного добавляемого на карту объекта сливается с ранее помещенными объектами, то такой объект отбрасывается.

Покажем использование адаптивной чистки на примере населённых пунктов на карте России. Пусть мы хотим разместить населённые пункты вместе с их названиями, причем названия должны быть разного размера. В качестве веса населённого пункта будем использовать численность его населения. В итоге после адаптивной чистки в западной части России на карте останутся только крупные города, а на востоке, в малонаселённых районах, – даже деревни.

6. *Слияние близких и граничащих объектов*. Эта операция уменьшает общее число объектов на карте за счёт объединения близких фигур. Объединяться могут фигуры, которые строго граничат друг с другом (рис. 6.25) либо которые расположены достаточно близко друг к другу (например, две близкие параллельные дороги).

7. *Снижение размерности*. Эта операция заменяет маленькие многоугольники линиями или точками, а маленькие линии – точками (см. рис. 6.23). Например, на крупномасштабной карте населённые пункты и озёра могут показываться своими контурами, а на мелкой карте – точками. На крупной карте реки зачастую показываются областями с границами по линиям уреза воды, а на мелких картах – осевыми линиями. На крупной карте мосты и тоннели на автомобильной дороге могут быть показаны в виде линий, являющих частью дороги, а на мелкомасштабных картах – в виде точек на осевой линии дороги.

8. *Оконтуривание групп отдельных объектов*. Эта операция применяется, например, для замены множества отдельно стоящих деревьев на области, обозначаемые как парки или зелёные насаждения (см. рис. 6.23).

Рис. 6.25. Операция объединения граничащих фигур

9. *Корректировка* (*текстурирование*). Эта операция предназначена для внесения некоторых дополнительных точек в линии и полигоны для придания внешнему виду фигур натуральности. Например, река может быть представлена на карте гладкой осевой линией, однако при этом мы знаем, что на самом деле река очень извилиста, но эти извилины совершенно не видны в масштабе карты. Такие небольшие извилины можно принудительно создать с помощью данной команды.

Теперь кратко рассмотрим некоторые аспекты генерализации объектов, представленных в других моделях данных, нежели векторные.

Генерализация растровых данных обычно сводится только к уменьшению размера растра и интерполяции значений пикселей нового растра на основе исходного. Например, при уменьшении размера растра по высоте и ширине в 4 раза каждый новый пиксель должен быть вычислен на основе значений 16 исходных.

Если в исходном растре в пикселях хранились числовые непрерывные данные, то значения пикселей в новом растре просто усредняются на основе исходных значений. В остальных случаях в качестве значения обычно выбирается то, которое наиболее часто представлено в исходных пикселях.

В результате генерализации триангуляционных поверхностей строится новая поверхность с меньшим количеством узлов триангуляции, которая отличается от исходной поверхности не более чем на заданную величину. В процессе генерализации поверхности может выполняться 3 вида упрощений: удаление узлов, замена коротких рёбер и небольших треугольников триангуляции одним узлом.

6.2.6. Применение векторного анализа

Для демонстрации возможностей пространственного анализа рассмотрим, например, такую задачу. В некотором районе города решили построить новую школу. С помощью оверлейных операций и операций по-

строения буферных зон мы сможем определить потенциальные места, где возможно строительство.

Для начала определим места, где вообще возможно строительство в районе города. Для этого возьмём многоугольник, оконтуривающий район города, и вычтем из него все дороги.

Затем определим все области, в которых запрещено размещение детских учреждений из-за близости к промышленным объектам. Для этого возьмём слой данных с заводами и построим для него буферную зону шириной в 500 м. Теперь вычтем из области разрешенного строительства эту буферную зону и разместим в оставшейся области школу с учётом наибольшей близости к местам проживания учеников. Для этого усредним координаты всех жилых зданий с весами, равными количеству жильцов в домах, и получим место, в среднем самое близкое ко всем ученикам.

6.3. Геостатистика

Геостатистика – это раздел математической статистики, исследующий явления, имеющие территориальный характер распределения. То есть основная разница заключается в том, что классическая статистика обычно работает просто со случайными величинами, в то время как в геостатистике предполагается, что всем случайным событиям приписаны некоторые координаты на плоскости или в пространстве.

Геостатистика позволяет своими методами проанализировать распределение случайных величин по территории Земли, а что наиболее важно – предсказать значения этих величин в новых местах, а также найти причины такого распределения во взаимосвязи с другими пространственно распределёнными случайными величинами.

В настоящее время геостатистика используется в самых разных отраслях, например:

1). *В геологии* – для предсказания уровней залегания и объёмов нефтегазоносных и других геологических слоёв. Допустим, нам известны данные по бурению в нескольких точках на определённой территории. Используя методы геостатистики, мы может предсказать уровень грунтовых вод, а также глубину залегания и толщину геологических пластов в любой интересующей точке.

2). *В экологии* – для анализа загрязнений окружающей среды. Например, выполнив замеры уровня шума и загрязнения CO в достаточном количестве точек вдоль некоторой дороги или в городе, мы может восстановить всю картину загрязнений на всей дороге и в городе в целом. Сопоставив эти результаты в ГИС с размещением на карте города промышленных и иных объектов, можно определить основные источники загрязнений.

3). *В метеорологии* – для прогнозирования погоды. Получая данные с метеорологических постов о температуре, давлении, силе и направлении ветра, можно с некоторой точностью определять эти же величины и в других местах.

4). *В медицине* – для анализа различных заболеваний. Получив данные о заболеваниях в различных районах города или в различных населённых пунктах, можно восстановить общую картину распределения заболеваний по всему городу или региону. Сопоставив эту картину на карте с другими пространственными данными, можно определить причины болезней и выработать необходимые меры.

5). *В социологии* – для анализа регионального распределения разнообразных величин и поиска их причин.

6). *В демографии* – для анализа рождаемости, смертности, миграции населения и поиска их причин.

С точки зрения ГИС исходными данными для геостатистики являются точечные объекты, для которых в атрибутах указаны некоторые значения. На их основе можно построить некоторое «поле данных» – трёхмерную поверхность, аппроксимирующую распределение этих случайных величин по всей анализируемой территории. Полученное поле значений можно использовать для предсказания значений случайных величин в новых точках, а также выполнения корреляционного анализа в сравнении с другими пространственными величинами.

В геостатистике используется несколько основных методов, подразделяемых условно на детерминистические и стохастические. *Детерминистические* методы включают *метод инверсных расстояний*, *глобальный* и *полиномиальный методы*. К *стохастическим* относятся метод *функций с радиальным базисом*, а также наиболее мощные методы *кригинга* и *кокригинга*.

В настоящее время только немногие ГИС имеют в своём составе функции геостатистического анализа. Ранее геостатистика в основном применялась в геологических приложениях, а потому в ГИС общего назначения таких функций не было. Сейчас ситуация меняется. Существует ряд других программных пакетов, используемых совместно с ГИС, имеющих мощные средства геостатистики. Среди них в России наиболее известен пакет Surfer (производитель Golden Software, США).

Геостатистические функции обычно присутствуют в системах обработки ДДЗ, таких как ERDAS Imagine, Idrisi 32, ER Mapper и др. Из широко распространённых универсальных ГИС наибольшим количеством геостатистистических функций обладает ArcGIS 8.x/9.x, в которой для этого имеется специальный модуль Geostatistical Analyst (рис. 6.26).

6.4. Сетевой анализ

На основе транспортных сетей в ГИС можно решать разнообразные задачи, объединённые общим термином *«сетевой анализ»*:

1. *Поиск кратчайшего по времени или расстоянию маршрута* между двумя заданными узлами транспортной сети (рис. 6.27). Поиск должен производиться с учётом времени прохождения по дугам, времени выполнения поворотов в узлах, а также с учётом допустимого направления движения в дугах.

Рис. 6.26. Применение модуля ArcGIS Geostatistical Analyst для мониторинга озоновых дыр в Европе (в горных районах Карпат)

Рис. 6.27. Пример поиска кратчайшего маршрута между заданными пунктами в IndorGIS

2. *Поиск кратчайшего обхода* заданного набора пунктов (*задача коммивояжёра*). В этой задаче вначале между каждой парой заданных пунктов находится кратчайший маршрут передвижения, а потом решается математическая задача коммивояжёра, перебирая различные варианты порядка обхода этих пунктов (рис. 6.28).

3. *Поиск ближайших пунктов обслуживания*. Предполагается, что на карте задан точечный слой с некоторыми пунктами обслуживания, например автозаправочными станциями или магазинами. В этой задаче для заданной точки на плоскости необходимо найти несколько самых близких пунктов обслуживания (рис. 6.29).

Рис. 6.28. Пример поиска кратчайшего обхода заданных пунктов в IndorGIS

Рис. 6.29. Пример поиска ближайших пунктов обслуживания в IndorGIS

4. *Расчёт зон обслуживания*. Так же как и для предыдущей задачи, предполагается, что на карте задан точечный слой с некоторыми пунктами обслуживания, например автозаправочными станциями или магазинами. Необходимо разбить всю карту на непересекающиеся части, каждая из которых будет соответствовать одному пункту обслуживания, который является ближайшим для любой точки внутри полученной части (рис. 6.30).

5. *Расчёт транспортной доступности*. В этой задаче предполагается, что на карте заданы два точечных слоя: один с анализируемыми объектами (например, населёнными пунктами на карте области), а другой – с некоторыми обслуживающими объектами (например, районными центрами в областях). Для каждого населённого пункта необходимо определить минимальное время, за которое из него можно доехать до райцентра, либо указать, что проезда нет. На рис. 6.31 показан фрагмент труднодоступного района на севере Томской области, в котором практически отсутствуют автомобильные дороги, но есть речное и авиационное сообщение.

Рис. 6.30. Пример расчёта зон обслуживания в IndorGIS

6. *Расчёт межрайонных транспортных связей*. Эта задача предполагает, что территория города или региона разбита на некоторые *транспортные районы* (группы кварталов в городе или отдельные поселения), между которыми следует установить величину *тяготения друг к другу* и *уровень транспортной обеспеченности* районов в соответствии с некоторым видом передвижения, вызванного этим тяготением.

Тяготение между районами определяется на основе их *возможностей* и *притягательностей*, а также на основе *транспортных связей* районов.

При расчёте *трудовых перемещений* возможностями районов является их трудоспособное население, а притягательностями – количество рабочих мест. Например, при расчёте *культурно-бытовых перемещений из дома* возможностями районов является количество жителей, а притягательностями – объём услуг, предоставляемых районом за единицу времени (это учитывает в себе среднее число проданных за месяц билетов во всех кинотеатрах, театрах, музеях, концертных залах, стадионах; количество и размер различных магазинов, парикмахерских, аптек, пунктов ремонта и пр.). При расчёте *культурно-бытовых перемещений не из дома* (с работы) притягательности берутся те же, что и из дома, а возможностями считается количество рабочих мест.

Транспортная связь между каждой парой районов определяется по транспортной сети как минимальное время, требуемое для перемещения между районами. При этом в городе расчёт обычно ведётся по сети маршрутного транспорта, а при расчёте на уровне регионов – по общей сети автомобильных дорог.

Рис. 6.31. Пример расчёта в IndorGIS транспортной доступности населённых пунктов Томской области до райцентров, один из которых находится в правом нижнем углу карты

Расчёт транспортных связей между районами ведётся на основе *модели корреспонденций*, предполагающей, что чем больше времени требуется человеку, чтобы добраться из одного района в другой, тем менее притягательным (привлекательным) является этот район. Например, поэтому большинство людей на работу будут ездить недалеко от места своего жительства и только меньшее количество – далеко.

В результате расчёта транспортных связей получается матрица, показывающая общее количество человек, которые в среднем перемещаются из одного района в другой в соответствии с заданным видом передвижения (например, сколько человек ездит на работу в такой-то район). Кроме того, для каждого района определяется, сколько времени в среднем тратит один житель района на эти поездки. Такие средние величины характеризуют качество транспортной обеспеченности района.

На рис. 6.32–6.33 приведены результаты расчёта транспортных связей между районами на примере трудовых передвижений в г. Томске. Расчёт проводился по 70 транспортным районам (такое количество рекомендуется для городов с населением около 500 тыс. жителей), при этом на рисунке в виде толстых линий показаны объединённые результаты, сгруппированные по 4 административным районам города. Толщина линии между административными районами характеризует количество жителей, ежедневно едущих на работу из одного административного района в другой. При этом часть жителей работает в этом же районе, и это количество показывается кругами соответствующего радиуса в центре районов.

Рис. 6.32. Пример расчёта транспортных связей между административными районами в IndorGIS (рассчитаны по транспортным районам и затем сгруппированы)

Дополнительно на рис. 6.32 в скобках после названия каждого административного района указано среднее время, затрачиваемое работающими жителями этих районов на ежедневные передвижения на работу. Аналогично на рис. 6.33 в скобках после названия каждого транспортного района приведено среднее время, затрачиваемое работающими жителями этих районов на ежедневные передвижения на работу.

Рис. 6.33. Пример расчёта транспортной обеспеченности районов в IndorGIS

Отметим так же, что методом корреспонденций можно рассчитать объёмы грузовых перевозок.

7. *Расчёт транспортных потоков*. В этой задаче предполагается, что известны транспортные связи между районами (каким-то образом вычислены или измерены), и требуется определить, по каким конкретным дорогам будут передвигаться автомобили и пассажиры. Для этого на основе известного объёма перевозок между транспортными районами определяется несколько кратчайших маршрутов, а также количество машин, которое поедет по конкретному участку дороги. Результат обычно показывается на карте в виде картограмм потоков (рис. 6.34).

Рис. 6.34. Картограмма транспортных потоков

6.5. Анализ поверхностей

В данном разделе мы рассмотрим набор операций, позволяющих выполнять анализ поверхностей, используемых в ГИС в качестве моделей рельефа и представленных в виде регулярной или триангуляционной сети.

1. *Интерполяция высот*. Эта операция позволяет вычислить значение высоты поверхности для любой заданной плановой точки.

2. *Построение профилей*. Эта операция строит продольный вертикальный разрез вдоль некоторой заданной линии (рис. 6.35). Дополнительно при отображении профиля можно задать степень его растяжения по вертикали.

3. *Построение горизонталей (изолиний)* . Эта операция строит *изолинии* – линии одинакового уровня (см. п. 5.6, рис. 5.23,*а*). Результат сохраняется в векторной модели данных в виде полилиний. Изолинии можно также трактовать как разрез поверхности горизонтальной плоскостью, расположенной на заданной высоте.

4. *Построение изоконтуров*. Эта операция строит *изоконтуры* – области между изолиниями смежного уровня (см. п. 5.6, рис. 5.23,*б*). Результат сохраняется в векторной модели данных в виде полигонов.

Рис. 6.35. Построение продольных разрезов поверхности в IndorGIS

5. *Построение изоклин*. Эта операция строит *изоклины* – линии одинакового уклона (см. п. 5.6, рис. 5.24,*а*). Результат сохраняется в векторной модели данных в виде полилиний. Вариантом этой операции является построение изоклин в виде контуров, которые образуются как области между смежными изоклинами.

6. *Расчёт экспозиций склонов*. Эта операция вычисляет нормали к каждому элементу поверхности и определяет, в какую сторону света повернута нормаль. Результат отображается на карте различными цветами (см. п. 5.6, рис. 5.25).

7. *Расчёт объёмов земляных работ*. Эта операция предполагает, что имеется модель существующего рельефа и задано, какую форму должен принять этот рельеф. Требуется определить объёмы грунта, которые следует переместить для получения проектируемого рельефа.

В простейшей постановке этой задачи требуется выровнять дно котлована, заданного в виде многоугольника, до определённой высотной отметки. В другой (более сложной) постановке явно задаётся вторая модель рельефа. При этом требуется вычислить разность между существующей и проектируемой поверхностями. Результатом вычислений является некоторая новая поверхность (которую уже нельзя интерпретировать как рельеф).

Результаты вычислений отображаются на карте в виде отдельных областей, показывающих, где требуется выполнить срезку рельефа, а где – засыпать (рис. 6.36).

8. *Анализ видимости*. Данная операция определяет, какие области на карте видны из заданной в трёхмерном пространстве точки. Результат представляется на карте в виде областей, из которых видна указанная точка. На рис. 6.37 показан пример расчёта зон видимости.

Рис. 6.36. Расчёт объёмов земляных работ в IndorGIS

(*а*) (*б*)

Рис. 6.37. Расчёт зон видимости: *а* – исходная модель и точка наблюдения на поверхности; *б* – зона видимости показана белой областью с чёрным контуром

В части случаев данная задача решается только вдоль некоторой одной отдельно взятой прямой. Например, так считается видимость автомобильной дороги из автомобиля. В качестве точки зрения берётся точка над дорогой на высоте 1,20 м. Результатом расчёта является расстояние, начиная с которого видимость дороги пропадает.

9. *Построение сети тальвегов и водоразделов*. Данная операция предназначена для анализа формы рельефа местности (рис. 6.38) и выделения таких структурных элементов, как линии тальвегов и водоразделов, а также особых элементов (вершин, седловин, хребтов, оврагов). Эта операция анализирует каждую ячейку модели поверхности и определяет направление, куда будет течь вода с этой ячейки. Затем определяются *тальвеги* – линии, соединяющие самые низкие точки дна речной долины, оврага, промоины и пр. Оконтурив все ячейки, образующие водосбор для каждой отдельно взятой реки и водоёма, мы получаем *линии водоразделов*.

Данная операция используется обычно в гидрологии при анализе рельефа на мелкомасштабных картах.

Рис. 6.38. Рельеф местности и различные его элементы
(вверху – трёхмерный вид; внизу – те же элементы на карте)

10. *Анализ водостока*. Данная операция предназначена для анализа рельефа местности в крупном масштабе и определения мест скопления воды. Для этого вначале на рельефе находятся все точки локального минимума, а затем эти места постепенно наполняются водой до тех пор, пока лужи не переполнятся и не станут переливаться через край (рис. 6.39).

Это используется, например, при проектировании автомобильных дорог и генеральных планов для обнаружения потенциальных мест образования луж. Для исключения возможности образования луж следует перепроектировать рельеф или установить в центре этих луж ливневые колодцы.

(*а*) (*б*)

Рис. 6.39. Расчёт потенциальных мест образования луж:
а – изображение луж на плане; *б* – трёхмерная визуализация луж

Вопросы для самопроверки

1. Какие картометрические функции имеются в ГИС?
2. Какие основные виды отношений бывают между пространственными объектами?
3. Что такое оверлеи? Как вычисляются атрибуты новых пространственных объектов, образуемых в результате выполнения оверлеев?
4. Приведите пример использования оверлеев для решения какой-нибудь прикладной задачи.
5. Что такое генерализация и какие инструменты для её выполнения имеются в ГИС?
6. Что такое геостатистика и каково её место в геоинформатике?
7. Какие основные операции сетевого анализа существуют в ГИС?
8. Какие операции анализа поверхностей есть в ГИС?

Глава 7. Программные средства ГИС

7.1. Российский рынок ГИС

В настоящее время в мире существует множество ГИС, относящихся к разряду полнофункциональных, то есть имеющих основные функции ГИС для создания, визуализации и анализа карт.

Наиболее мощными в мире являются ГИС американского производства: ArcGIS, MapInfo, Autodesk Map, GeoMedia, ERDAS Imagine.

Среди отечественных разработок можно отметить IndorGIS, ГеоГраф, Карта-2000, ИнГео, ПАРК и пр.

По общему набору функций отечественные разработки заметно уступают западным, тем не менее многие из них имеют ряд достоинств, позволяющих им успешно распространяться на российском рынке. Во-первых, это существенно меньшая цена и, во-вторых, соответствие российским отраслевым нормам и правилам.

Практически все современные полнофункциональные ГИС работают под управлением операционной системы (ОС) Windows, и только некоторые – на других платформах: в MS-DOS и на различных Unix-клонах. В настоящее время большинство производителей ГИС прекратило производство ГИС для MS-DOS и Unix. Это связано с тем, что MS-DOS уже устарела, а Unix использовался раньше только из-за того, что под его управлением работали самые мощные компьютеры в мире – рабочие станции, и только они были способны обрабатывать большие массивы пространственных данных, характерных для ГИС. В настоящее время обычные персональные компьютеры обладают достаточными для ГИС мощностями, а поэтому почти все современные ГИС ориентированы на ОС Windows.

Большинство современных ГИС имеет модульную архитектуру. ГИС имеет некоторое ядро, обеспечивающее только минимальную функциональность (отображение карт, поддержку основных моделей данных, некоторые функции пространственного анализа) и предоставляющее возможности по расширению функций, подключая дополнительные модули. В качестве программного интерфейса для подключения модулей обычно используется технология ActiveX.

В следующих разделах мы рассмотрим наиболее распространённые в России ГИС-продукты.

7.2. Полнофункциональные ГИС

В табл. 7.1 приведены основные функциональные возможности наиболее распространённых в России зарубежных и отечественных ГИС. Каждая ГИС рассматривалась в максимальной комплектации, предлагаемой производителем к продаже, то есть со всеми дополнительными модулями.

Таблица 7.1. Функциональные возможности некоторых ГИС

№	Функциональные возможности	Зарубежные ГИС					Российские ГИС				
		ArcGIS	MapInfo	Autodesk Map	GeoMedia	ERDAS Imagine	IndorGIS	ГеоГраф	Карта-2000	ИнГео	ObjectLand
А	**Поддерживаемые модели данных**										
1	Векторная нетопологическая	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2	Векторная топологическая	+	–	+	+	+	+	+	–	+	–
3	Векторная с Z-координатой	+	–	+	+	+	+	–	+	–	–
4	Транспортная сеть	+	–	–	–	–	+	–	–	–	–
5	Растровая модель	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
6	Регулярная модель поверхностей	+	+	–	+	+	+	–	+	+	–
7	Триангуляционная модель поверхностей	+	+	+	+	+	+	–	–	+	–
8	Объектная модель	+	–	+	+	–	–	–	–	+	–
9	САПР-модели	+	–	+	+	–	+	–	–	+	–
10	Геобазы данных	+	+	–	+	–	–	–	+	+	+
Б	**Обработка геодезических данных**										
1	Ввод данных с геодезических приборов	–	+	+	–	–	–	–	–	–	–
2	Обработка тахеометрических журналов	+	+	+	+	–	+	–	+	–	–
3	Обработка пикетажных журналов	+	+	+	–	–	+	–	+	–	–
4	Уравнивание отдельных ходов	+	+	+	+	–	+	–	+	–	–
5	Уравнивание сетей ходов	+	+	+	–	–	–	–	–	–	–
6	Геодезические построения (засечки)	+	+	+	–	–	+	–	+	–	–
В	**Обработка данных дистанционного зондирования**										
1	Геометрическая коррекция	+	+	–	+	+	–	–	–	–	–
2	Оптическая коррекция	+	+	–	–	+	–	–	–	–	–
3	Ортотрансформация	+	–	–	–	+	–	–	–	–	–
4	Построение модели рельефа	+	+	+	+	+	–	–	–	–	–
5	Фототриангуляция	+	–	+	–	+	–	–	–	–	–
6	Дешифрирование	+	–	–	–	+	–	–	–	–	–
Г	**Сканирование и векторизация**										
1	Сканирование	+	–	–	–	–	–	–	–	+	–
2	Редактирование растра	+	–	–	–	+	+	–	+	+	–
3	Геометрическая коррекция растра	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4	Проекционное преобразование растра	+	–	+	+	+	+	–	–	–	–
5	Полуавтоматическая векторизация	+	–	+	+	+	+	–	+	–	–
6	Автоматическая векторизация	+	–	+	+	+	+	–	–	–	–
Д	**Получение информации и визуализация**										
1	Выбор объектов областью	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2	Выбор объектов другими объектами	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3	Запросы на языке типа SQL	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4	Картометрия (длины, площади, углы)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
5	Произвольные условные знаки	+	–	+	–	–	+	–	–	+	+
6	Трёхмерная визуализация	+	+	+	+	+	+	–	+	–	–

Продолжение табл. 7.1

№	Функциональные возможности	Зарубежные ГИС					Российские ГИС				
		ArcGIS	MapInfo	Autodesk Map	GeoMedia	ERDAS Imagine	IndorGIS	ГеоГраф	Карта-2000	ИнГео	ObjectLand
Е	**Пространственный анализ векторных объектов**										
1	Анализ отношений	+	–	+	+	–	+	–	–	–	–
2	Отсечение и разрезание	+	+	+	+	+	+	–	–	+	+
3	Оверлеи	+	+	+	+	+	+	+	+	–	–
4	Буферные зоны	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
5	Выпуклые оболочки	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–
6	Зоны близости (диаграммы Вороного)	+	+	+	–	–	+	–	–	–	–
7	Взвешенные зоны близости	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–
8	Операции генерализации	+	–	–	–	+	+	–	–	–	–
Ж	**Сетевой анализ**										
1	Поиск кратчайшего пути	+	+	–	+	–	+	+	–	+	–
2	Поиск оптимального порядка обхода	+	+	–	+	–	+	+	–	+	–
3	Расчёт зон обслуживания	+	+	–	+	–	+	–	–	–	–
4	Расчёт транспортной доступности	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–
5	Расчёт транспортных связей	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–
6	Расчёт транспортных потоков	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–
З	**Растровый анализ**										
1	Математические операции с растрами	+	+	–	+	+	+	–	–	–	–
2	Логические операции с растрами	+	+	–	+	+	+	–	–	–	–
3	Буферные зоны	+	+	–	+	+	+	–	–	–	–
4	Факторный анализ	+	–	–	+	+	–	–	–	–	–
5	Корреляционный анализ	+	–	–	+	+	–	–	–	–	–
И	**Анализ поверхностей**										
1	Интерполяция высот	+	+	–	+	–	+	–	–	–	–
2	Построение профилей	+	+	–	+	–	+	–	–	–	–
3	Построение изолиний	+	+	+	+	+	+	–	+	–	–
4	Построение изоконтуров	+	+	–	+	–	+	–	–	–	–
5	Построение изоуклонов	+	+	+	+	–	+	–	–	–	–
6	Расчёт экспозиций склонов	+	–	+	+	–	+	–	–	–	–
7	Расчёт объёмов земляных работ	+	+	–	–	–	+	–	–	–	–
8	Расчёт разности поверхностей	–	+	+	–	–	+	–	–	–	–
9	Анализ видимости	+	+	–	+	+	+	–	–	–	–
10	Построение тальвегов и водоразделов	+	+	+	–	–	+	–	–	–	–
11	Анализ водостока	–	–	+	–	–	+	–	–	–	–
К	**Другие аналитические функции**										
1	Геостатистика	+	+	–	–	+	–	–	–	–	+
2	Работа с темпоральными данными	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3	Гидравлические расчёты	–	–	+	–	–	+	–	–	+	–
4	Электрические расчёты	–	–	+	–	–	+	–	–	+	–

7.2.1. ArcGIS 9.0

Геоинформационная система ArcGIS 9.0 (производства американской компании ESRI, Inc), без всякого преувеличения, является в настоящее время наиболее мощной и динамично развивающейся векторной ГИС в мире. Система ArcGIS – это большой программный комплекс, позволяющий решать самые разнообразные задачи. Она состоит из следующих ключевых программных блоков (рис. 7.1):

1. *Настольные ГИС.* Это приложения линейки ArcGIS Desktop, включающие ArcView, ArcEditor и ArcInfo. Кроме них, дополнительно имеется ещё достаточно простое приложение для просмотра карт ArcReader. В основе этих приложений лежит общее программное ядро, построенное на базе ArcObjects – набора ActiveX-компонентов, позволяющего решать самые разнообразные ГИС-задачи и создавать собственные программные модули, расширяющие функциональность продуктов данной линейки.

2. *Серверные ГИС.* Этот блок состоит из ArcGIS Server – сервера приложений, предназначенного для управления программными ГИС-объектами в корпоративной сети или в Интернете, ArcSDE – мощного сервера пространственных данных, работающего на основе многих современных коммерческих СУБД, и ArcIMS – полнофункционального сервера, позволяющего создавать и распространять карты через Интернет.

3. *Встраиваемые ГИС.* ArcGIS Engine – это библиотека встраиваемых ГИС-компонентов и инструментов, с помощью которой независимые разработчики могут создавать новые или расширять любые имеющиеся пользовательские приложения.

4. *Мобильные ГИС.* Включает программу ArcPad, устанавливаемую на мобильные компьютеры (на основе Windows CE) с поддержкой GPS. Эта программа широко используется для целенаправленного сбора данных и другой ГИС- информации, их просмотра и обновления непосредственно в полевых условиях.

Рис. 7.1. Обобщённый состав программного комплекса ArcGIS 9.0

Благодаря поддержке разнообразных типов данных, наличию серверов пространственных данных и разнофункциональных приложений система ArcGIS 9.0 обладает великолепной масштабируемостью. На её основе можно не только построить простое ГИС-приложение, работающее с небольшими наборами пространственных данных, но и создать полноценную корпоративную ГИС-систему, работающую с огромными массивами данных, к которым можно обращаться как из локальной сети, так и по Интернету.

ГИС ArcGIS 9.0 поддерживает большинство современных моделей пространственных данных, включая векторные топологические (покрытия) и нетопологические (шейп-файлы), растровые модели и нерегулярные триангуляционные сети, а также наиболее современную объектно-ориентированную модель геобазы данных, основанной на стандартных реляционных технологиях баз данных.

Все программные продукты линейки ArcGIS Desktop (варианты комплектации ArcView, ArcEditor и ArcInfo) состоят из трёх главных взаимосвязанных программных приложений: ArcMap, ArcCatalog и ArcToolbox.

ArcMap. Это самое главное приложение программного комплекса ArcGIS (рис. 7.2). Оно предназначено для создания карт, визуализации, редактирования и пространственного анализа данных, а также для печати карт. К нему же подключается большинство дополнительных модулей.

Рис. 7.2. Внешний вид приложения ArcMap ГИС ArcGIS 9.0

В ArcMap имеется два режима отображения и работы с данными: а) в виде географических данных и б) в виде компоновки карт. В первом режиме (данных) показываются только пространственные данные без всякого рамочного оформления. Второй режим (компоновки) показывает карту в таком виде, каком она будет отображаться при печати на бумаге. В этом режиме показывается, как будут расположены фрагменты карты, легенда и дополнительное оформление карты на листе бумаги.

ArcReader. Это простое бесплатное приложение (рис. 7.3), предназначенное для просмотра и печати *опубликованных карт* (формат PMF). Опубликованные карты создаются с помощью дополнительного модуля к ArcGIS Desktop под названием ArcGIS Publisher, который преобразует стандартные документы карт MXD в формат PMF. Приложение ArcReader позволяет просматривать данные, представленные в любом формате, поддерживаемом продуктами линейки ArcGIS Desktop, но не разрешает редактировать. Кроме того, нельзя изменять состав карты, то есть нельзя удалять или добавлять слои, а также нельзя изменять правила их визуализации.

В зависимости от настроек, сделанных автором при публикации карты, пользователю могут быть разрешены или запрещены следующие функции: а) доступ к гиперссылкам; б) переключение между видом данных и видом компоновки; в) отображение таблицы содержания; г) поиск объектов; д) получение информации по объектам; е) измерение расстояний; ж) печать; з) возможность включения и отключения видимости слоёв.

Рис. 7.3. Внешний вид приложения ArcReader ГИС ArcGIS 9.0

ArcCatalog. Программа предназначена для структурированного управления всеми данными ГИС. Оно предоставляет инструменты для создания, манипулирования, поиска и быстрого просмотра пространственных данных. Это приложение внешне организовано как Проводник Windows (рис. 7.4). В левой части окна отображаются все каталоги на компьютере, все доступные геобазы данных, а также источники пространственных данных в Интернете. При выборе в левой части окна объекта (набора данных или карты) в правой части окна отображаются различные сведения о выбранном объекте.

Рис. 7.4. Внешний вид приложения ArcCatalog ГИС ArcGIS 9.0

ArcToolbox. Это приложение для пакетного выполнения различных ГИС-операций над данными. Пакетная обработка данных подразумевает, что обработка данных происходит большими массивами без интерактивной выборки отдельных объектов. Именно поэтому эта программа не имеет графического интерфейса для просмотра карт.

Приложение ArcToolbox состоит из одного главного окна, в котором в виде дерева структурированы все команды (более 150 в комплектации ArcInfo) для работы с данными. При выборе в этом дереве требуемой команды открывается отдельное окно, в котором пользователю предлагается задать параметры выполняемой команды, в том числе указать источники пространственных данных (файл или геобазу в ArcSDE) и место, куда следует сохранить результат работы. В частности, на рис. 7.5 приведён при-

Рис. 7.5. Внешний вид приложения ArcToolbox ГИС ArcGIS 9.0

мер вызова из ArcToolbox команды построения оверлеев двух покрытий. При двойном щелчке на команде Overlay Wizard в дереве команд появляется окно, помогающее выбрать параметры построения оверлеев.

Важным достоинством всех приложений линейки ArcGIS Desktop является то, что они построены по единой объектно-ориентированной модели ActiveX, доступной для расширения сторонними производителями. Сама фирма-производитель ArcGIS – компания ESRI – предлагает несколько важнейших модулей, существенно расширяющих функциональность базовой ГИС. Упомянем основные из этих модулей.

1. ArcGIS Spatial Analyst. Этот дополнительный модуль предлагает мощные средства пространственного анализа растровых данных. С помощью этого модуля можно создавать новые растровые документы, редактировать их, а также выполнять их анализ. Модуль содержит следующие основные группы функций:

Картирование расстояний. Функции этой группы позволяют вычислять обычные евклидовы расстояния, а также расстояния в других метриках, например расстояния как стоимость перемещения между точками на карте. Для определения стоимости перемещения по карте используется другой растр, в каждом пикселе которого задана скорость движения в нём.

Картирование плотности. Вычисление плотности используется, когда нужно показать концентрацию точечных или линейных объектов.

Например, имея сведения по населению городов какого-либо региона, можно вычислить распределение населения по всему этому региону.

Интерполяция растра. Интерполяция позволяет вычислить значения некоторого параметра во всех ячейках растра по небольшому набору значений, заданных в произвольных точках плоскости. Эта функция используется для предсказания значений самых разнообразных географических явлений, измеряемых только в определённых точках, таких как высотные отметки рельефа, уровни осадков, уровни грунтовых вод, концентрации опасных веществ, уровни шума и т.д. В модуле Spatial Analyst имеются несколько методов интерполяции, включая метод обратных взвешенных расстояний, метод кригинга и сплайновый метод. Выбор метода делается пользователем исходя из априорных сведений о предметной области.

Анализ поверхности. Рассчитав растровую поверхность, вы можете столкнуться с тем, что некоторые закономерности распределения не выявляются на этой поверхности, поэтому необходимо применить функции анализа. В Spatial Analyst включены функция построения изолиний, показывающая местоположения с одинаковым значением; функция вычисления уклона, используемая, например, при определении риска оползней; функция вычисления экспозиции склонов, полезная, например, при определении участков оптимального земледелия; функция отмывки рельефа, используемая как для реалистичного отображения поверхности рельефа, так и для анализа освещённости местности в различное время дня. Ещё одна функция из этой группы – расчёт видимости – определяет, какие участки поверхности видны из заданных точек наблюдения.

Статистические функции. Они вычисляют по значениям в ячейках растра максимум, минимум, среднее, большинство, меньшинство, медиану, диапазон, среднеквадратичное отклонение, сумму и многообразие.

Статистика по ячейкам. Эти функции предназначены для вычисления статистических характеристик по нескольким растровым слоям, например для анализа летних температур за десятилетний период. Статистика соседства вычисляется на основе значения обрабатываемой ячейки и значений ячеек в заданной окрестности соседства и может быть использована, например, при проверке стабильности экосистемы для определения разнообразия биологических видов в каждой из соседних областей. С помощью функции зональной статистики вычисляются характеристики по значениям одного набора данных для зон, определяемых другим набором, скажем, можно вычислить число аварий для каждой дороги в городе или среднее количество осадков для каждой лесной зоны.

Переклассификация. Эта функция выполняет замену значений ячеек другими значениями на основе некоторого критерия. Это можно использовать для группировки значений ячеек, например для объединения всех видов автомобильных дорог в один класс, а всех видов железных дорог – в другой.

Калькулятор растров. Это инструмент для вычислений значений в ячейках растра по множеству других растров. Входными данными для

калькулятора могут быть растровые или векторные наборы данных, таблицы и отдельные числа. Математические операторы представлены арифметическими, булевыми операторами и операторами отношений (включая также поразрядные и комбинаторные); математические функции представлены арифметическими, тригонометрическими, логарифмическими и степенными функциями, а функции алгебры карт позволяют производить операции типа вычисления уклона или статистических характеристик ячеек для нескольких растровых слоёв.

Конвертация. Этот инструмент предназначен для преобразования векторных данных (покрытий, шейп-файлов, данных САПР) в растровые и наоборот.

2. ArcGIS 3D Analyst. Этот дополнительный модуль предлагает мощные средства создания, визуализации и анализа поверхностей в виде регулярных (растровых) и нерегулярных (триангуляционных) моделей данных. Отличительной особенностью этого модуля по отношению к большинству других является то, что его основные функции доступны не в приложении ArcMap, а в другом – ArcScene, специально предназначенном для трёхмерной визуализации картографических поверхностей и трёхмерных объектов и явлений (рис. 7.6). ArcScene позволяет рассматривать реалистичные трёхмерные изображения с различных точек зрения. Помимо нового приложения ArcScene, этот модуль расширяет функциональность приложений ArcMap и ArcCatalog, позволяя в них создавать и визуализировать модели поверхностей (растровые и триангуляционные).

Растровые поверхности строятся с помощью функции «Интерполяция растра», такой же, как в модуле ArcGIS Spatial Analyst (см. выше).

Рис. 7.6. Внешний вид приложения ArcScene ГИС ArcGIS 9.0

Триангуляционные поверхности создаются по нескольким наборам векторных данных и используются в основном только для моделирования небольших участков местности.

Модуль ArcGIS Spatial Analyst содержит множество стандартных средств анализа поверхностей, в т.ч. построение изолиний, изоклин, расчёт уклонов и экспозиций склонов, анализ видимости и пр.

В приложении ArcScene можно задавать такие общие свойства сцены, как освещённость, фон, вертикальное растяжение, а также перемещать и вращать сцену, задавать координаты наблюдателя. Кроме того, есть возможность анимации трёхмерного изображения и виртуального пролёта над сценой.

Сцена в ArcScene состоит из трёхмерных поверхностей и дополнительных трёхмерных объектов, динамически создаваемых на основе обычных двумерных. Например, обычный двумерный слой зданий может быть представлен в ArcScene как набор трёхмерных фигур, которые получаются за счёт «выдавливания» многоугольников вверх на некоторую высоту, задаваемую в атрибуте высоты зданий. Для повышения реалистичности поверхностей на них обычно «натягивают» некоторые растровые изображения, например аэрокосмоснимки местности или сканированные карты.

3. ArcGIS Geostatistical Analyst. Это специализированный модуль для выполнения геостатистического анализа (см. п. 6.3). Он позволяет строить непрерывные (растровые) поверхности на основе измерений, проведённых в отдельных точках пространства. С помощью этого модуля можно интерполировать значения различными методами с высокой степенью достоверности.

Отметим, что функции интерполяции методом кригинга имеются также в модулях ArcGIS Spatial Analyst и ArcGIS 3D Analyst, однако в данном модуле представлены более мощные варианты этих функций, а также некоторые другие. Кроме того, модуль ArcGIS Geostatistical Analyst включает инструменты для статистической оценки ошибок, определения пороговых значений и вероятностного моделирования.

4. ArcGIS Network Analyst. Данный модуль позволяет создавать и анализировать транспортные сети. Набор основных функций модуля включает в себя (рис. 7.7):

- Поиск кратчайших маршрутов движения.
- Расчёт оптимальных маршрутов обхода заданных пунктов.
- Поиск ближайших пунктов обслуживания.
- Определение зон транспортного обслуживания.

При выполнении всех этих расчётов в транспортной сети можно учесть запреты на выполнения поворотов на некоторых перекрёстках, различные расчётные скорости движения на дугах транспортной сети, а также барьеры – особые объекты, которые запрещено пересекать при поиске маршрутов движения.

Рис. 7.7. Работа с модулем ArcGIS Network Analyst в ГИС ArcGIS 9.0

5. ArcGIS StreetMap USA и ArcGIS StreetMap Europe. Эти модули содержат геокодированные данные по улично-дорожной сети всей территории США и Европы. Помимо собственно улиц и дорог, модули ArcGIS StreetMap отображают и подписывают на карте многие сопутствующие пространственные объекты, включая парки, водоёмы, различные местные ориентиры. Используя функцию поиска по адресу, можно найти практически любой адрес в любой стране и отобразить результат на карте. Все данные поставляются в сжатом виде на нескольких компакт-дисках.

6. ArcGIS Business Analyst. Данный модуль предназначен для анализа местных рынков сбыта и степени их конкуренции, выбора оптимального места расположения новых магазинов, а также для оптимизации прямой рассылки почты для потенциальных клиентов магазинов. Всё это выполняется на основе следующих географических, демографических и маркетинговых данных, поставляемых вместе с данным модулем для США:

- *Демографические данные.* Этот блок данных включает более 1000 различных демографических и маркетинговых параметров по каждому штату, округу, дороге и кварталу.
- *Данные по предприятиям.* Этот блок включает сведения о более чем 12 миллионах предприятий, зарегистрированных в США.
- *Данные о потребителях.* Этот блок включает сведения о более чем 105 миллионах домовладельцев в США, в том числе 28 параметров об их возрасте, поле, среднем доходе, домашнем адресе и пр.

- *Данные о торговых центрах.* Этот блок включает детальные сведения о более чем 14 000 крупных торговых центров (с торговой площадью не менее 16 000 м^2), об их доле рынка, рыночной стратегии, перспективах их развития.
- *Сведения об улично-дорожной сети*. По сути, сюда включены все сведения, поставляемые вместе с модулем ***ArcGIS StreetMap USA***.

7. ArcPress для ArcGIS. Этот модуль предназначен для вывода карт на печать. Это программный растеризатор, который создаёт файлы стандартных графических (BMP, JPG, TIFF и др.) форматов, а также специальные Postscript-файлы для печати на стандартных широкоформатных и настольных принтерах. При печати карт на небольших принтерах (формата не более А3) обычно не возникает необходимости в использовании этого модуля и процедура печати может быть выполнена стандартными средствами Windows. При печати более крупных и насыщенных карт Windows или принтер может не справиться из-за недостатка оперативной памяти в компьютере или в принтере. Именно в этих случаях нужен ArcPress.

8. Maplex для ArcGIS. Данный модуль предназначен для оптимального размещения в автоматическом режиме подписей к объектам карты. Модуль обладает следующими основными функциями:

- На карту автоматически наносятся надписи различных размеров и шрифтов для разных объектов. Причем особенностью данного модуля является то, что размещение подписей производится сразу же для всех слоёв карты, а не по отдельности для каждого слоя.
- В случае если надписи перекрываются, размер отдельных надписей автоматически уменьшается. А если и в этом случае надписи перекрываются, то некоторые надписи удаляются с карты.
- В случае если надписи перекрываются, можно задать правила сокращения надписей, заменяя их аббревиатурами.
- При нанесении надписей на линейные объекты подписи изгибаются вдоль объектов и при необходимости многократно дублируются для очень длинных линий.
- При нанесении надписей для линейных и площадных объектов при необходимости интервалы между буквами и словами могут быть увеличены, чтобы надпись заполнила всё отведённое ей место.
- Надписи могут размещаться параллельно и перпендикулярно линиям картографической или координатной сетки.
- Надписи могут быть достаточно сложно отформатированы, то есть могут содержать символы, оформленные разными шрифтами, цветами, размерами и т.д.

9. ArcGIS Publisher. Этот модуль преобразует карты из формата MXD в формат опубликованных карт PMF для открытого обмена этими картами между пользователями. Опубликованные карты в формате PMF можно просматривать с помощью бесплатного приложения ArcReader (см. его описание выше).

10. ArcGIS Survey Analyst. Этот модуль предназначен для обработки результатов геодезических изысканий и их отображения на карте. Основным достоинством модуля перед аналогичными программами для обработки геодезических изысканий является то, что данные ArcGIS Survey Analyst хранятся в геобазе данных вместе с остальными объектами ArcGIS и что координаты обычных пространственных объектов могут быть увязаны с обработанными координатами съёмочных точек (рис. 7.8). При этом координаты объектов можно автоматически выравнивать по значениям съёмочных точек.

Рис. 7.8. Работа с модулем ArcGIS Survey Analyst в ГИС ArcGIS 9.0

Используя модуль ArcGIS Survey Analyst, можно хранить в единой геобазе данных огромное количество геодезических измерений, сделанных в разные периоды времени. При этом координаты объектов могут быть измерены многократно в разное время. Также модуль позволяет количественно и визуально на карте оценить точность выполненных измерений.

11. ArcGIS Tracking Analyst. Этот модуль предназначен для отображения и анализа данных, изменяющихся во времени (из архива темпоральных данных или данных, поступающих в реальном времени), таких, например, как данные систем спутниковой навигации GPS. Основными

областями применения этого модуля являются транспорт, службы быстрого реагирования, оборона, а также изучение и мониторинг окружающей среды. Модуль предназначен для решения следующих задач:

- Планирование событий.
- Сопровождение полетов и прокладка маршрутов.
- Планирование спасательных мероприятий.
- Управление и обслуживание зданий и сооружений (склады, вокзалы, станции и т.п.).
- Контроль соблюдения расписаний и маршрутов.
- Управление парком транспортных средств.
- Составление расписаний и графиков работы.
- Отслеживание перемещений транспортных средств.
- Отслеживание перемещений товаров на складе.
- Управление работой местного общественного транспорта.
- Отслеживание перемещений объектов живой природы.
- Изучение динамики явлений и событий.

Модуль ArcGIS Tracking Analyst содержит следующие основные возможности:

а) *Обработка темпоральных данных*. Модуль напрямую поддерживает ГИС-данные, содержащие информацию о времени, а также позволяет использовать данные, поступающие в режиме реального времени с сервера ArcIMS Tracking Server. Обеспечивается поддержка данных в виде точек (автомобили, воздушные или морские суда), линий (атмосферные фронты) или полигонов (полоса съёмки спутника, нефтяные пятна).

б) *Темпоральные символы.* Такие символы позволяют по-разному отображать данные в зависимости от текущего времени. Каждый слой имеет своё собственное время жизни, определяющее объём и время отображения темпоральных данных. Для наборов данных с характеристиками времени возможно комбинирование обычных и темпоральных символов. В зависимости от времени символы точечных объектов могут изменять свой цвет, размер и сам символ. В зависимости от характеристики времени линейные и полигональные символы могут изменять свой цвет. Кроме того, модуль ArcGIS Tracking Analyst позволяет отображать траектории перемещения объектов.

г) *Воспроизведение.* Данный инструмент предназначен для интерактивного проигрывания данных, имеющих темпоральную составляющую.

д) *Темпоральный анализ.* Функция «часы данных» показывает плотность пространственных событий во времени, используя различные методы определения плотности и визуализации. Функция «временной сдвиг» позволяет совместно воспроизводить данные за различные периоды времени. Кроме того, в случае выполнения некоторых условий над атрибутами и их пространственными характеристиками могут быть выполнены такие специальные действия, как подсветка, скрытие и проявление объекта или действие, заданное пользователем (рис. 7.9).

Рис. 7.9. Отображение темпоральных данных с помощью дополнительного модуля ArcGIS Tracking Analyst

12. ArcScan для ArcGIS. С этим модулем ArcGIS становится профессиональным векторизатором. Модуль обеспечивает выполнение функций сканирования твёрдых копий карт (на бумажных носителях) и векторизации – преобразования растровых данных в векторные слои (шейп-файлы, покрытия или наборы данных геобазы). ArcScan полностью интегрирован в приложение ArcMap. Он включает инструменты: а) редактирования («чистки») растров перед векторизацией; б) полуавтоматической и автоматической векторизации; в) постобработки векторизированных векторных объектов.

Режим автоматической векторизации растров (рис. 7.10) может работать двумя способами, когда векторизация ведётся по центру линий (для линейных объектов) либо по границе (для площадных объектов). Выбор способа зависит от априорных сведений о природе объектов на отсканированных изображениях и поэтому определяется пользователем.

Режим полуавтоматической векторизации является расширением обычного режима ArcGIS для рисования новых объектов карты. При этом в помощь пользователю предоставляется инструмент автоматической подтяжки вводимых узлов фигур к специфическим объектам на растре. Подтяжка может делаться к осевым линиям растровых объектов, точкам пересечения линий, углам, концевым точкам и компактным объектам.

Рис. 7.10. Автоматическая векторизация изолиний на карте с помощью ArcScan для ArcGIS

Инструмент трассировки по растру также предназначен для полуавтоматической векторизации. С его помощью нужно просто указать курсором направление проведения линии и нажать кнопку мышки. При каждом последующем нажатии будут проводиться новые фрагменты линии по кратчайшей траектории от точки предыдущего щелчка мышкой.

В случае, когда нужно векторизовать только определённые виды объектов и в некоторой области растра, можно воспользоваться инструментом выбора пикселей для векторизации, позволяющим отсеять незначимые пиксели растра.

13. ArcGIS Schematics. Данный модуль предназначен для создания схематического и геосхематического представления объектов геобазы данных. Модуль позволяет создавать схемы инженерных сетей (электрических, водопроводных, нефтегазовых, телекоммуникационных и пр.) и транспортной инфраструктуры (автомобильных и железных дорог) на основе данных, находящихся в геобазе данных. ArcGIS Schematics извлекает из геобазы информацию о некоторой сети (объектах и связях между ними), а затем автоматически генерирует различные представления этой сети в виде диаграмм, древовидных структур, матриц и пр.

Для отображения элементов сети могут использоваться стандартные символы ArcGIS, но в некоторых случаях этого недостаточно. Например,

для автоматического создания схемы электрической сети с трёхобмоточными трансформаторами нужно иметь специальный символ трансформатора, в котором особо отмечены точки выводов трансформатора. Для таких символов в состав ArcGIS Schematics включен специальный редактор символов.

Компания ESRI (производитель ArcGIS) давно и успешно сотрудничает с компанией ERDAS (производитель растровой ГИС Imagine; она недавно вошла в состав фирмы Leica, Inc.) – мировым лидером в области обработки ДДЗ. Именно поэтому ERDAS разработала два дополнительных модуля к ArcGIS для решения всех основных задач обработки аэрофотокосмоснимков.

14. Image Analysis для ArcGIS. Этот модуль предназначен для обработки данных дистанционного зондирования. Модуль имеет следующие основные возможности:

- Геометрическое преобразование растра, включая аффинное, полиномиальное, методом «резинового листа», перепроецирование (перевод изображения из одной проекции в другую), а также ортокоррекция изображений с использованием различных моделей фотокамер (с центральной проекцией или установленных на спутниках Ikonos, Spot, Quickbird, Landsat и др.).
- Создание ориентированных изображений, подходящих для использования в модуле Spatial Analyst.
- Составление из нескольких изображений мозаики и изменение баланса цветов отдельных изображений.
- Классификация (автономная классификация «IsoData» и управляемая классификация).
- Отсечение частей изображения.
- Импорт изображений из множества форматов (включая все, поддерживаемые системой ERDAS Imagine, в т.ч. TIFF, GIF, Jpeg, Generic Binary, Raw Binary, MrSID, ERDAS Imagine LAN и IMG).
- Преобразование растра в векторные слои и растеризация векторного изображения.
- Выполнение пространственных улучшающих преобразований растра (фильтрация со свёрткой, изотропный фильтр обнаружения краев, фокальная тематическая фильтрация, слияние снимков с различным пространственным разрешением).
- Выполнение радиометрических улучшающих преобразований (использование таблиц перекодировки LUT), выравнивание яркостных гистограмм, совмещение гистограмм, получение негатива).
- Выполнение спектральных улучшающих преобразований (преобразование цветового пространства RGB в INS и наоборот, нормализованный вегетационный индекс NDVI, преобразование в естественные цвета).

- Выполнение операций пространственного анализа растров (анализ окрестности, перекодирование растров, суммирование областей).
- Классификации изображений различными методами.

15. Stereo Analyst для ArcGIS. Этот модуль предназначен для обработки стереоизображений и получения цифровой модели местности. Модуль имеет следующие основные возможности:

- Создание стереопар разными способами.
- Визуализация стереоизображений анаглифическим (с использованием красно-синих очков) и аппаратным (с жидкокристаллическими очками, управляемыми драйвером OpenGL с поддержкой стереоизображения в окне) способами (рис. 7.11).
- Использование трёхмерного «плавающего» курсора для идентификации и сбора трёхмерных данных. В процессе сбора данных высота трёхмерного курсора может быть точно установлена на заданном уровне или на поверхности, которая интересует пользователя.
- Контроль качества цифровых стереомоделей.

Рис. 7.11. Обработка стереоизображений в модуле Stereo Analyst для ArcGIS

- Измерение и сбор пространственной информации в трёхмерном виде, в том числе построение и редактирование объектов и их атрибутов в формате трёхмерных шейп-файлов.
- Преобразование существующих обычных двумерных шейп-файлов в трёхмерные шейп-файлы.
- Точный сбор множества трёхмерных точек и ломаных линий для создания цифровых стереомоделей рельефа.
- Полуавтоматическое выделение дорог, зданий и земельных участков.
- Автоматическое кодирование объектов и присвоение атрибутивной информации.

Модуль Stereo Analyst для ArcGIS поддерживает все форматы растровых и векторных данных, используемых в ERDAS Imagine, в т.ч. TIFF, GIF, Jpeg, Generic Binary, Raw Binary, MrSID, ERDAS Imagine LAN и IMG. Также Stereo Analyst поддерживает форматы данных для описания моделей, которые могут напрямую использоваться в Virtual GIS, например, формат MultiGen (см. п. 5.7). Stereo Analyst позволяет просматривать свойства моделей сенсоров и блоков изображений ERDAS Imagine OrthoBASE.

В заключение отметим, что все программные продукты серии ArcGIS построены на общей открытой объектно-ориентированной архитектуре, основанной на технологии ActiveX. К каждому объекту в ArcGIS (внутри пользовательского приложения ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox или ArcScene, внутри любого дополнительного модуля к ArcGIS или на сервере пространственных данных) можно получить прямой доступ через стандартные ActiveX-интерфейсы. Всё это позволяет пользователям и сторонним разработчикам при необходимости наращивать функциональность ГИС, используя любой язык программирования, поддерживающий технологию ActiveX, например Visual Basic, C++ или Delphi. Помимо этого, можно использовать язык Visual Basic for Applications, непосредственно встроенный в приложения ArcMap, ArcCatalog и ArcScene.

7.2.2. MapInfo 7.8

Геоинформационная система MapInfo (последняя версия 7.8), производства одноимённой американской компании MapInfo Corp., является второй по распространённости в мире и в России геоинформационной системой (рис. 7.12). Система обладает большим количеством разнообразных функций и дополнительных модулей, позволяющих решать многие ГИС-задачи, однако в целом эта система заметно проще, чем ArcGIS.

Основным местом хранения векторных пространственных данных в MapInfo являются так называемые *таблицы* – файлы с расширением tab. В этих файлах данные хранятся в виде, аналогичном реляционным таблицам в базе данных. Кроме tab-файлов, пространственные данные в MapInfo могут храниться в реляционных базах данных под управлением СУБД Oracle, Informix и SQL server, дополненных программным продуктом SpatialWare производства корпорации MapInfo.

Рис. 7.12. Внешний вид полнофункциональной ГИС MapInfo

SpatialWare расширяет возможности базовой СУБД новыми допустимыми типами объектов, а также функциями индексации и анализа пространственных отношений объектов. В некотором смысле SpatialWare является упрощённым аналогом серверной технологии ArcSDE компании ESRI.

Для точечных объектов MapInfo поддерживает ещё одну возможность хранения. Точки могут непосредственно загружаться из текстовых файлов, из электронных таблиц Microsoft Excel и Lotus 1-2-3, а также из таблиц различных баз данных, включая файлы Microsoft Access (файлы *.MDB) и dBase (файлы *.DBF).

ГИС MapInfo имеет достаточно мощные средства подготовки картографических материалов. Как и во многих других ГИС, в MapInfo имеются различные средства визуализации пространственных данных, а также средства подготовки макетов карт для печати. Однако MapInfo пошла дальше. Эта система поддерживает технологию OLE2 в режиме «сервера», позволяя вставлять (и впоследствии изменять) карты MapInfo непосредственно в любые другие документы пользователя, например в документы Microsoft Word, в таблицы Microsoft Excel или в презентации Microsoft PowerPoint.

ГИС MapInfo позволяет работать по технологии OLE2 и в обратную сторону – в режиме «клиента». Это даёт возможность, в свою очередь, вставлять в карты MapInfo любые другие документы, созданные в приложениях, поддерживающих режим «сервера» технологии OLE2. Например,

на карту в качестве дополнительной информации можно поместить таблицу, созданную средствами Microsoft Excel.

MapInfo имеет достаточно большой модуль деловой графики, позволяющий создавать на основе имеющихся в слоях карты информации разнообразные графики (площадные, столбчатые, линейные, точечные, пузырьковые, круговые диаграммы, трёхмерные графики, колонки, гистограммы и поверхности).

Система MapInfo поддерживает базовые функции для работы с растровыми изображениями (монохромными, полутоновыми и полноцветными). Растры могут загружаться непосредственно из указанного файла либо через Интернет с любых серверов, работающих по технологии Web Map Service, стандартизированной в рамках консорциума OpenGIS Consortium.

Для расширения своих возможностей ГИС MapInfo предоставляет своим пользователям специальный язык программирования MapBasic, основанный на популярном языке Basic. На языке MapBasic можно создавать свои собственные элементы пользовательского интерфейса, управлять картами и данными. При необходимости, используя MapBasic, можно запустить любую внешнюю программу или вызвать процедуру во внешней динамической библиотеке Windows (файлы с расширением dll).

Благодаря возможности расширения функций MapInfo сторонними разработчиками по всему миру к настоящему времени созданы многочисленные модули расширения, позволяющие широко применять MapInfo.

7.2.3. Autodesk Map 3D 2005

Геоинформационная система Autodesk Map 3D 2005 является надстройкой над популярной универсальной системой автоматизированного проектирования Autodesk AutoCAD 2005 (рис. 7.13). Эта надстройка вносит в знакомую многим проектировщикам среду дополнительные инструменты, обогащающие AutoCAD геоинформационными функциями.

Основными функциями Autodesk Map 3D 2005, добавляемыми в среду AutoCAD, являются следующие:

- Поддержка наиболее распространённых геоинформационных форматов представления данных, как растровых, так и векторных.
- Возможность работы с гораздо большими объёмами данных, чем может позволить AutoCAD.
- Тематическая визуализация пространственных данных.
- Функции построения, визуализации и анализа поверхностей в виде регулярной и нерегулярной моделей данных.

Таким образом, сам по себе программный продукт Autodesk Map 3D 2005 является достаточно простой ГИС, однако тот факт, что он базируется на наиболее широко распространённой в мире платформе AutoCAD, позволяет использовать его в комбинации с другими продуктами для решения уникальных задач. В первую очередь это такие задачи, в которых требуются комбинированные возможности ГИС и САПР, например задачи управления инженерными сетями и транспортной инфраструктурой.

Рис. 7.13. Внешний вид ГИС Autodesk Map 3D 2005

В дополнение к ГИС Autodesk Map 3D 2005 фирма-производитель Autodesk выпускает ещё ряд сопутствующих продуктов, позволяющих создавать для пользователей полноценные ГИС-решения.

Так, продукт **Autodesk Survey 2005** позволяет автоматизировать процесс обработки данных геодезических изысканий. С его помощью можно напрямую вводить данные с наиболее распространённых геодезических и спутниковых навигационных приборов. После ввода в программу теодолитных (тахеометрических) ходов, уравнивания ходов и обработки съёмочных измерений можно легко создавать пространственные объекты непосредственно в среде Autodesk Map 3D 2005. Если геодезические изыскания выполнялись с вводом специальных кодов классификации, то пространственные объекты могут быть созданы вообще автоматически.

Программа **Autodesk Raster Design 2005** предназначена для обработки растровых изображения, их трансформации для привязки к географическим координатам, а также для автоматической и полуавтоматической векторизации.

Autodesk GIS Design Server предназначен для хранения карт в базе данных на сервере Oracle. С его помощью можно выполнять параллельную работу с одними и теми же пространственными данными безо всяких проблем. При этом для пользователя работа с удалённым сервером внешне ничем не отличается от работы с привычными файловыми данными.

Программный продукт **Autodesk Map Guide** предназначен для публикации карт в Интернете. С помощью программы Autodesk Map Guide Author карты готовятся к публикации. С её помощью можно добавить новые слои на карту и задать параметры их визуализации. В дальнейшем подготовленная карта помещается на Web-сервер для её просмотра обычными браузерами Интернета (рис. 7.14).

Рис. 7.14. Просмотр через браузер Интернета карты, созданной средствами Autodesk Map Guide

В заключение рассмотрим ещё один программный продукт, выпускаемый компанией Autodesk. Программа **Autodesk Envision** является программной средой, предназначенной для совместной работы над картами, чертежами и инженерными данными. Простые в использовании функции электронных пометок и правки позволяют выделять спорные моменты на картах и чертежах, обеспечивая эффективную совместную работу над проектом. Поддерживается работа с векторными и растровыми изображениями, а также текстовыми файлами данных.

7.2.4. GeoMedia 5.2

Геоинформационная система GeoMedia 5.2 разработана в компании Intergraph Corp. Особенностью данной ГИС является то, что это первая в мире ГИС, разработанная полностью в соответствии со спецификациями консорциума Open GIS Consortium. Этот консорциум был основан не-

сколько лет назад для стандартизации различных вопросов создания геоинформационных систем, например форматов представления пространственных данных. Сама же компания Intergraph Corp. является одним из основателей и наиболее активных участников этого консорциума.

Внешний вид ГИС GeoMedia представлен на рис. 7.15.

Рис. 7.15. Внешний вид полнофункциональной геоинформационной системы GeoMedia

Функциональные возможности ГИС GeoMedia во многом аналогичны другим продуктам. Система поддерживает работу с самыми разнообразными типами данных, хранящимися как в файлах, так и в реляционных базах данных Oracle10*g*, Microsoft SQL Server, Microsoft Access, IBM DB2. Помимо обычных геоинформационных данных, в GeoMedia могут быть использованы чертежи в форматах MGE, Microstation, AutoCAD, FRAMME.

На основе ГИС GeoMedia разработано множество дополнительных модулей и приложений:

GeoMedia Terrain. Этот модуль предназначен для моделирования и анализа поверхностей, заданных в виде регулярной (растровой) и нерегулярной триангуляционной моделей поверхностей. Модуль позволяет выполнять интерполяцию высот, построение профилей, изолиний, изоконтуров, изоклин, а также зон видимости. Полученную поверхность можно просмотреть в окне трёхмерной визуализации.

GeoMedia Grid. Этот модуль предназначен для выполнения пространственного анализа на основе растровых моделей данных, включая преобразование данных между векторными и растровыми форматами, выполнение операций алгебры карт.

GeoMedia Transportation Analyst. Это модуль позволяет выполнять различные виды транспортных расчётов, включая поиск кратчайших маршрутов, определение ближайших сервисных пунктов, расчёт зон транспортного обслуживания и пр.

GeoMedia Transportation Manager. Этот модуль предназначен для управления транспортными (дорожными, железнодорожными, трубопроводными) сетями. Модуль имеет средства для построения транспортных сетей и анализа их корректности. Во многом этот модуль является расширением другого модуля GeoMedia Transportation Analyst, дополняя его новыми функциями анализа сетей.

GeoMedia Transaction Manager. Это приложение предназначено для организации совместной работы (просмотра и редактирования) с картами многих пользователей. С его помощью можно временно заблокировать определённый фрагмент карты, чтобы отредактировать его содержимое. В случае если нужно выполнить значительные изменения всей карты, можно войти в режим «длинной транзакции». При этом для пользователя создаётся новая «версия» – виртуальная копия карты, которую можно редактировать, однако все изменения не будут доступны другим пользователям. По окончании редактирования версию можно объединить с исходной картой, чтобы изменения стали доступны другим пользователям.

Также с помощью GeoMedia Transaction Manager можно выполнять простейшие операции темпорального анализа, определяя какие изменения с объектом были произведены за указанный промежуток времени и как выглядела карта на указанный период времени.

GeoMedia Parcel Manager. Этот модуль предназначен для управления земельными участками. Он предоставляет специальные инструменты для учёта данных геодезических изысканий, автоматического подписывания и нумерации участков, а также для выполнения операций разбиения и объединения земельных участков.

GeoMedia PublicWorks Manager. Этот модуль предназначен для управления водопроводными сетями и сетями водоотведения. С его помощью можно создать трубопроводную сеть, включая трубы, вентили и различные специальные элементы. Дополнительно карта может быть снабжена размерными линиями. Этот модуль позволяет отображать потоки воды и выполнять некоторые специфические расчёты.

GeoMedia WebMap. Этот программный продукт является полноценным Web-сервером, позволяющим публиковать карты в Интернете в целях просмотра и анализа. Специально для подготовки карт к публикации в Интернете имеется программный продукт **GeoMedia WebMap Publisher**.

7.3. Растровые ГИС

7.3.1. ERDAS Imagine 8.7

Растровая ГИС ERDAS Imagine 8.7 – это целый комплекс программных продуктов для обработки данных дистанционного зондирования и работы с пространственными данными. В настоящее время эта система – наиболее распространённая в мире среди растровых ГИС.

Эта система, в отличие от многих современных ГИС, является многоплатформенной. Она может функционировать на обычных персональных компьютерах (под управлением Windows NT/2000/XP/Vista), а также на мощных рабочих станциях серий Silicon Graphics SGI R4400+ (под управление IRIX 6.5.x), Sun SPARCstation (под управлением Solaris 7.0 и 8.0) и IBM RS/6000 Workstation (под управлением AIX 4.3.3).

Именно из-за многоплатформенности эта ГИС имеет несколько непривычный для обычных пользователей интерфейс, так как на разных платформах принципы построения пользовательского интерфейса разные, а за основу разработчиками был взят интерфейс типа Unix (рис. 7.16–7.17).

Рис. 7.16. Внешний вид растровой геоинформационной системы ERDAS Imagine 8.7

Несмотря на то, что ERDAS Imagine 8.7 называют растровой ГИС, она обладает многими функциями, свойственными векторным программным продуктам. Эта ГИС изначально создавалась при тесном сотрудничестве с компанией ESRI – разработчиком программных продуктов серии ArcGIS, а поэтому ERDAS Imagine 8.7 поддерживает практически все виды данных, имеющиеся в ArcGIS. Однако несмотря на это, ERDAS Imagine

используется в первую очередь для работы с тематическими и спектральными растрами, полученными в результате аэро- или космосъёмки.

ERDAS Imagine предлагается производителем в трёх версиях от более простой к более сложной: Imagine Essentials, Imagine Advantage и Imagine Professional.

Пакет **Imagine Essentials** включает основные инструменты для работы с картами: создание и управление слоями, редактирование и визуализацию растровых и векторных данных.

Пакет **Imagine Advantage** дополнительно предлагает средства для ортокоррекции изображений, построения мозаик растров из множества отдельных растров, интерполяции поверхностей на основе нерегулярного набора высотных точек, а также многочисленные инструменты для обработки растров и пространственного анализа. Для автоматизации работы с растрами Imagine Advantage предлагает специальный язык программирования Spatial Modeling Language (SML).

Пакет **Imagine Professional** в дополнение ко всем функциям, имеющимся в Essentials и Advantage, предлагает ещё несколько модулей:

Рис. 7.17. Выполнение спектрального анализа растровых изображений в ГИС ERDAS Imagine 8.7

Модуль **Imagine Expert Classifier** предназначен для управления и применения знаний, полученных ранее при дешифрировании растровых изображений.

Модуль **Multispectral Classification** предназначен для дешифрирования мультиспектральных снимков с помощью методов нечёткой логики, управляемой и неуправляемой классификации.

Модуль **Model Maker** – это графический инструмент, с помощью которого можно быстро создать и выполнить схему обработки снимков.

Модуль **Imagine Radar Interpreter** предназначен для обработки растров, полученных с помощью сенсоров, работающих в невидимом диапазоне волн.

Помимо базовых пакетов, для ERDAS Imagine разработано множество дополнительных программных продуктов.

Например, продукт **ERDAS OrthoBASE** позволяет выполнять полный цикл фотограмметрических работ для построения точных трёхмерных моделей местности по стереоснимкам.

Продукт **ERDAS VirtualGIS** предназначен для трёхмерной визуализации пространственных данных, включая модели поверхности, растры и векторные данные (рис. 7.18).

Рис. 7.18. Просмотр трёхмерной карты с помощью модуля ERDAS VirtualGIS

7.3.2. ER Mapper 6.4

Растровая ГИС ER Mapper 6.4 (производства компании Earth Resource Mapper) является одной из мощнейших в мире программ для обработки ДДЗ, уступающей по своей функциональности только ERDAS Imagine. Как и ERDAS Imagine, ER Mapper является многоплатформенной системой и работает на Windows 98/Me/NT/2000/XP/Vista, а также на различных вариантах коммерческих Unix (IRIX, Solaris, AIX и др).

ER Mapper может работать со множеством форматов растровых и векторных данных, используемых в ГИС, – всего более 100 форматов.

Основным понятием при обработке растровых данных является «алгоритм» – последовательность действий, которые надо выполнить, чтобы получить конечное обработанное изображение. Таким способом можно однократно настроить процесс обработки растра, а затем многократно его исполнять. При этом промежуточные результаты обработки растров, то есть промежуточные растры, не нужно сохранять на диске, так как они сразу передаются на следующий этап обработки.

Одним из нововведений последних версий этой системы является применение нового формата хранения растровых данных ECW собственной разработки. Этот формат позволил работать с огромными по размеру файлами, занимающими на диске в несжатом состоянии до 50 Тб.

7.3.3. PHOTOMOD

Система PHOTOMOD 3.6 (производитель ЗАО «Ракурс», г. Москва) является полноценной фотограмметрической системой, предназначенной для двумерных и трёхмерных цифровых моделей местности. Эта система работает под управлением операционной системы Windows 98/Me/NT/2000/XP/Vista на обычных персональных компьютерах.

Главным достоинством PHOTOMOD 3.6 в сравнении с западными конкурентами (в лице ERDAS Imagine, ER Mapper и др.) является меньшая цена продукта при достаточно мощной функциональности.

Система PHOTOMOD 3.6 состоит из нескольких отдельных модулей, комбинируя которые, можно решать те или иные задачи общей технологической цепочки построения цифровой модели местности (рис. 7.19).

В состав системы входят 10 основных модулей, а также утилиты для конфигурирования, управления размещением данных, подготовки растровых файлов и т.п.

Модуль **PHOTOMOD Montage Desktop** является основной управляющей оболочкой системы (рис. 7.20). Он используется для создания, копирования, удаления проектов, ввода паспортных данных камер, визуализации блока изображений в соответствии с этапом обработки, загрузки для просмотра и контроля триангуляционных моделей рельефа, матриц высот, векторов и т.д., а также для запуска остальных модулей системы. Средствами этого модуля производится построение единой ЦМР и изолиний на блок изображений, а также импорт и экспорт тех или иных видов объектов.

Рис. 7.19. Технологическая схема обработки проекта в системе PHOTOMOD

Рис. 7.20. Главное окно программы PHOTOMOD Montage Desktop

Модуль **PHOTOMOD AT** предназначен для сбора данных для уравнивания сетей блочной и маршрутной фототриангуляции, включая внутреннее ориентирование, измерение опорных и связующих точек. Измерение и перенос связующих и опорных точек могут выполняться в автоматическом режиме (с помощью коррелятора) или вручную в стереорежиме. Модуль содержит средства контроля точности по смежным моделям и остаточному поперечному параллаксу.

Модуль **PHOTOMOD Solver** предназначен для уравнивания сети фототриангуляции. Инструменты контроля точности и графические средства представления и анализа ошибок обеспечивают успешную реализацию проекта фототриангуляции и в конечном счёте надежность и высокое качество выходных продуктов: ЦМР, ортофотопланов и цифровых карт. Средства обмена через формат PAT-B позволяют использовать систему PHOTOMOD в связке с другими фотограмметрическими системами.

Модуль **PHOTOMOD DTM** предназначен для построения ЦМР (в виде регулярной или нерегулярной триангуляционной сети, в виде пикетов, структурных линий и горизонталей) . Система поддерживает набор алгоритмов автоматического построения триангуляционной ЦМР, а также позволяет использовать различные алгоритмы внутри выбранных областей модели. Структурные линии подключаются к триангуляционной ЦМР для её уточнения вдоль протяжённых форм рельефа. Редактирование модели рельефа производится в стереорежиме и в специальном 3D-окне. Модуль содержит набор инструментов группового и одиночного редактирования вершин и треугольников триангуляционной ЦМР, автоматической фильтрации выбросов и контроля точности модели рельефа, редактирования и сглаживания структурных линий и горизонталей, конвертации ЦМР между регулярным и нерегулярным форматами.

Модуль **PHOTOMOD StereoDraw** предназначен для создания и редактирования трёхмерных векторных объектов в стереорежиме (с использованием затворных или анаглифических очков), а также для проведения трёхмерных измерений. Данный модуль содержит такие инструменты, как автоматическое перемещение курсора по рельефу, двумерное и трёхмерное прилипание, векторизация сегментов линий под прямым углом, копирование векторных объектов, автоматическое проведение линии вдоль границы существующего объекта, построение буферных зон и др.

Модуль **PHOTOMOD Mosaic** предназначен для создания ортофотопланов по аэрофотоснимкам или спутниковым сканерным изображениям на основе ЦМР, построенной в модуле PHOTOMOD DTM или импортированной из набора форматов. Модуль содержит удобный редактор проведения «порезов» для выделения фрагментов исходных изображений, включаемых в мозаику. Инструменты автоматического яркостного выравнивания и обработки порезов обеспечивают отсутствие швов на выходном изображении. Ортофотоплан создаётся с заданным размером элемента на местности и геопривязкой (предусмотрен прямой экспорт в MapInfo и ArcGIS, а также сохранение мозаики в формат GeoTIFF). Поддерживается

нарезка на листы или трапеции заданного пользователем размера. Система осуществляет контроль точности построения ортофотоплана по опорным и контрольным точкам.

Модуль **PHOTOMOD VectOr** предназначен для создания электронных карт. Построенные в модуле PHOTOMOD Mosaic ортоизображения могут быть загружены в PHOTOMOD VectOr для моновекторизации. Модуль включает в себя векторный редактор, возможности поиска и выделения объектов по запросу, библиотеку условных знаков, инструменты создания зарамочного оформления, сводки и нарезки номенклатурных листов, построения буферных зон и многие другие функции. К средствам работы с моделью рельефа относятся инструменты построения горизонталей, профилей и моделей видимости.

Модуль **PHOTOMOD StereoVectOr** предназначен для параллельной работы с картой формата VectOr в стерео (PHOTOMOD StereoDraw) и моно (PHOTOMOD VectOr) окнах. Моноокно используется для отображения и редактирования карты в условных знаках. При работе с модулем удобен двухмониторный режим. Предназначен главным образом для обновления существующих векторных карт.

Модуль **PHOTOMOD StereoLink** предназначен для выполнения стереосъёмки объектов местности, в том числе объектов ЦМР, в среде MicroStation. Позволяет осуществлять стереонаблюдение ориентированных пар снимков, коррекцию фотометрических параметров снимков стереопары, измерения пространственных координат местности и стереосъёмку объектов местности, а также создавать таблицы объектов, подлежащих съёмке.

Модуль **PHOTOMOD ScanCorrect** предназначен для геометрической калибровки планшетных сканеров. Модуль позволяет использовать недорогие полиграфические сканеры в точной цифровой фотограмметрии после их специальной калибровки. Изображения, оцифрованные на планшетном сканере, исправляются данным модулем с целью устранения ошибок сканирования.

7.4. Средства обработки геодезических данных

Структура и состав геодезических работ были представлены в п. 3.8. В данном разделе мы рассмотрим программное обеспечение, позволяющее выполнять их обработку и передавать результаты в ГИС.

Процесс обработки геодезических данных заключается во вводе данных в виде тахеометрического, пикетажного и нивелировочного журналов, уравнивании теодолитных (тахеометрических) сетей, обработке геодезических построений (различного рода засечек), а также генерации итоговых координат съёмочных точек.

Для обработки геодезических данных существует достаточно много программного обеспечения, которое можно поделить на два вида:

1. Независимые геодезические программы.
2. Геодезические программы, интегрированные в ГИС или САПР.

В принципе оба этих вида программ решают поставленные им задачи, однако интегрированные программы обладают рядом существенных преимуществ.

Во-первых, геодезические данные в процессе ввода могут сразу же отображаться на плане местности в виде линий прохождения теодолитного хода и направлений на съёмочные точки, позволяя изыскателю визуально оценить данные и обнаружить заведомо ложные сведения (грубые ошибки при задании углов и расстояний). В независимой геодезической программе, не имея никакой картографической основы, достаточно трудно представить, как проложен теодолитный (тахеометрический) ход на местности и каким реальным объектам соответствуют съёмочные точки.

Во-вторых, обработанные геодезические данные в среде ГИС и САПР можно непосредственно передавать в объекты карты в виде вычисленных координат, а также можно сразу заносить атрибуты этих пространственных объектов.

Несмотря на солидные преимущества от интеграции, в ГИС обработка геодезических данных не является широко распространённой функцией. ГИС, ориентированные на работу в мелком масштабе, а также ГИС-вьюеры вообще не содержат никаких геодезических функций.

В настоящее время в России используется множество различных независимых геодезических программ, например CREDO_DAT 3.0 (разработка «Кредо-Диалог», г. Минск, Белоруссия), ГИС-конструктор «Геодезия» (ЗАО ЦКМ, Московская область), Pythagoras (ADW Software, Бельгия), GeoniCS (НПЦ «ГЕОНИКА», г. Киев и РУМБ, г. Москва) и IndorSurvey (ООО «ИндорСофт», г. Томск).

Результатом работы таких программ является текстовый файл с обработанными координатами съёмочных точек. Часть геодезических программ позволяет экспортировать обработанные точки в некоторых форматах, общераспространённых в ГИС. Обычно это точечные шейп-файлы (SHP), обменные форматы MapInfo (MIF) или AutoCAD (DXF).

Интегрированные геодезические программы, как правило, являются некоторым дополнительным модулем, подключаемым к основной ГИС. Такие модули имеются во многих зарубежных полнофункциональных ГИС: в ArcGIS, MapInfo, AutoCAD Map. Среди российских ГИС подобный модуль под названием IndorSurvey имеется в IndorGIS (см. гл. 9).

7.5. Векторизаторы

Векторизация сканированных растров является одним из важнейших источников пространственных данных в ГИС (см. п. 3.6).

Все программные средства для векторизации можно разделить на две группы: интегрированные в ГИС и независимые. Несмотря на значительные преимущества интегрированных векторизаторов, в Российской Федерации наиболее распространены независимые, такие как MapEdit, EasyTrace, RasterDesk, Spotlight.

7.5.1. MapEDIT 5.0

Векторизатор MapEDIT 5.0 (производитель ЗАО «Резидент», г. Москва) является одной из самых популярных в России программ для автоматизированной векторизации картографических материалов (рис. 7.21).

Рис. 7.21. Главное окно векторизатора MapEDIT

Векторизатор MapEDIT обеспечивает решение следующих задач:

- выполнение автоматизированной и ручной векторизации по монохромным и цветным растрам с разделением объектов по слоям;
- занесение атрибутивных данных объектов в базу данных одновременно с векторизацией;
- исправление искажений бумажных оригиналов и выполнение привязки карты к географическим координатам;
- контроль корректности топологических отношений введённых объектов (построение топологии);
- экспорт полученных цифровых векторных карт и баз данных в основные распространённые форматы ГИС и САПР.

MapEDIT может работать с монохромными и цветными растрами. Поддерживаются более 30 форматов, в т.ч. BMP, PCX, TIFF, Jpeg, GIF.

Оцифровка карты возможна без создания единого растрового поля с последовательным переходом от одного растра к другому. При необходи-

мости MapEDIT позволяет «склеивать» фрагменты карты, хранящиеся в отдельных растровых файлах, в единый файл, трансформировать (выравнивать) растр с учётом произвольной сети картографических реперов.

Для работы с низкокачественными исходными растрами предусмотрены также разнообразные функции предобработки растра, в т.ч.:

- удаление одноцветных объектов малой площади (мусора);
- выделение выбранных цветов, удаление цвета, замена цвета;
- сглаживание линий;
- уменьшение толщины линий;
- ручное рисование (для восстановления плохо различимых деталей изображения).

Обработанные растры могут быть сохранены в исходных растровых форматах.

Создание цифровой векторной карты. Векторизатор MapEDIT позволяет задавать и изменять структуру данных цифровой векторной карты: перечень слоёв, типы объектов для каждого слоя, параметры их отображения, условия трассировки и т.п. Структура вновь создаваемой карты может также задаваться путём копирования структуры ранее созданной карты.

Векторизатор MapEDIT может использоваться для редактирования существующих цифровых векторных карт. Для этого предусмотрена возможность импорта данных из файлов обменного формата MIF геоинформационной системы MapInfo.

Автоматизация оцифровки. Автоматическая трассировка выполняется в двух режимах:

1. *Трассировка линий.* В данном режиме осуществляется автоматическое отслеживание на растре одноцветных линий произвольного типа с сохранением полученной трассы в виде последовательности координат точек, соответствующих середине растровой линии. Эта процедура позволяет автоматически преодолевать препятствия на линии в виде обрывов, разветвлений, пересечений с другими растровыми линиями.

2. *Оконтуривание полигонов.* В данном режиме осуществляется автоматическое отслеживание на растре контуров одноцветных площадных областей произвольного вида с сохранением полученного контура в виде последовательности координат точек, соответствующей внутренней границе области.

Ручная векторизация. В случаях, когда линии и контуры плохо различимы и автоматизированная векторизация объектов затруднена или невозможна, объекты цифровой векторной карты могут вводиться с помощью инструментов ручной векторизации. При ручной векторизации оператор ставит точки на карте, совмещая их с видимыми на растре объектами.

В процессе ручной векторизации может использоваться режим совмещения с линией растра, при котором поставленная точка или отрезок подтягиваются к середине векторизуемой линии на растре.

Вспомогательные режимы. При автоматизированной и ручной векторизации положение вводимых узлов линий (контуров) может автоматически уточняться в соответствии с априорно заданным характером линии или контура. Предусмотрены следующие режимы уточнения:

1. *Совмещение с линией вектора*. Если очередной поставленный узел оказывается в непосредственной близости от узла или линии ранее созданного векторного объекта, узел совмещается с ними.

2. *Прямоугольный/косоугольный объект*. Узлы контура объекта смещаются таким образом, чтобы соединяющая их ломаная линия образовывала прямые/заданные углы.

3. *Параллельность указанному отрезку.* Обеспечивает параллельности вводимой линии предварительно заданному базовому отрезку.

Вышеприведённые режимы могут использоваться одновременно.

Ввод характеристик объектов в базу данных. Занесение атрибутивных данных, характеризующих объект, в базу данных осуществляется в MapEDIT одновременно с векторизацией. По окончании ввода очередного объекта цифровой векторной карты оператор может занести информацию об объекте в базу данных. Тип объекта определяет структуру вводимых атрибутивных данных. Поля заполняются значениями, предусмотренными по умолчанию для этого типа объекта или вводимыми оператором. Для полей, заполняемых оператором, может дополнительно выполняться проверка вводимых значений.

Координирование карты. Векторизатор MapEDIT позволяет работать с прямоугольными и географическими системами координат. Поддерживаются проекции: Гаусса–Крюгера и конические (равноугольная, равнопромежуточная и равновеликая). Предусмотрено изменение параметров проекций пользователем.

Задание произвольного числа реперных точек с известными координатами позволяет получить точную цифровую векторную карту и компенсировать деформации бумажного оригинала, связанные с его печатью, хранением и сканированием. Для ускорения ввода картографических реперов предусмотрен импорт их координат из текстового файла.

Проверка топологической корректности, модели данных. Векторизатор MapEDIT позволяет проверять корректность топологических отношений между объектами карты. Исправление ошибок возможно как в автоматическом, так и в интерактивном режиме. MapEDIT поддерживает и нетопологическую, и топологическую (с метками полигонов) модель представления цифровой векторной карты. Проверка корректности топологических отношений объектов выполняется для обеих моделей.

7.5.2. Easy Trace PRO 7.95

Векторизатор Easy Trace PRO (разработка Easy Trace Group, г. Рязань) также является одним из наиболее популярных в России. Внешний вид векторизатора приведён на рис. 7.22.

Рис. 7.22. Главное окно векторизатора Easy Trace PRO

В основе технологии, реализованной в пакете Easy Trace PRO, лежит мозаичное растрово-векторное поле практически неограниченных размеров. Размеры отдельных растров могут превышать 2 Гб и иметь любую глубину цветности. Многослойная растровая мозаика может состоять из произвольной комбинации растров различной цветности и масштаба.

Количество векторных слоёв в Easy Trace PRO не ограничено. В свою очередь, каждый слой может содержать до миллиона объектов. Таким образом, на одном рабочем месте можно собрать векторное покрытие целого города, содержащее сотни тысяч объектов и связанных с ними атрибутивных данных.

Отметим некоторые основные возможности векторизатора Easy Trace PRO для каждого этапа технологической цепочки переноса картографической информации с бумаги в ГИС.

Этап 1. Сканирование и ввод растровой информации. Сканирование растров может быть выполнено непосредственно из векторизатора, либо можно загрузить существующие файлы в форматах PCX, BMP, RLE, TIFF, JPEG, CALS, CIT и DIB. Графические файлы можно отображать с прозрачными пикселями, организуя многослойные растровые пакеты.

Этап 2. Обработка (подготовка) растров. Векторизатор Easy Trace PRO для этого этапа имеет функции геометрической коррекции и фильтрации растров, привязки растров, объединения растровых фрагментов в единое целое; поддерживает операции цветоделения и создания пакета те-

матических растровых слоёв для цветных растров. При необходимости зашумленные растры можно вручную отредактировать.

Этап 3. Векторизация. Векторизатор Easy Trace PRO может работать в следующих режимах векторизации: автоматическом, полуавтоматическом (самообучающемся), ручном, ортогонализующемся, линеаризующемся. Также возможно выполнение операций выделения границ заливок и восстановления границ заштрихованных областей. Во время векторизации можно сразу же вводить атрибутивные данные, а для типовых значений атрибутов можно задать горячие клавиши.

Этап 4. Редактирование, сшивка и верификация векторных данных. На этом этапе векторизатор позволяет импортировать векторных данных из распространённых ГИС для последующего слияния векторных фрагментов в единое целое и совместного редактирования. Векторизатор имеет встроенные средства выявления ошибок и коррекции создаваемых данных.

Этап 5. Экспорт материалов в ГИС. Результаты могут быть экспортированы в основные форматы ГИС и САПР: SHP, DXF, MIF, GEN, DGN, CSV, ASC, TOP.

Вопросы для самопроверки

1. Какие полнофункциональные ГИС наиболее распространены в мире и почему?
2. Кратко охарактеризуйте ГИС ArcGIS и расскажите, какие задачи можно решать с её помощью.
3. Какие растровые ГИС используются в мире для обработки ДДЗ?
4. Какие бывают средства обработки геодезических данных и каковы их функции? Какие конкретные геодезические программные продукты наиболее часто используются в России?
5. Какие векторизаторы наиболее часто используются в России и каковы их функции?

Глава 8. Универсальная ГИС IndorGIS 5.0

8.1. Общие сведения о системе

Универсальная геоинформационная система IndorGIS 5.0 разработана фирмой ООО «ИндорСофт» (г. Томск). Эта система разрабатывалась с 1996 г. и в предыдущих версиях до 2002 г. называлась ГрафИн.

ГИС IndorGIS 5.0 функционирует под управлением операционных систем Windows 98/Me/NT/2000/XP/Vista фирмы Microsoft (рис. 8.1). Для её работы необходим персональный компьютер с процессором не ниже Pentium III 600 МГц, 128 Мб оперативной памяти, быстрая видеокарта и 50 Мб свободного дискового пространства для полной установки системы.

В настоящее время IndorGIS применяется во многих отраслях экономики. На её основе создано множество прикладных решений для управления автомобильными дорогами и инженерными сетями (электрическими, водопроводными, тепловыми, газовыми, сетями водоотведения), землей и недвижимостью.

Рис. 8.1. Внешний вид полнофункциональной ГИС IndorGIS 5.0

С помощью IndorGIS можно выполнять весь цикл работ – от ввода и редактирования пространственных данных, создания тематических карт до пространственного анализа данных и принятия решений.

Отличительной особенностью ГИС IndorGIS является то, что она поддерживает работу с графическими данными, присущими как ГИС, так и САПР. Это делает систему незаменимой в задачах, требующих комбинированных возможностей ГИС и САПР. Например, в задачах управления городским хозяйством необходимо иметь поверх картографической основы различные схемы инженерных сетей.

ГИС IndorGIS поддерживает все основные модели данных, применяемые в ГИС, в том числе:

- Векторная топологическая модель (покрытие).
- Векторная нетопологическая модель (шейп-файлы).
- САПР-модель (чертежи).
- Растровые изображения.
- Регулярная модель рельефа (регулярная сеть).
- Нерегулярная модель рельефа (триангуляция).
- Модель транспортной сети.
- Рамки оформления (стандартные рамки оформления топографических планов и чертежей).

В IndorGIS для взаимодействия с другими ГИС и САПР имеются средства импорта и экспорта данных в наиболее распространённых форматах, включая обменные форматы ESRI ShapeFile (*.shp), ESRI Coverage (*.E00), MapInfo (*.mif) и AutoCAD (*.dxf). Кроме того, система поддерживает более 20 форматов растровых файлов.

IndorGIS позволяет отображать пространственные объекты, используя около 75 картографических проекций, а также произвольные аффинные и анаморфические преобразования.

Для построения тематических карт IndorGIS обладает разнообразными средствами визуализации. Одним из базовых элементов всех методов визуализации в IndorGIS служит технология ex-шрифтов, позволяющая создавать точечные, линейные и площадные условные знаки произвольной сложности.

Для отображения векторных объектов в IndorGIS имеется множество стандартных визуализаторов:

- *Визуализатор одинаковыми условными знаками*.
- *Визуализатор параметризированными условными знаками*. В этом случае размер, толщина, угол поворота условного знака могут браться автоматически из соответствующего атрибута отображаемого пространственного объекта.
- *Визуализатор разными условными знаками в зависимости от значений атрибутов.* В этом случае конкретный условный знак выбирается в зависимости: а) от значения некоторого атрибута объекта;

б) диапазона, в который попадает значение атрибута; в) произвольного логического условия над любыми атрибутами объекта.

- *Подписывание объектов*.
- *Отрисовка диаграммами*.
- *Отрисовка сплайнами*.
- *Отрисовка точками плотности*. Этот способ визуализации в IndorGIS выгодно отличается от других ГИС тем, что отдельные точки плотности всегда отображаются в одних и тех же местах на карте (в других ГИС при перерисовке карты точки рисуются каждый раз в новых местах). Это очень помогает при подготовке макетов карты к печати.
- *Отрисовка изолиниями*. Этот способ специально предназначен для отрисовки линий, когда требуется сочетать изображение линий и надписей, изгибающихся вдоль данной линии.
- *Объёмная отрисовка*. Этот способ позволяет создать эффект псевдообъёмности объектов на плоской карте.
- *Выпуклая отрисовка*. Этот способ предназначен для декоративной отрисовки объектов.

Ещё одной отличительной особенностью IndorGIS является высочайшее качество карт, выводимых на экран, за счёт сглаживания лестничного эффекта. При этом человеческий глаз практически не может заметить пиксельной природы изображения на экране (рис. 8.2).

Рис. 8.2. Пример отрисовки карт в окне ГИС IndorGIS:
а – обычная отрисовка; *б* – высококачественная

Система IndorGIS обладает мощными средствами пространственного анализа, включая функции векторного анализа (разрезание объектов, построение оверлеев, буферных зон, зон близости, взвешенных зон близости и пр.), функции анализа поверхностей (построение изолиний, изоконтуров, изоклин, анализ видимости, расчёт объёмов земляных работ и пр.), функции сетевого анализа и др.

Специально для дорожной отрасли в ГИС IndorGIS встроены специальные модели данных (транспортные сети, пикетажная система координат), инструменты для транспортного анализа, методы визуализации автомобильных дорог и сетей, технология работы с видеорядами линейно-протяжённых объектов и многое другое.

Большинство примеров карт и рабочих окон ГИС, приведённых в данной книге, получено именно с использованием ГИС IndorGIS 5.0, что показывает мощь этой российской разработки, позволяющей решать огромное количество задач геоинформатики.

В следующих разделах кратко рассмотрим основные приёмы работы в ГИС IndorGIS 5.0.

8.2. Управление проектами и картами

Основным рабочим пространством в ГИС IndorGIS является *проект*. Каждый проект может содержать множество различных карт, текстовых документов, графических изображений, баз данных и пр.

После запуска системы IndorGIS открывается окно *менеджера проектов* (рис. 8.3). Оно предназначено для управления всеми рабочими документами, такими как проекты, карты, текстовые документы, объекты OLE, растровые изображения, интерфейсы с базами данных.

Рис. 8.3. Окно менеджера проектов

В левой части окна расположено *дерево проектов*. Оно содержит все текущие рабочие проекты. Каждому проекту соответствует отдельная ветвь дерева.

Чтобы увидеть состав проекта, нужно нажать на знак «**+**», который находится рядом с названием проекта. В дереве отображаются все карты, текстовые документы и т.д., входящие в состав проекта (рис. 8.4).

Рис. 8.4. Дерево рабочих проектов

Если выделить один из проектов в дереве, то в правой части окна менеджера проектов отобразится информация о проекте, включающая в себя сведения об авторе проекта, учреждении, имя файла проекта и краткое описание. Если выделить любой другой документ в проекте, то в правой части также появится краткая информация об этом документе.

В верхней части окна менеджера проектов находится главное меню и панели инструментов. Главное меню содержит все доступные в данный момент команды системы (рис. 8.5).

Рис. 8.5. Главное меню менеджера проектов

Кнопки панелей инструментов дублируют команды главного меню и обеспечивают быстрый доступ к командам. Они расположены под главным меню (рис. 8.6).

Рис. 8.6. Панели инструментов менеджера проектов

Открытие любого документа в проекте осуществляется из окна менеджера проектов. Для этого нужно дважды щёлкнуть мышкой на названии документа в дереве проектов либо открыть контекстное меню щелчком правой кнопки мышки на документе и выполнить команду **Открыть** (рис. 8.7).

Рис. 8.7. Открытие документа

При выполнении этой команды появляется окно редактора для открываемого документа. Если это карта, то открывается окно *редактора карт*, если растровое изображение – открывается *растровый редактор*, для текстовых документов открывается *текстовый редактор*.

Интерфейс менеджера проектов и всех редакторов реализован по одному принципу (рис. 8.8). В верхней части окна находится главное меню. Под ним расположены панели инструментов. Следует отметить, что набор команд в главном меню и кнопок на панелях инструментов соответствует редактируемому документу.

В менеджере проектов главное меню содержит команды для управления всеми рабочими документами (создание проектов, документов в проектах, организация документов в папки, удаление документов).

Редактор карт содержит инструменты для создания и редактирования карт, текстовый редактор – инструменты форматирования текста, растровый редактор предоставляет возможности для редактирования растровых изображений.

В центре окна любого редактора находится область просмотра и редактирования документа (рис. 8.9). В редакторе карт в левой части отображается дерево слоёв. Оно содержит список всех слоёв, из которых состоит карта.

Рис. 8.8. Редактор карт

Рис. 8.9. Растровый редактор

8.2.1. Настройки системы, проекта, карты, слоя

В процессе ввода, редактирования и анализа данных в системе IndorGIS возникает необходимость настройки различных параметров системы. В соответствии со структурой проекта в IndorGIS можно настраивать параметры системы, проекта, карты или слоя.

Диалоговое окно настройки *параметров системы* открывается командой **Настройка…** в меню **Сервис** (рис. 8.10). В этом окне можно задать параметры предварительного просмотра документов проекта, включить автосохранение проектов и создание резервных копий слоёв, задать способ выделения объектов на карте (цвет, которым отображаются выделенные объекты, форма узловых точек и т.д.), установить планшетную привязку, задать автоудаление близких вершин в полилиниях и полигонах,

Рис. 8.10. Окно настройки параметров системы

способ отрисовки ex-шрифтов, режим отрисовки растров, максимально возможное количество откатов при редактировании фигур на карте, уровень детализации при ведении журнала событий и файл, в котором он размещается, и т.д.

Чтобы открыть окно настройки параметров какого-либо проекта, нужно переключиться в окно менеджера проектов, выделить нужный проект в дереве проектов и выполнить в контекстном меню (рис. 8.11) команду **Свойства…**.

Рис. 8.11. Открытие окна свойств проекта

В диалоговом окне настройки *параметров проекта* (рис. 8.12) можно получить краткую информацию о файле проекта: его размер, время создания, изменения, атрибуты файла, установить пароль блокировки на редактирование. Также можно указать руководителя проекта, учреждение, в котором выполнялись работы над проектом, и краткое описание проекта, отображающееся в менеджере проектов. На третьей закладке отображаются подключенные к проекту интерфейсы баз данных.

Рис. 8.12. Окно настройки свойств проекта

При работе с картой поведение редактора во многих случаях может быть настроено с помощью диалога настройки *параметров карты*. Чтобы открыть окно настройки параметров карты, следует выполнить в окне редактора карт команду **Параметры карты…** в меню **Карта** (рис. 8.13).

Рис. 8.13. Окно настройки свойств карты

В этом окне можно получить краткую информацию о карте: тему, автора, руководителя, учреждение, в котором выполнен документ; задать описание карты, отображающееся в менеджере проектов, заблокировать свойства карты от изменений, указать зону отсечения изображения. Зона

отсечения определяет область, за пределами которой изображение карты не рисуется.

Также можно задать тип системы координат, единицы карты, единицы измерения длин и площадей, установить диапазон масштабов, при которых карта отображается на экране.

В окне настройки карты задаются параметры вспомогательной сетки, которая используется при вводе и редактировании фигур на карте, настраиваются режимы, доступные при работе с картой, устанавливается планшетная привязка. Также в этом окне можно подключать к карте интерфейсы баз данных.

Окно настройки *свойств слоя* открывается при выполнении команды **Свойства…** в меню **Слой** главного меню или в контекстном меню слоя (при этом слой должен быть выделен в дереве).

В этом окне (рис. 8.14) можно получить краткую информацию о слое, такую как тип слоя, количество фигур на слое, задать описание слоя и зону отсечения изображения. Зона отсечения определяет ту область, за пределами которой изображение слоя не рисуется.

Рис. 8.14. Окно настройки свойств слоя

Для каждого слоя можно задать минимальный и максимальный масштабы отображения. В этом случае если текущий масштаб карты выходит за пределы указанного диапазона, то слой не будет видим.

В окне настроек определяются визуализаторы для слоя и создаются атрибуты слоя. Также для слоя можно задать параметры подтяжки объектов слоя.

Кроме этого, можно определить для слоя параметры геокода, с помощью которого можно быстро находить на карте именованные объекты, здания по адресу и т.д.; параметры горячей связи, которая предназначена для связи объектов на карте с некоторыми другими объектами, например с

другими картами, проектами, растровыми изображениями и т.д.; формат получаемой информации по объектам слоя в режиме краткой информации.

8.3. Создание новых объектов

Каждый слой на карте в зависимости от своего типа (слой точек, слой полилиний, слой площадных объектов, слой покрытия и т.д.) может содержать определённый набор типов объектов.

Например, в слое точек (точечном слое шейп-файлов) могут присутствовать объекты только одного типа: • **Точка**. В слое полилиний могут быть созданы объекты **Отрезок**, **Полилиния**, **Прямоугольник**, **Окружность**, **Эллипс**, в слое площадных объектов (полигонов) – **Полигон**, **Прямоугольник**, **Круг**, **Эллипс**, в слое покрытия – **Узел**, **Дуга**, **Регион** и т.д.

Создание новых объектов осуществляется в специальном режиме. Этому режиму соответствует кнопка на панели инструментов **Режимы работы** (рис. 8.15). Набор объектов, которые могут быть созданы на карте, зависит от того, какой слой в данный момент является активным. Если в активном слое могут присутствовать несколько типов объектов, то кнопка, соответствующая режиму создания новых объектов, содержит всплывающую панель инструментов.

Рис. 8.15. Выбор режима создания новых объектов

8.3.1. Создание точечных объектов

Точечные объекты на карте можно создавать вручную, указывая щелчком мышки приблизительное положение точки, или по известным координатам, когда точечный объект на карте создаётся в точке с заданными

координатами. Положение созданной точки всегда можно уточнить, указав её точные координаты или переместив её на карте с помощью мышки.

Для примера создадим на карте Томской области новую автозаправочную станцию. Для этого нужно выделить в дереве слоёв точечный слой АЗС (рис. 8.16). Этот слой представляет автозаправочные станции на территории Томской области. Затем нужно выбрать режим создания точки (см. рис. 8.15). После этого надо щёлкнуть мышкой в том месте на карте, где должен располагаться точечный объект (рис. 8.17). Созданный точечный объект отображается на карте в соответствии с настройками визуализации слоя.

Рис. 8.16. Выделение слоя в дереве слоёв

Рис. 8.17. Создание точки на карте

Если известны точные координаты создаваемого точечного объекта, то можно использовать режим ввода точек по координатам. Для этого надо выделить слой, в котором должен быть создан объект, и включить режим ввода фигур по координатам соответствующей кнопкой на панели инструментов (рис. 8.18). После этого в диалоговом окне, которое открывается по этой команде, нужно ввести координаты точки (рис. 8.19).

Рис. 8.18. Выбор режима ввода точек по координатам

Рис. 8.19. Ввод точечного объекта по координатам

При нажатии кнопки **ОК** на карте создаётся точечный объект в точке с указанными координатами (рис. 8.20).

Рис. 8.20. Создание точки по координатам

8.3.2. Создание полилиний и полигонов

Чтобы создать полилинию (или полигон), необходимо задать узловые точки, входящие в контур полилинии. В самом простом случае они могут быть заданы визуально по карте (последовательными щелчками мышки). Если известны точные координаты всех узловых точек, может быть использован режим ввода фигур по координатам.

Кроме этого, можно создавать очередную узловую точку полилинии на основе узловых точек других объектов, уже созданных точек в данной полилинии или произвольных точек на карте. Например, в качестве очередной точки полилинии можно использовать точку пересечения двух указанных отрезков, в качестве четвёртой узловой точки полигона – точку, являющуюся четвёртой вершиной параллелограмма, построенного по трем предыдущим узловым точкам, и т.д.

Для примера нарисуем ось некоторой улицы на карте города. Для этого нужно выделить слой полилиний, представляющий оси, включить режим создания полилинии (рис. 8.21), а затем последовательными щелчками мышки ввести узловые точки полилинии (рис. 8.22). На карте при этом отображается фигура, представляющая набор сегментов, соединяющих соседние узловые точки. Когда будет указана последняя узловая точка

Рис. 8.21. Выбор режима рисования полилиний

Рис. 8.22. Создание полилинии

полилинии, нужно нажать правую кнопку мышки или клавишу **Enter** для завершения ввода объекта.

Если выделить построенную полилинию, то на ней также отобразятся узловые точки (рис. 8.23). Подробнее режим выделения объектов и способы редактирования узловых точек рассматриваются ниже в п. 8.4.

Рис. 8.23. Выделенная полилиния

Способы создания полигона и полилинии аналогичны (последовательно указываются узловые точки объектов). Отличие состоит в том, что при построении полигона первая и последняя узловые точки всегда соединяются отрезком, поскольку полигон – замкнутая фигура.

Для примера создадим на карте города участок озеленения. Для этого надо выделить полигональный слой, представляющий участки озеленения на карте города, включить режим создания полигона, а затем последо-

вательными щелчками мышки указать узловые точки полигона (рис. 8.24). Для завершения рисования объекта следует нажать правую кнопку мышки или клавишу **Enter**.

Рис. 8.24. Создание полигона

В процессе построения полилинии (или полигона) можно открыть контекстное меню (рис. 8.25). Для этого нужно нажать правую кнопку мышки, удерживая при этом нажатой клавишу **Shift**.

Рис. 8.25. Контекстное меню, открываемое при создании объектов

Команды в этом меню позволяют отменить ввод фигуры (✕ **Отменить ввод**), завершить ввод фигуры (✓ **Закончить**) или удалить из фигуры последнюю введённую узловую точку (↶ **Удалить последнюю точку**).

Эти команды можно также выполнять, не вызывая контекстного меню. Для отмены ввода фигуры достаточно нажать клавишу **Esc**, для завершения ввода фигуры – клавишу **Enter**, для удаления последней точки – клавишу **BkSp**.

При построении полилиний (полигонов) можно использовать выравнивание отрезков на определённый угол относительно предыдущего отрезка (угол выравнивания задаётся в окне настройки параметров системы). Для этого во время рисования нужно удерживать нажатой клавишу **Ctrl**.

Если известны точные координаты узловых точек объекта, то можно использовать режим ввода полилиний и полигонов по координатам. Для этого надо выделить слой, в котором должен быть создан объект, включить режим ввода фигур по координатам. В диалоговом окне, которое открывается при выполнении этой команды, нужно ввести координаты узловых точек объекта (рис. 8.26).

Рис. 8.26. Ввод полилинии по координатам

В ситуациях, когда необходимо получить фигуры определённой формы (например, окружность, эллипс или прямоугольник), можно использовать специальные режимы, предназначенные для создания таких фигур. Рисовать окружности и прямоугольники можно в слое полилиний и в слое полигонов. В слое полилиний такие объекты являются замкнутыми контурами без заливки.

8.3.3. Ввод объектов по классификатору

Ввод фигур на карте можно настроить таким образом, чтобы при создании очередного объекта автоматически устанавливались значения каких-то его атрибутов. Для этого необходимо сначала настроить классификатор, после чего создавать объекты в режиме ввода фигур по классификатору.

Для примера настроим классификатор таким образом, чтобы при создании объектов в слое зданий (на карте города) автоматически устанавливалось значение атрибута **Тип здания** (**Type**). Допустим, что этот атрибут в большинстве случаев может принимать одно из трёх значений: *жилое помещение*, *нежилое помещение*, *спортивное сооружение*.

Для начала надо открыть окно настройки классификатора, выполнив команду меню **Карта|Настройка классификатора…**. В этом окне создадим папку классификатора для слоя зданий. Для этого надо нажать кнопку **Папка…** в окне настройки классификатора, а затем в появившемся окне ввести название папки классификатора, краткое описание папки и нажать кнопку **ОК**.

Теперь создадим новый элемент классификатора. Для этого надо нажать кнопку **Элемент…** в окне настройки классификатора. В открывшемся диалоговом окне нужно ввести имя и описание элемента классификатора (рис. 8.27). Далее из выпадающего списка выбрать слой, для которого на

Рис. 8.27. Создание элемента классификатора

страивается классификатор (в данном случае это слой **Здания**), и тип фигуры в этом слое.

В списке **Атрибуты** отображаются все атрибуты выбранного слоя. Для тех атрибутов, значения которых должны заполняться автоматически при создании объекта, необходимо ввести в этом списке нужные значения. В данном примере объекты в слое здания классифицируются по одному атрибуту (по типу зданий). Поэтому надо ввести в поле **Type** значение атрибута, которое определяет здание как жилое, после чего следует нажать кнопку **ОК**.

Аналогичным образом нужно создать ещё два элемента классификатора, определяющие нежилые здания и спортивные сооружения. В результате в окне настройки будут представлены все созданные элементы классификатора (рис. 8.28).

Чтобы изменить настройки элемента классификатора, нужно выделить его в списке и нажать кнопку **Изменить…**. Чтобы удалить элемент из классификации, надо нажать кнопку **Удалить**.

Кроме ручного формирования классификатора, можно автоматически построить дерево классификатора на основе структуры слоёв карты. Для этого надо нажать кнопку **Собрать…**.

Теперь рассмотрим собственно ввод фигур по классификатору. Для примера нарисуем на карте ряд зданий, каждое из которых является жилым домом. Чтобы не выставлять для каждого вновь созданного объекта значение атрибута **Тип здания**, используем режим ввода фигур по классификатору. Для этого надо включить режим ввода фигур по классификатору, затем в открывшемся окне выбрать элемент классификатора **Жилой дом** и нажать кнопку **ОК** (рис. 8.29).

Рис. 8.28. Окно настройки классификатора

Рис. 8.29. Выбор элемента классификатора

Далее нужно нарисовать на карте здание. После этого значение атрибута **Тип здания** у этого объекта автоматически установится равным **living**. Если для слоя задана визуализация по значения данного атрибута, то созданный объект сразу отрисуется на карте тем цветом, который был задан для жилых зданий.

8.3.4. Геометрические и геодезические построения

При создании объектов на карте могут быть использованы различные геометрические построения. Они бывают необходимы, если в процессе создания объекта нужно вычислять координаты его узловых точек на основе узловых точек других объектов, уже созданных точек в данном объекте или произвольных точек на карте.

Например, можно построить очередной сегмент полилинии или полигона заданной длины и под определённым углом к предыдущему сегменту, или использовать в качестве четвёртой узловой точки полигона точку, являющуюся четвёртой вершиной параллелограмма, построенного по трем предыдущим точкам.

Способ задания очередной узловой точки выбирается из контекстного меню. Следует заметить, что его можно вызвать только в процессе создания объекта (то есть должна быть введена хотя бы одна узловая точка полилинии или полигона).

Чтобы открыть контекстное меню, следует нажать правую кнопку мышки, удерживая при этом нажатой клавишу **Shift** (рис. 8.30).

Рис. 8.30. Контекстное меню для выбора способа задания узла объекта

При выполнении в контекстном меню соответствующей команды открывается диалоговое окно, в котором настраиваются параметры выбранного способа задания узла объекта.

Если известны точные координаты очередного узла полилинии или полигона, то можно использовать ввод узловой точки по известным координатам. Допустим, что при рисовании улицы на карте города известна координата очередной узловой точки. Для этого надо открыть контекстное меню, для чего следует щелкнуть правой кнопкой мышки, удерживая нажатой клавишу **Shift**.

Затем выберем в меню команду **По координатам…**, при этом откроется диалоговое окно для ввода координат точки (рис. 8.31). Далее надо ввести в поля **X** и **Y** известные координаты очередной узловой точки объекта. Указанная точка будет отображаться на карте розовым цветом.

Рис. 8.31. Задание координат очередной узловой точки объекта

Если нажать кнопку **Закончить**, то построиться очередной сегмент фигуры, а диалоговое окно закроется.

Если следующую узловую точку тоже нужно вводить по координатам, то надо нажать кнопку **Продолжить**. Тогда очередной сегмент будет построен, но окно закрыто не будет, и можно будет задать следующую точку.

Аналогичным способом выполняются и другие геометрические и геодезические построения, например засечки. При этом также появляется диалоговое окно, как на рис. 8.31, но соответствующее виду построения.

8.4. Редактирование объектов

Любые линейные и полигональные объекты в ГИС IndorGIS состоят из *узловых точек* (или *узлов*) и *сегментов*. Сегмент – это линия, соединяющая две соседние узловые точки объекта.

Форму объекта можно изменить, перемещая его узловые точки, добавляя новые точки к объекту или удаляя существующие точки.

Редактирование узловых точек осуществляется в специальном режиме **Редактирование фигур**. Этому режиму соответствует кнопка на панели инструментов **Режимы работы** (рис. 8.32).

Рис. 8.32. Выбор режима редактирования фигур

Редактирование объекта может находиться в одной из двух фаз:

1. Фаза редактирования узловых точек объекта. В этом состоянии на выделенном объекте визуализируются узловые точки и так называемые *точки настройки* (рис. 8.33). Перемещая узловые точки объекта, можно производить коррекцию геометрии фигуры. При перемещении точки настройки создаётся новая узловая точка объекта. В фазе редактирования узловых точек может находиться одновременно только один объект.

Рис. 8.33. Объект в фазе редактирования узловых точек

2. Фаза блочных операций. В фазе блочных операций может находиться один или несколько объектов. Выделенный блок при этом отрисовывается с пунктирным прямоугольником вокруг, а также со специальными управляющими точками. При перетаскивании мышкой круглых точек происходит вращение объекта, при перемещении квадратных точек происходит растяжение/сжатие объекта, а при перемещении прямоугольных точек меняется угол наклона объекта. Кроме этого, в фазе блочных операций все выделенные объекты (или один объект) можно с помощью мышки синхронно перемещать по карте (рис. 8.34).

Чтобы начать редактирование узловых точек объекта, нужно выделить слой, которому принадлежит объект, включить режим **Редактирование фигур** и щёлкнуть мышкой на объекте.

Объект перейдет в фазу редактирования узловых точек. При этом данный объект станет *выделенным*.

Для того чтобы выделить на карте объект, принадлежащий любому слою (то есть независимо от того, выделен слой, которому принадлежит объект, или нет), нужно удерживать нажатыми клавиши **Shift+Ctrl+Alt** при указании мышкой объекта в режиме **Редактирование фигур**.

Рис. 8.34. Объект в фазе блочных операций

Чтобы перейти в режим выполнения блочных операций, нужно в фазе редактирования узловых точек ещё раз щёлкнуть мышкой на объекте (но не на узловых точках или точках настройки).

Выделенный блок может состоять из нескольких объектов. Чтобы выделить несколько объектов, нужно щёлкать на них мышкой, удерживая нажатой клавишу **Shift** (рис. 8.35). Чтобы снять выделение объектов, нужно щёлкнуть мышкой за пределами выделенного блока.

Рис. 8.35. Несколько выделенных объектов

8.4.1. Редактирование узловых точек объекта

В режиме редактирования узловых точек можно менять форму фигуры путём перемещения узловых точек или точек настройки, добавления новых узловых точек к фигуре или удаления уже существующих. Чтобы изменить положение узловой точки объекта, надо нажать на ней кнопку мышки и, удерживая её нажатой, переместить точку в нужное место, после чего отпустить кнопку мышки (рис. 8.36).

Рис. 8.36. Перемещение узловой точки объекта

Между любыми соседними узловыми точками объекта находится точка настройки, которая изображается с маленьким знаком «+» внутри. При перемещении точки настройки мышкой создаётся новая узловая точка объекта (рис. 8.37).

Рис. 8.37. Перемещение точки настройки объекта и создание нового узла

Для удаления узловых точек необходимо воспользоваться командой в контекстном меню. Для этого надо подвести указатель мышки к узловой точке на объекте, которая должна быть удалена, и открыть контекстное меню щелчком правой кнопки мышки. Затем надо выбрать в подменю **Точки** команду **Удалить точку** (рис. 8.38). Если при вызове контекстного меню курсор мышки не попал в малую окрестность узловой точки, то команда **Удалить точку** будет недоступна.

Рис. 8.38. Контекстное меню для редактирования узловых точек

Перемещая узловые точки с помощью мышки, можно указать только их приблизительное положение на карте. Задавать точные координаты узловых точек можно в специальном окне **Инспектор объектов**. Оно предназначено для редактирования геометрических и атрибутивных значений графических объектов на карте. Что воспользоваться инспектором, нужно включить режим **Редактирование фигур**, указать на карте нужный объект и открыть окно инспектора объектов, выполнив команду меню **Вид|Инспектор объектов** или нажав сочетание клавиш **Ctrl+B**.

В инспекторе объектов отображаются свойства текущего выделенного на карте объекта (рис. 8.39). На закладке **Свойства** можно редактировать геометрические параметры объекта. В поле **Число точек** отображается общее количество узловых точек в контуре объекта, ниже в полях **Точка [i]: X,Y** – координаты всех узловых точек.

Рис. 8.39. Редактирование координат узловых точек в инспекторе объектов

Если щёлкнуть мышкой в поле со значением координаты какой-либо точки, то при этом на карте подсвечивается точка, координата которой выделена в инспекторе объектов (см. рис. 8.39).

Если ввести в поля **Точка 2: X** и **Точка 2: Y** точные координаты узловой точки, то на карте точка переместится в соответствии с указанными координатами.

8.4.2. Перемещение, вращение, растяжение объектов

Когда объект находится в фазе выполнения блочных операций, его можно перемещать с помощью мышки по карте, поворачивать на произвольный угол, менять размер объекта по вертикали или по горизонтали.

Рассмотрим применение блочных операций.

Пусть, например, некоторые объекты выделены и они находятся в фазе выполнения блочных операций.

Чтобы переместить объект в новое место, нужно нажать кнопку мышки на объекте и, не отпуская её, переместить объект в нужное место, после чего отпустить кнопку (рис. 8.40).

Рис. 8.40. Перемещение объекта

Если подвести указатель мышки к круглой управляющей точке (•) и нажать кнопку мышки, то, не отпуская её, можно повернуть объект на произвольный угол. В конце кнопку мышки надо отпустить.

Чтобы изменить размеры объекта (растянуть или сжать по горизонтали или вертикали), нужно подвести указатель мышки к квадратной управляющей точке ( ), нажать кнопку мышки и, не отпуская её, переместить указатель в нужном направлении. Если при этом удерживать нажатой клавишу **Ctrl**, то пропорции размеров объектов сохранятся.

Чтобы изменить угол наклона объекта, надо подвести указатель мышки к прямоугольной управляющей точке ( ), нажать кнопку мышки и, не отпуская её, переместить указатель по горизонтали или вертикали.

8.4.3. Редактирование частей фигур

Для того чтобы переместить или повернуть одновременно только несколько узловых точек объекта, а не всю фигуру, можно использовать режим **Редактирование частей фигур**. Этот режим становится доступным, если на карте выделен ровно один объект (рис. 8.41).

Рис. 8.41. Выбор режима редактирования частей фигур

Чтобы начать изменение нескольких узловых точек фигур, нужно включить режим **Редактирование фигур** и указать мышкой требуемый объект на карте. Затем надо включить режим **Редактирование частей фигур** и указать узловые точки выбранного объекта. Для этого нужно щёлкать на них мышкой, удерживая нажатой клавишу **Shift** (рис. 8.42).

Рис. 8.42. Редактирование частей объекта

Если не требуется избирательно выделять узлы объекта, можно окружить нужные узлы рамкой (прямоугольником) выделения. Это избавляет от необходимости попадать указателем мышки в узел, потому что достаточно, чтобы он просто попал в рамку.

Выделенные узлы отображаются с пунктирным прямоугольником вокруг, а также со специальными управляющими точками (аналогично

объекту в фазе выполнения блочных операций). Перемещая управляющие точки, можно повернуть выделенный блок, изменить его размер или угол наклона.

8.4.4. Привязка к сетке

При рисовании фигур на карте можно использовать *вспомогательную сетку*. Она предназначена для выравнивания и точного позиционирования объектов на карте. Если привязка к сетке включена, то при создании или редактировании объектов на карте координаты всех узловых точек выравниваются по сетке, то есть узловые точки как бы «прилипают» к узлам сетки. Привязку к сетке удобно использовать при рисовании на карте различных диаграмм, схем и т.п.

Шаг сетки можно определить одинаковый для всех слоёв карты. Но в тех случаях, когда в разных слоях объекты рисуются с разной точностью, можно настраивать индивидуальные параметры сетки для каждого слоя.

Команды для настройки параметров сетки находятся на панели инструментов **Настройка карты** (рис. 8.43).

Рис. 8.43. Панель инструментов для управления сеткой

Чтобы включить режим отображения сетки, следует нажать кнопку **Показывать сетку**. При нажатии кнопки появляется меню, в котором можно выбрать стиль отображения сетки на карте (рис. 8.44). Также можно на этой панели указать размер и цвет сетки.

Рис. 8.44. Варианты отображения сетки на карте

После этого на карте будет отображаться сетка в соответствии с заданными настройками. При этом узловые точки объектов при вводе и их перемещении будут попадать точно в узлы сетки (рис. 8.45).

Рис. 8.45. Редактирование узловых точек объекта с привязкой к сетке

8.4.5. Подтяжка объектов к другим объектам на карте

Подтяжка объектов значительно упрощает манипуляции мышкой при вводе и редактировании фигур на карте. Если установлена подтяжка, то при редактировании узловых точек объекта (например, при перемещении) они «подтягиваются» точно к контурам или узлам других объектов. Причем подтяжка объектов конкретного слоя может осуществляться не ко всем объектам на карте, а только к объектам в указанных слоях.

Например, можно использовать подтяжку объектов, если необходимо создавать полилинии таким образом, чтобы начальная точка очередной линии точно совпадала с конечной точкой предыдущей линии. Также подтяжка может использоваться при изображении линий инженерных коммуникаций, подходящих к зданиям. В этом случае начальная или конечная узловая точка линии должна лежать на контуре здания.

При задании параметров подтяжки объектов указываются слои (по приоритету), к которым разрешена подтяжка, и наибольший сдвиг подтяжки. Это значение определяет диапазон, в который нужно попасть указателем мышки, чтобы узел «притягивался» к контурам и узлам объектов в указанных слоях.

8.4.6. Работа с многоконтурными объектами

В системе IndorGIS есть возможность создавать полиполилинии и полиполигоны.

Полиполилиния – это объект, состоящий из двух или нескольких полилиний, но имеющий один набор значений атрибутов в базе данных.

Полиполигон – это объект, состоящий из двух или нескольких полигонов, но имеющий один набор значений атрибутов в базе данных. Например, полиполигоном на карте может быть представлено здание, состоящее из отдельных корпусов и имеющее *дырки* – внутренние дворы.

Графическое представление такого здания – это несколько отдельных контуров, но атрибутивное описание для них одно (например, адрес, тип здания и т.д.).

Создать полиполилинию или полиполигон можно двумя способами:

1. Выделить полигоны (или полилинии), которые являются частями одного объекта, и выполнить команду объединения в полиполигон (или полиполилинию). При этом если для выделенных объектов в базе данных были записаны значения атрибутов, то после выполнения операции объ-

единения в полиполигон или полиполилинию результирующему объекту присваиваются значения атрибутов того объекта, на котором было вызвано контекстное меню.

2. Нарисовать на карте первый контур объекта (полилинию или полигон), затем вызвать из контекстного меню созданного объекта команду создания нового контура и нарисовать следующий контур объекта и т.д.

8.4.7. Поиск некорректных фигур на карте

Для проверки корректности нарисованных на карте фигур можно использовать специальную команду, позволяющую найти и выделить на карте все фигуры, некорректные в некотором смысле. Некорректные фигуры можно искать во всем множестве объектов какого-либо слоя (линейного или полигонального) или только среди выделенных в слое объектов.

Для поиска некорректных фигур в каком-либо слое карты нужно вызвать в меню **Фигуры** команду **Выделение|Специальное выделение|Некорректные фигуры…**. По этой команде открывается диалоговое окно, в котором указываются критерии поиска некорректных фигур на карте (рис. 8.46).

Рис. 8.46. Задание параметров поиска некорректных фигур на карте

В нижней части окна в разделе **Где искать** указывается, где нужно производить поиск некорректных фигур: во всем слое или только среди выделенных на данный момент объектов на карте. Рассмотрим критерии, по которым может осуществляться поиск некорректных фигур на карте.

1. *Количество узловых точек в контуре.* Этот критерий позволяет найти все объекты в слое, у которых количество узловых точек меньше или больше, чем указанные значения.

2. *Угол между смежными сегментами.* В этом случае будут найдены все объекты в слое, имеющие смежные сегменты, угол между которыми меньше указанного значения.

3. Длина сегментов в контуре. Так можно найти все объекты, у которых есть сегменты с длиной меньшей, чем указанное значение.

4. Самопересечение контура. Вы можете найти те объекты в слое, которые имеют самопересекающиеся контуры.

5. Совпадающие вершины. При поиске некорректных фигур совпадающими считаются такие узловые точки объекта, расстояние между которыми меньше, чем некоторое заданное значение. Этот критерий позволяет найти те объекты в слое, у которых есть вершины, совпадающие с указанной в поле ввода точностью.

6. Размер объемлющего прямоугольника. Этот критерий позволяет найти все объекты в слое, для которых размер объемлющего прямоугольника меньше, чем заданное значение. В качестве размера объемлющего прямоугольника используется длина его большей стороны.

7. Площадь фигуры. В этом случае будут найдены все объекты слоя, площадь которых меньше, чем указанное значение.

8. Совпадающие фигуры. Этот критерий позволяет найти в слое все объекты, совпадающие с точностью, указанной в поле ввода. При этом можно указать, чтобы одна из совпадающих фигур оставалась невыделенной. Также можно задать, чтобы выделялись только фигуры одного типа.

9. Контур, находящийся внутри другой фигуры. В слое могут быть найдены объекты, которые расположены внутри контура какого-либо другого объекта.

В этом окне можно задать один или несколько критериев для поиска некорректных объектов. Если отметить несколько критериев, то будут найдены объекты, удовлетворяющие хотя бы одному заданному критерию.

8.4.8. Изменение геометрии фигур в инспекторе объектов

В системе IndorGIS для редактирования геометрических значений графических объектов на карте можно использовать специальное окно **Инспектор объектов**. Чтобы открыть это окно, нужно выполнить в меню **Вид** команду **Инспектор объектов** или нажать кнопку на панели инструментов **Атрибуты**. Инспектор объектов позволяет просматривать и редактировать объекты, которые выделены на карте в режиме **Редактирование фигур** (рис. 8.47).

Окно инспектора объектов содержит две закладки: **Свойства** и **Атрибуты**, на которых можно редактировать соответственно геометрическую и атрибутивную информацию.

В верхней части окна находится выпадающий список. Он содержит все выделенные на карте объекты. При нажатии кнопки , расположенной рядом со списком, выбранный в списке объект (или группа объектов) подсвечивается на карте. Над выпадающим списком расположена панель инструментов инспектора объектов. Кнопка удаляет выбранный в списке объект. При нажатии кнопки на карте выделяется единственный объект, выбранный в выпадающем списке. Кнопка включает и выключает режим отображения на карте текущей узловой точки и сегмента.

Рис. 8.47. Инспектор объектов

Геометрическая информация выбранного в списке объекта отображается на закладке **Свойства**. Для демонстрации этой закладки рассмотрим свойства линейных объектов, которые можно редактировать в инспекторе объектов (рис. 8.48).

(*а*) (*б*)

Рис. 8.48. Свойства простых (*а*) и трёхмерных (*б*) полилиний

Число контуров. Задаёт количество контуров, входящих в состав полилинии.

Число точек. Задаёт количество узловых точек, входящих в соответствующий контур полилинии.

Точка [i]: X,Y. Данные параметры задают положение узловых точек полилинии на карте.

Точка [i]: Z. Эти параметры определяют высоту узловых точек полилинии над уровнем земли (доступно только для трёхмерных полилиний).

Точка [i]: Мера. Эти параметры предназначены для задания некоторых дополнительных параметров составляющих полилинию точек (доступно только для трёхмерных полилиний и для полилиний с мерой).

Если в инспекторе объектов включен режим **Подсвечивать текущую точку и ребро**, то при щелчке мышкой в поле со значением координаты какой-либо точки на карте подсвечивается соответствующая узловая точка (рис. 8.49).

Рис. 8.49. Отображение текущей узловой точки на карте

По умолчанию для полилиний в инспекторе объектов отображаются только координаты узловых точек. Кроме этого, можно выводить дополнительные свойства, такие как длина сегмента, смещение координат, дирекционный угол и др. Если выбрать соответствующую команду в подменю **Вид** контекстного меню инспектора, то в инспекторе объектов появятся дополнительные параметры (рис. 8.50).

Рис. 8.50. Дополнительные свойства полилиний

8.5. Операции с объектами

8.5.1. Работа с буфером обмена

Для копирования объектов на карте можно использовать буфер обмена. Чтобы скопировать (или вырезать) объект в буфер обмена, нужно выделить его в режиме **Редактирование фигур**, а затем выполнить команду **Копировать** (или **Вырезать**) в меню **Фигуры** или в контекстном меню.

При вставке объекта из буфера обмена можно указывать его местоположение на карте. Он может располагаться в центре окна или точно по координатам исходного объекта. Также можно выбрать указателем мышки положение объекта на карте.

Чтобы вставить объект из буфера обмена, нужно раскрыть в меню **Фигуры** подменю **Вставить** и выполнить нужную команду (рис. 8.51).

Рис. 8.51. Команды для вставки объектов из буфера обмена

При выполнении команды **С перемещением** рядом с указателем мышки появляется изображение объекта в буфере обмена. Необходимо выбрать его местоположение на карте, после чего щёлкнуть мышкой для того, чтобы объект был вставлен из буфера обмена.

При добавлении на карту объектов из буфера обмена можно использовать команду **Специальная вставка**. Она позволяет указать точные координаты объекта при вставке, количество копий и шаг смещения.

По этой команде открывается диалоговое окно, в котором можно указать смещение координат по *X* и *Y* относительно исходного объекта, а также количество копий вставляемого объекта со смещением по *X* и *Y*.

8.5.2. Копирование формата объекта

Команда **Формат по образцу** позволяет сформатировать фигуры на карте по образцу текущего выделенного объекта: атрибуты у всех указанных на карте объектов принимают те же значения, что и у выделенного объекта. Для этого надо выделить на карте объект, формат которого нужно скопировать в другие объекты, и вызвать команду меню **Фигуры|Формат по образцу** или нажать кнопку на панели инструментов **Правка** (рис. 8.52). После этого нужно будет указать мышкой объекты на карте, в которые нужно скопировать значения атрибутов выделенного объекта.

Рис. 8.52. Команда копирования формата объекта в другой объект

8.5.3. Поворот и отражение объектов

Выделенный объект, находящийся в фазе блочных операций, можно поворачивать на произвольный угол с помощью мышки, перемещая круглые управляющие точки (см. выше). Кроме этого, можно задать точное значение угла, на который нужно повернуть объект. Для этого надо выделить объект, который нужно повернуть на заданный угол, и раскрыть в контекстном меню подменю **Преобразовать**. Оно содержит команды для поворота объекта на заданный и фиксированные углы (рис. 8.53).

Рис. 8.53. Команды для поворота и зеркального отображения объектов

Команда **Повернуть налево** поворачивает фигуру вокруг центра на 90° против часовой стрелки. Команда **Повернуть направо** поворачивает фигуру вокруг центра на 90° по часовой стрелке. По команде **Повернуть на 180°** фигура поворачивается на 180° вокруг своего центра. При вызове команды **Повернуть на угол...**. открывается окно, в котором можно указать уже произвольное значение угла поворота (рис. 8.54).

Рис. 8.54. Поворот объекта на заданный угол

8.5.4. Разрезание объектов

В системе IndorGIS предусмотрены специальные команды для разрезания объектов на карте. Можно разрезать указанный объект (или несколько объектов) по прямой линии, по контуру нарисованного на карте прямоугольника или произвольного полигона. Значения атрибутов новых объектов, полученных после разрезания, копируются из исходного объекта.

Команды для разрезания объектов объединены в меню **Операции** в контекстном меню или в меню **Фигуры** главного меню. Также эти команды доступны на панели инструментов **Операции** (рис. 8.55).

Команду **Разрезать линией** можно использовать, если необходимо разрезать один объект на два по прямой линии.

Тогда надо выделить полигон, который нужно разрезать, и вызвать команду **Операции|Разрезать линией** в меню. После этого на карте нужно задать линию, по которой должен быть разрезан объект.

Объект будет разрезан, и это можно увидеть в режиме редактирования фигур (рис. 8.56).

Рис. 8.55. Выбор команд для разрезания объектов

Рис. 8.56. Разрезание объекта линией

Если перед разрезанием выделить не один, а несколько объектов, то будут разрезаны все выделенные объекты, через которые проходит нарисованная линия.

Аналогичная команда **Разрезать прямоугольником** разрезает выделенные объекты по прямоугольному контуру. Для этого надо выделить полигон, который нужно разрезать, и вызвать команду **Операции|Разрезать прямоугольником** в контекстном меню. После этого на карте надо задать прямоугольник, по контуру которого должен быть разрезан объект. В итоге в режиме редактирования можно увидеть объекты, полученные в результате разрезания (рис. 8.57).

Ещё одна команда **Разрезать полигоном** разрезает выделенный на карте объект по контуру произвольного полигона. Воспользуемся данной командой для того, чтобы разрезать по произвольному контуру полигон, который представляет на карте участок озеленения. Пример результата разрезания показан на рис. 8.58.

Рис. 8.57. Разрезание объекта прямоугольником

Рис. 8.58. Разрезание объекта произвольным полигоном

8.5.5. Оверлеи полигонов

Для двух или нескольких полигонов на карте можно выполнить операцию объединения. В качестве контура нового объекта используются контуры исходных полигонов. При этом удаляются те части контуров исходных объектов, которые ограничивают перекрываемые области.

В результате объединения полигонов, которые не перекрывают друг друга, образуется полиполигон, состоящий из нескольких замкнутых контуров. Если в объединяемых полигонах есть самопересекающиеся контуры, то после выполнения операции объединения они будут устранены разбиением на отдельные полигоны. В качестве значений атрибутов нового полигона используются атрибуты первого выделенного полигона.

Чтобы объединить полигоны, нужно выделить полигоны, которые необходимо объединить (рис. 8.59), и вызвать команду **Операции**|**Объединение полигонов** из контекстного меню или нажать кнопку на панели инструментов **Операции** (рис. 8.60).

Рис. 8.59. Объединение полигонов

Рис. 8.60. Выбор команды для объединения полигонов

Аналогичным выполнению объединения можно также получить пересечение, разность и симметрическую разность произвольных полигонов на карте.

8.5.6. Построение буферных зон

Буферные зоны определяются как геометрическое место точек, удалённых от заданной группы объектов не более чем на заданное расстояние. Данная команда используется для решения таких распространённых задач, как нахождение всевозможных охранных зон вдоль линий электропередачи, вокруг рек и озёр, зонирование территории на основании удалённости от транспортных магистралей и пунктов обслуживания и т.д.

Для каждого объекта можно построить не одну, а несколько буферных зон. Например, если задана ширина буферной зоны 10 м и указано, что нужно построить две зоны, будут построены две области, в первой из которых расстояние от любой точки до исходного объекта будет от 0 до 5 метров, во второй – от 5 до 10 м.

Чтобы построить буферную зону в IndorGIS, нужно выделить объект, для которого необходимо построить буферную зону, и вызвать из контекстного меню команду **Операции|Буферные зоны…** или нажать кнопку на панели инструментов **Операции** (рис. 8.61).

Рис. 8.61. Выделение полигонов для объединения

В появившемся диалоговом окне нужно указать исходные данные для построения буферных зон (рис. 8.62). Это могут быть выделенные на карте объекты или все объекты текущего слоя. Затем надо указать ширину буферной зоны в единицах карты (поле **Расстояние до объектов**), а также количество буферных зон (параметр **Число зон**). Параметр **Число круговых дуг** определяет, каким количеством дуг будет представлена буферная зона в крайних точках.

Если буферные зоны строятся для нескольких объектов, то в разделе **Вид построения надо** выбрать способ построения зон: **Построить отдельные буферные зоны для каждого объекта** или **Объединить буферные зоны разных объектов**.

При нажатии кнопки **ОК** для указанных объектов строятся буферные зоны (рис. 8.63).

Рис. 8.62. Задание параметров построения буферной зоны

Рис. 8.63. Построение буферной зоны

8.6. Работа с растрами

В качестве слоя карты в системе IndorGIS можно использовать растровые изображения. Растры применяются в IndorGIS в основном в качестве подложки, поверх которой наносятся векторные изображения.

Чтобы поместить растр на карту, нужно вызвать команду добавления слоя карты из файла и выбрать требуемый растровый файл. После этого растр будет загружен на карту. Далее надо выполнить геопривязку – позиционирование растра на карте, то есть необходимо указать, каким координатам на местности соответствуют точки растра.

Для этого нужно задать так называемые точки (стрелки) привязки. Они позволяют указать, какие координаты на карте (в системе координат карты) должны иметь заданные точки растра.

Стрелка привязки растра представляет собой отрезок, начальная точка которого соответствует некоторой точке на растре, а конечная точка соответствует точке на карте с заданными координатами (рис. 8.64).

Рис. 8.64. Стрелка привязки растра

После того как заданы все стрелки привязки, можно будет выполнить операцию преобразования растра, которая некоторым способом преобразует растр или только переместит его так, чтобы пиксели растра максимально точно соответствовали своим реальным координатам. При этом каждая точка растра, совпадающая с начальной точкой стрелки привязки, должна будет переместиться в конечную точку стрелки привязки.

Координаты начальной точки определены в локальной системе координат растра. Начальная точка этой системы координат находится в верхнем левом углу растра. Ось *X* направлена вправо, ось *Y* – вниз. Координаты конечной точки определены в системе координат карты.

Точка привязки растра может использоваться, если некоторая точка на растре после преобразования не должна быть перемещена. Строго формально точка привязки представляет собой отрезок, у которого совпадают начальная и конечная точки. *Сеть привязок* предназначена для создания на растре сразу целой сетки из точек привязки.

При работе с растрами на панели инструментов **Режимы работы** доступны специальные режимы для создания точек и стрелок привязки растра, а также сетки из точек привязки разного размера (рис. 8.65).

Рис. 8.65. Режимы создания точек и стрелок привязки

Создание стрелки привязки растра

Чтобы создать стрелку привязки растра, нужно включить режим создания стрелки привязки и нарисовать на карте отрезок. После этого в режиме редактирования фигур можно уточнить положение начальной точки привязки: она должна находиться над той точкой растра, которая будет перемещена в результате преобразования в точку на карте с известными координатами (рис. 8.66).

Рис. 8.66. Редактирование стрелки привязки растра по карте

Альтернативно стрелку привязки можно изменить с помощью инспектора объектов (рис. 8.67). На его закладке **Свойства** отображаются координаты начальной и конечной точек стрелки привязки. Поля **Пиксел X** и **Пиксел Y** содержат координаты начальной точки стрелки привязки в локальной системе координат данного растра. В полях **Координата X** и **Координата Y** отображаются координаты конечной точки привязки в системе координат карты.

Рис. 8.67. Свойства стрелки привязки

Перемещение и трансформация растра

Прежде чем начинать работать с растром в качестве слоя карты, его необходимо «привязать» к координатам карты. Для выполнения этого преобразования достаточно знать, какие координаты на карте имеют некоторые две точки растра. Обычно в качестве таких точек используются два противоположных угла на растре, например левый верхний и правый нижний. После задания точек привязки для растра (их должно быть как минимум две) можно выполнить преобразование **Перемещение**, в результате

которого растр перемещается в соответствии с указанными координатами и масштабируется.

Для примера создадим две стрелки привязки в левом верхнем и правом нижнем углах растра (рис. 8.68). В режиме редактирования фигур можно уточнить положение начальных точек стрелок привязки (рис. 8.69). Они должны располагаться точно в угловых точках растра.

Затем надо выделить первую стрелку привязки и ввести в инспекторе объектов координаты левого верхнего угла растра на карте. Далее надо выделить вторую стрелку привязки и ввести в инспекторе объектов координаты правого нижнего угла растра на карте. На карте можно увидеть, в какие точки будут перемещены точки растра после выполнения преобразования (рис. 8.70).

После того как заданы все точки привязки, нужно выполнить преобразование растра, вызвав команду **Тип преобразования**| **Перемещение** в меню **Слой** главного меню. В результате растр переместится и займет своё точное положение на карте.

Рис. 8.68. Создание стрелок привязки

Рис. 8.69. Уточнение положения начальных точек стрелок привязки

Рис. 8.70. Уточнённые стрелки привязки

Рис. 8.71. Выбор типа преобразования

Следует заметить, что данное преобразование меняет только способ отображения растра на карте, но никак не искажает исходный файл растра.

Аналогичным способом можно также выполнить преобразование **Перемещение и вращение** (рис. 8.71). Оно тоже не изменяет исходный файл.

Все другие виды преобразования (см. рис. 8.71) предназначены для трансформации самого растрового изображения. Это нужно в тех случаях, когда в растре имеются нелинейные искажения, которые нужно устранить. Наилучшим при этом является кусочно-квадратичное преобразование.

Кусочные преобразования

Кусочные преобразования растров обычно используются для привязки сканированных карт и планов к реальным координатам на местности. При этом необходимо задать достаточно большое количество стрелок привязки: обычно по одной для каждого опознаваемого креста картографической или координатной сетки. Например, для планов масштаба 1:500 таких крестов, с учётом находящихся вблизи рамки, получается 36. Некоторые кресты иногда не видны, тогда их можно пропустить.

Для каждой точки на растре с известными координатами создаётся точка привязки, в результате чего растр покрывается сеткой привязок.

Сетка разбивает растр на треугольники и четырёхугольники («куски» преобразования), образованные 3-мя и 4-мя ближайшими точками привязки (рис. 8.72). В частности, если точки привязки на растре заданы с одинаковым шагом, то растр разбивается на квадратные области.

В процессе трансформации растра сначала перемещаются те точки растра, для которых известны точные координаты (узлы сетки), а затем отдельно трансформируется каждый фрагмент растра в соответствии с этими координатами. В IndorGIS можно выполнить один из двух типов кусочного преобразования: *кусочно-линейное* или *кусочно-квадратичное*.

При кусочно-линейном преобразовании в результате совмещения преобразованных фрагментов растра линии могут иметь преломления на стыках (рис. 8.73,*а*), а при кусочно-квадратичном преобразовании эти преломления будут сглажены (рис. 8.73,*б*).

(*а*) (*б*)

Рис. 8.72. Примеры сеток из точек привязки

Рис. 8.73. Результат выполнения кусочно-линейного (слева) и кусочно-квадратичного (справа) преобразований

Отдельно преобразуются те области растра, которые не покрываются сеткой из точек привязки. Для их трансформации система автоматически задаёт четыре дополнительные точки на определённом расстоянии от углов растра.

Рассмотрим в качестве примера трансформацию растра, на котором изображен планшет масштаба 1:500. На этом планшете нанесены 36 крестов (реперные точки) с шагом 50 метров на местности. Для трансформации такого планшета желательно задавать порядка 36 точек.

Создадим стрелки привязки во всех реперных точках растра, включая угловые точки растра. Для этого можно использовать режим создания сетки из точек привязки **Сеть привязок 6x6** (рис. 8.74).

Затем в режиме редактирования фигур нужно уточнить положение начальной точки для каждой стрелки привязки: она должна совпадать с соответствующей реперной точкой на растре (рис. 8.75).

Для задания координат, которые должны иметь реперные точки растра на карте, можно воспользоваться инспектором объектов.

Рис. 8.74. Сетка из точек привязки

Рис. 8.75. Уточнение положения начальных точек привязки

После окончания ввода всех координат стрелок привязки можно выполнить заданное преобразование, выбрав соответствующую команду в меню (см. рис. 8.71). Данное преобразование меняет исходное растровое изображение, поэтому перед его выполнением открывается диалоговое окно, в котором можно настроить некоторые параметры выходного изображения (рис. 8.76). Вы можете установить размеры нового изображения по горизонтали и по вертикали, цвет фона растра, а также глубину цвета.

Рис. 8.76. Параметры преобразования растра

Рис. 8.77. Просмотр результатов преобразования

После выполнения преобразования, но перед тем как исходный файл растрового изображения будет заменен, появляется диалоговое окно для предварительного просмотра результатов преобразования (рис. 8.77). Если полученный результат устраивает, то надо нажать кнопку **ОК**.

8.7. Условные знаки

Для отображения условных знаков в ГИС IndorGIS 5.0 используется специальная технология ex-шрифтов, позволяющая создавать и отображать произвольные точечные, линейные и площадные условные знаки, применяемые в картографии, при ведении кадастров, в задачах автоматизированного проектирования и пр.

Файлы с ex-символами имеют расширение xfs, с ex-линиями – xfl, а с ex-заливками – xfp. Адресация конкретного условного знака в ex-шрифтах производится как «имя шрифта – номер элемента». В случае отсутствия ex-шрифта в системе он заменяется при использовании на стандартный ex-шрифт. При отображении условных знаков обеспечивается возможность задания размера, угла поворота, признака зеркальности, цветов, имеющихся текстовых параметров.

Технология ex-шрифтов обеспечивает отображение условных знаков в любом заданном масштабе. Для условных знаков, предназначенных для применения в заданном масштабе (например, условные картографические знаки фиксированного масштаба), она обеспечивает возможность задания размеров, исключающих неправильное масштабное отображение знаков.

Условные знаки могут создаваться с использованием разнообразных графических примитивов, таких как точки, полилинии, полигоны, кривые Безье, прямоугольники, окружности, дуги, секторы, текстовые надписи (фиксированные заранее или настраиваемые пользователем при конкретном его использовании), растровые изображения, а также с использованием любых цветов в пределах одного знака (фиксированных и настраиваемых).

Для условных знаков, предназначенных для создания технологических схем, в которых важна топология, технология ex-шрифтов позволяет задавать точки контактов, по которым производится коммутация схем. Кроме того, она обеспечивает возможность задания для условных знаков нескольких состояний (например, для элементов технологических схем состояний типа «включен/выключен»).

Перед использованием ex-шрифтов их необходимо зарегистрировать в системе, для чего следует выбрать соответствующий пункт меню и в диалоге указать файлы шрифтов. При этом в системе прописываются пары «имя шрифта – имя файла со шрифтом». После этого шрифты становятся доступными по зарегистрированным именам.

Для запуска редактора ex-шрифтов необходимо выбрать из меню ГИС IndorGIS 5.0 команду **Файл|Ex-шрифты|Открыть…** или **Файл|Ex-шрифты|Открыть из реестра…** для изменения существующего

шрифта либо из меню **Файл|Ex-шрифты|Создать новый** команду **Шрифт символов**, **Шрифт линий** или **Шрифт заливок**.

Всё окно редактора разбито на квадраты, в которых отображаются элементы шрифта: символы, линии или заливки (рис. 8.78). Двойной щелчок в любой из квадратов вызывает редактор, описываемый ниже.

Рис. 8.78. Редактор ex-шрифтов

Редактор ex-элементов

Редактор элементов ex-шрифта (ex-символов, ex-линий и ex-заливок) позволяет создавать новые либо изменять существующие элементы ex-шрифтов. Рассмотрим назначение разных частей редактора (рис. 8.79).

Верхняя панель инструментов содержит кнопки, которые позволяют изменять свойства элемента, добавлять, изменять и удалять состояния элемента, включать и выключать координатную сетку в редакторе, увеличивать и уменьшать изображение, манипулировать примитивами элементов с буфером обмена, задавать параметры только масштабной привязки элементов, а также тестировать элементы. Рассмотрим некоторые из них.

- Выводит диалог свойств символа, линии или заливки. В нём можно указать название элемента, а также в случае наличия настраиваемых цветов, их названия и описания контактов.
- Добавляет новое состояние символа. В появляющемся диалоге необходимо будет ввести его название.
- Удаляет текущее состояние символа. Если в элементе имеется всего одно состояние, то данная кнопка запрещена.

Рис. 8.79. Редактирование ex-заливки, окна примера и свойств фигур

- Если эта кнопка включена, то данный ex-символ (линия или заливка) будет отображаться на карте всегда фиксированного размера, задаваемого в единицах карты. При этом появляется вторая панель инструментов ниже первой (рис. 8.80). Единственная её кнопка регулирует видимость линейки привязки в окне редактора. Параметр *Длина* задаёт размер линейки в окне редактора, а параметр *Длина в единицах карты* определяет, что это означает при отрисовке на карте.
- Отображает или скрывает окно отображения примера символа, линии или заливки.

Рис. 8.80. Дополнительная панель привязки к единицам карты

Изображение элементов может быть составлено из таких примитивов, как точки, отрезки, полилинии, полигоны, кривые Безье, заполненные и незаполненные прямоугольники, окружности, круги, дуги, секторы, сегменты, текстовые надписи, растровые изображения и контакты. Для их ри-

сования предназначена левая панель выбора режимов редактирования и рисования, а также панель для выбора цвета создаваемых элементов и стиля линий.

Ниже левой панели инструментов располагаются различные дополнительные параметры: цвета, стили линий и др.

При создании элементов ex-шрифтов примитивам, составляющим символ, линию или заливку, можно приписать заранее зафиксированный цвет либо установить его «настраиваемым». Это даёт возможность пользователю в дальнейшем при использовании элемента шрифта для визуализации данных задать конкретный цвет вместо этого настраиваемого.

Диалоги выбора ex-элементов

Диалоги выбора ex-элементов встречаются в системе IndorGIS при выборе условных знаков для отрисовки слоёв шейп-файлов, покрытий, чертежей, триангуляции и транспортной сети.

В верхней части диалога (рис. 8.81) нужно выбрать требуемый ex-шрифт. Если требуемый шрифт не зарегистрирован и отсутствует в списке, можно выбрать в списке пункт **Добавить новый шрифт…**, при этом появится диалог, в котором будет предложено зарегистрировать существующий шрифт из файла либо создать новый шрифт. После создания нового шрифта с помощью локального меню можно, не выходя из диалога, создать необходимые символы, линии или заливки.

Рис. 8.81. Диалог выбора ex-символа

Двойной щелчок по некоторому элементу шрифта приводит к его выбору и закрытию диалога (эквивалентно нажатию кнопки **OK**). Щелчок

правой кнопкой мышки над элементами приводит к появлению локального меню, что позволяет, не выходя из этого диалога, редактировать ex-элемент, создавать новый, работать с буфером обмена.

8.8. Моделирование рельефа

Учёт рельефа является неотъемлемой частью многих алгоритмов, связанных с решением разнообразных территориальных задач, таких как:

- задачи вертикальной планировки территории для нужд гражданского и промышленного строительства: построение разрезов, изолиний (линий одинаковой высоты), изоклин (линий одинакового уклона), трёхмерная визуализация, вычисление объёмов земляных работ;
- гидрологические задачи, мелиорация земель: построение полей градиентов, линий водоразделов, бассейнов стока;
- экологические задачи: прогнозирование распространения загрязнений окружающей среды;
- анализ распространения света и радиоволн: построение профилей и полей видимости;
- проектирование и эксплуатация инженерных коммуникаций: построение изоклин и разрезов рельефа, учёт перепада высот в трубопроводных сетях;
- создание географических, топографических, морских навигационных, тематических карт и отображение на них непрерывных полей данных: высот рельефа, глубин дна океана, гравитационных и геомагнитных полей и пр.;
- построение модели рельефа методом фотограмметрии по аэрофотоснимкам для осуществления поправки за рельеф.

Любая работа с рельефом требует наличия модели поверхности. В ГИС IndorGIS модель строится по входным данным, среди которых, как правило, различают:

- *точки*, представляющие замеры высот на поверхности;
- *линии* (структурные линии рельефа), соответствующие обычно каким-либо изменениям в гладкости или непрерывности поверхности. Такие линии описывают различия в поведении поверхности по обе стороны от них. Примерами могут служить береговые линии, линии оврагов и обрывов, дамбы, линии инженерных построек и т.д.;
- *полигоны*, определяющие области, вне которых отсутствует достоверная информация по поверхности. Задание таких регионов предупреждает генерацию ошибочных данных по рельефу вне региона. Эти области также используются в качестве *областей интересов* (*оболочек)* для получения модели поверхности внутри заданных регионов.

Среди моделей, построенных по таким входным данным, обычно выделяют модели, построенные по регулярной и нерегулярной сети отсчётов (рис. 8.82).

Рис. 8.82. Триангуляционная модель рельефа в ГИС IndorGIS

В геоинформационных системах в качестве регулярной сети обычно используется двумерная матрица точек, независимо равномерно распределённых по осям *X* и *Y*, каждая из точек при этом характеризуется своей высотой. В качестве модели, построенной по нерегулярной сети отсчётов, применяется треугольное разбиение плоскости, обычно в виде триангуляции Делоне, так как она обладает рядом оптимальных свойств.

Ни одна из этих моделей не является лучшей и наиболее подходящей для всех случаев. Низкая вычислительная стоимость поверхностного анализа для регулярных сетей противопоставляется более точным результатам при использовании триангуляции. Поэтому система IndorGIS поддерживает обе модели рельефа, а также позволяет переходить от одной формы представления поверхности к другой в зависимости от характера решаемой задачи.

Для работы с рельефом в систему IndorGIS входит следующий набор основных функций:

- построение модели рельефа по входным данным в виде сети регулярных и нерегулярных отсчётов, набора структурных линий рельефа и полигонов;
- отображение модели рельефа на двумерной карте в качестве слоя и в трёхмерном виде;
- интерполяция высот в любой точке модели рельефа;
- вычисление расстояний и площадей по поверхности;
- построение разрезов вдоль любой заданной на карте ломаной;
- построение изолиний;
- построение изоклин;
- построение изоконтуров – полосовых контуров, соответствующих изолиниям и изоклинам;
- вычисление объёмов земляных работ (балансового объёма и объёма перемещаемых масс грунта) при формировании горизонтальных площадок на выделенном участке поверхности;
- построение разности двух триангуляционных поверхностей в целях последующего анализа и расчётов объёмов земляных работ;
- построение зон и линий видимости;
- конвертирование моделей рельефа в другие форматы.

8.9. Решение транспортных задач

Для ГИС IndorGIS разработаны специальные дополнительные модули для решения транспортных задач и моделирования транспортных потоков. Модуль IndorTransport позволяет решать следующие задачи:

- поиск кратчайших маршрутов между пунктами по улично-дорожной сети или по сети маршрутного транспорта;
- планирование кратчайших маршрутов обхода заданных пунктов на карте пешком, по улично-дорожной сети или по сети маршрутного транспорта;
- поиск ближайших пунктов обслуживания для заданных точек событий по транспортной сети;
- построение зон ближайшего транспортного обслуживания заданными сервисными пунктами.

Модуль IndorTraffic предназначен для укрупнённого анализа транспортных потоков на уровне города или региона на основе гравитационной модели корреспонденций. Модуль позволяет решать следующие задачи:

- расчёт агрегированных характеристик транспортных районов – подсчёт населения, числа рабочих мест и ёмкости сервисных пунктов;
- классификация транспортных районов по принадлежности суперрайонам;
- расчёт межрайонных транспортных потоков на основе гравитационной модели корреспонденций;

- распределение межрайонных потоков на улично-дорожную сеть;
- анализ транспортной обеспеченности районов (среднее время поездок, средние расстояния и др.);
- анализ транспортной нагрузки маршрутов общественного транспорта по остановкам.

Анализ транспортных районов может производиться на уровне города или региона.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте общую характеристику IndorGIS 5.0.
2. Что такое проект в IndorGIS и какие основные элементы он может включать в себя?
3. Какие виды пространственных данных поддерживает IndorGIS?
4. Что такое ввод по классификатору?
5. Какие виды геодезических и геометрических построений возможны в IndorGIS?
6. Для чего предназначен инспектор объектов?
7. Что такое привязка растра и как она осуществляется в IndorGIS?
8. Каким способом отображаются условные знаки в IndorGIS?
9. Какие модели рельефа поддерживаются в IndorGIS?
10. Какие транспортные задачи можно решать с помощью IndorGIS?

Глава 9. Применение ГИС

9.1. Справочные ГИС

В настоящее время геоинформационные технологии широко применяются в самых различных областях деятельности человека (см. п. 1.4).

Одной из наиболее простых и интуитивно понятных для обычного человека областей применения геоинформационных технологий являются *справочные ГИС*, к функциям которых относятся:

- Просмотр карты на экране компьютера и распечатка её фрагментов на принтере.
- Получение информации по указанным мышкой на карте объектам.
- Поиск объектов (зданий, предприятий, улиц) на карте по имени, адресу или иному параметру.
- Измерение расстояний и площадей.

В настоящее время справочные ГИС, как правило, распространяются бесплатно для пользователя. Источником дохода для их производителей является прямая или косвенная реклама фирм, размещаемая иногда прямо на карте.

Рис. 9.1. Справочная ГИС ДубльГИС для Томска

С точки зрения программной технологии справочные ГИС обычно реализуются: 1) как отдельное приложение или 2) как страница в Интернете. В первом случае приложение можно скачать из Интернета, установить у себя на компьютере и бесплатно использовать. В настоящее время для большинства крупных городов России уже появились такие справочные ГИС, внешний вид одной из множества которых приведён на рис. 9.1.

На втором случае стоит остановиться особо. Для создания и публикации карт в Интернете в настоящее время все ведущие производители ГИС предлагают свои собственные инструменты, наиболее известными из которых являются ArcIMS (ESRI, США), Autodesk MapGuide (Autodesk, США) и MapXtreme (MapInfo, США). На рис. 9.2 приведён пример карты Москвы, доступной через браузер Интернета на сайте компании Rambler (http://nakarte.rambler.ru/moscow). Эта карта работает на основе картографического сервера Internet Atlas российской компании NetLogic.

Рис. 9.2. Карта Москвы на сайте компании Rambler

Тем не менее, несмотря на широкую доступность инструментов для создания карт в Интернете, таких полноценных Web-карт можно пересчитать по пальцам. В России это связано с двумя основными проблемами: с секретностью и авторскими правами на картографические материалы. В итоге предприятия закупают за большие деньги необходимые им картографические материалы у Роскартографии и, конечно, не спешат делиться ими со всем миром. Именно поэтому до последнего времени в Интернете не было сколько-нибудь заметных Web-карт, имевших бы большой успех.

Ситуация резко изменилась в 2005 г., когда компания Google выпустила революционный сервис Google Maps (http://maps.google.com), включающий векторные карты и космические снимки на всю территорию США и Канады, однако в будущем компания Google планирует подключить карты на всю территорию Земли.

Просматривать карты в Google Maps можно тремя способами:

1) **Map** – только векторное изображение;

2) **Satellite** – только космоснимки;

3) **Hybrid** – гибридное изображение, когда поверх космоснимков полупрозрачно накладывается векторная карта местности.

Доступные в Google Maps космические снимки имеют два различных разрешения: высокое и низкое. Снимки высокого разрешения в настоящее время представлены почти на всю освоенную человеком территорию США, Западной Европы и фрагментарно на крупные города других частей мира (рис. 9.3). На оставшуюся поверхность Земли компания Google пока предлагает снимки только низкого разрешения, однако ситуация стремительно меняется в лучшую сторону.

Рис. 9.3. Растровая карта центра Москвы в Google Maps

Представленные в Google Maps космические снимки получены на основании данных со спутника QuickBird компании DigitalGlobe. Снимки высокого разрешения имеют пространственное разрешение пикселей порядка 60–70 см. Лишь изображения некоторых стратегических объектов США искусственно загрублены до 2 м.

Заметим, что спутник QuickBird позволяет получать космические снимки с максимальным разрешением 60 см, но только чёрно-белые. Цветные снимки со спутника QuickBird можно получать только с разрешением в 2 м. Поэтому отображаемые в Google Maps цветные снимки высокого разрешения (до 60 см) получены в результате подмешивания к высокоточным чёрно-белым снимкам цветовой составляющей из цветных снимков менее высокого разрешения с помощью алгоритма pan-sharpening. Пример работы такого алгоритма приведён на рис. 9.4.

Рис. 9.4. Пример смешивания чёрно-белого снимка высокого разрешения (слева) с менее точным, но цветным снимком (в центре) для получения цветного снимка высокого разрешения (справа) алгоритмом pan-sharpening

Ключевой особенностью сервиса Google Maps, предопределившей его ошеломляющий успех во всём мире, является то, что он тесно интегрирован с поисковой системой Google, это предоставляет уникальные возможности по поиску объектов на поверхности Земли. В строке поиска достаточно набрать город, поселок, улицу или название предприятия или какой-то достопримечательности в любой части мира и поисковая система Google Maps найдёт объект и покажет его на карте.

Через несколько месяцев после выхода Google Maps корпорация Microsoft также предложила широкой публике аналогичный сервис MSN Virtual Earth (http://maps.microsoft.com), предоставляющий практически те же самые возможности (рис. 9.5). Этот сервис компания Microsoft построила на основе собственного картографического сервера MapPoint Web Service, который тесно интегрирован со своей же текстовой поисковой системой MSN Search.

Рис. 9.5. Гибридная карта Нью-Йорка в MSN Virtual Earth

Рис. 9.6. Трёхмерная карта Нью-Йорка в Google Earth

Корпорация Google вскоре после выхода своего продукта Google Maps представила ещё один вид справочной ГИС – Google Earth, позволяющий просматривать те же карты, что и в Google Maps, но теперь уже и в трёхмерном виде. В дополнение к двумерным векторным картам и космоснимкам сервис Google Earth предлагает трёхмерные модели крупнейших городов мира, при этом сохраняются функции поиска объектов и получения информации (рис. 9.6). Имеющаяся в Google Earth трёхмерность пока ещё достаточно ограничена и заметно уступает специализированным программным продуктам (см. п. 5.7), однако такого огромного массива двумерных и трёхмерных данных (в перспективе на весь мир) не предлагает ни одна другая фирма в мире.

9.2. Навигационные ГИС

В ближайшие годы, видимо, наиболее массово ГИС-технологии найдут применение в виде *навигационных систем* (НС), которые состоят из приёмника GPS, компьютера и цифровой карты. Основным назначением такой навигационной системы является отображение на экране компьютера текущего положения в пространстве, получаемого с приёмника GPS, и прокладка маршрута с выдачей рекомендаций по выполнению маневров.

Однако только функциями навигации НС не ограничиваются. Во многих из них имеются функции нанесения на существующие карты собственных объектов: можно запомнить некоторые точки на местности, траекторию движения пользователя и пр.

В городских условиях (вблизи высоких домов, в тоннелях, под мостами) сигнал со спутника GPS может иногда пропадать, а поэтому навигационная система может перестать работать. Для устранения таких временных провалов связи со спутником навигационные системы иногда дополняются гироскопами и датчиками ускорения. Кроме того, в настоящее время готовятся к массовому выходу на рынок навигационные системы, использующие вместо GPS сети базовых станций мобильных телефонных сетей и Wi-Fi-сети.

Навигационные системы бывают нескольких видов:

1. *Персональные навигационные системы*. В их основе лежит карманный (pocket) или наладонный (handheld) персональный компьютер, который человек может носить в своём кармане. Такие компьютеры функционируют под управлением различных специализированных мобильных операционных систем типа Palm OS, однако в настоящее время всё большее распространение получают КПК под управлением Windows CE и Windows Mobile (рис. 9.7).

В последние годы многие портативные компьютеры предоставляют возможности выхода в Интернет (через сети мобильных телефонов или через Wi-Fi-сети), в связи с чем для навигационных систем в КПК открываются новые перспективы. Некоторые такие системы позволяют по мере необходимости автоматически подгружать из Интернета необходимые карты местности, не перегружая память карманного компьютера.

Рис. 9.7. Примеры разнотипных портативных устройств, на которых функционирует мобильная ГИС ArcPad и которые построены на базе технологий (слева направо): handheld, Windows CE, Pocket PC, Windows Mobile, Tablet PC

Рис. 9.8. Внешний вид навигационной ГИС ArcPad, функционирующей под управлением операционной системы Windows CE в КПК

В последнее время персональные навигационные системы часто строятся на основе мобильной ГИС ArcPad компании ESRI (рис. 9.8). Эта ГИС может работать практически на всех современных мобильных платформах. ArcPad имеет пользовательский интерфейс, привычный для пользователей настольных продуктов компании ESRI, а также позволяет легко обмениваться данными со всеми другими продуктами от ESRI, в том числе с продуктами семейства ArcGIS.

В завершении рассмотрения персональных навигационных систем отметим, что многие ведущие мировые фирмы-производители сотовых телефонов заявили, что в ближайшее время собираются выпустить на рынок мобильные телефоны, которые бы позволяли выполнять функции навигационной системы на основании данных либо с GPS, либо со станций сотовой связи.

2. *Автомобильные навигационные системы* (АНС). Сейчас уже почти все ведущие мировые производители автомобилей и многие независимые фирмы предлагают различные автомобильные навигационные систе-

мы, которые работают на штатных бортовых (рис. 9.9) или дополнительных компьютерах (рис. 9.10). Кроме того, намечается тенденция к полному управлению всем автомобилем одним мощным бортовым компьютером, который совмещает в себе функции контроллера механики автомобиля, мультимедийного комплекса и навигационной системы.

Наиболее мощные современные автомобильные навигационные системы отображают траекторию движения автомобиля на карте и показывают в трёхмерном виде водителю, куда нужно двигаться (см. рис. 9.10).

Рис. 9.9. Встроенная навигационная система в автомобиле BMW

Рис. 9.10. Автомобильный развлекательно-навигационный комплекс Sanyo NV-HD550 (в левой части экрана отображается карта, а в правой – трёхмерная схема движения)

3. *Морские навигационные системы*. Для морских перевозок навигационная система ещё проще автомобильной – в её функции входит только отображение на электронной карте текущего положения судна на основании данных GPS.

4. *Авиационные навигационные системы (четырёхмерные системы сопровождения полёта* – четырёхмерные, так как учитывается движение во времени в трёхмерном пространстве). В настоящее время практически на всех современных моделях самолётов обычные механические индикаторы (высоты, курса, тангажа, крена и пр.) заменены на компьютерные дисплеи. Кроме того, теперь самолёты оснащаются приборами спутниковой навигации, благодаря которым появляется возможность отображать на электронной карте бортового компьютера положения самолёта в пространстве. При этом термин «ГИС» для отображения карт производителями авионики не употребляется, хотя именно такой системой фактически и являются соответствующие программные продукты.

На рис. 9.11 показана типичная кабина современного самолёта с двумя основными дисплеями, на одном из которых показывается ориентация самолёта в пространстве (высота, курс, тангаж, крен, горизонтальная и вертикальная скорости), а на другом – навигационная карта с положением самолёта на ней.

Рис. 9.11. Кабина современного самолёта со встроенными навигационными системами (слева – дисплей с параметрами полёта, справа – с навигационной картой)

Такой информации вполне достаточно для выполнения любых видов гражданских полётов. Однако для военных целей при выполнении заданий в условиях плохой видимости и незнакомой местности (например, при низком полёте на истребителе в горах) этого не всегда достаточно. Поэтому следующим логическим шагом в развитии современной авионики является применение концепции трёхмерных ГИС для высококачественного отображения модели местности на дисплее пилота самолёта. Именно такие решения уже сейчас предлагают некоторые ведущие мировые производители авионики, например германская фирма Diehl Avionics Systems.

В заключение этого раздела отметим ещё один программный продукт, лежащий на стыке авиационных навигационных систем, трёхмерных ГИС и компьютерных игр, компьютерную игру Microsoft Flight Simulator 2004 (рис. 9.12). Многие знают этот продукт только как обычную игру – симулятор полётов, однако его назначение сейчас становится гораздо шире. В создании этого симулятора принимали участие профессиональные пилоты, инструкторы полётов и математики, что позволило создать симулятор, очень точно моделирующий реальные полёты практически на всех видах современных и исторических самолётов с учётом самых разнообразных (в т.ч. погодных) факторов.

В настоящее время Microsoft Flight Simulator используется для профессиональной тренировки пилотов самолётов во многих странах мира. Для всех крупнейших аэропортов мира компания Microsoft создала подробные карты и трёхмерные модели местности, что позволяет тренироваться на очень высоком уровне реалистичности.

Рис. 9.12. Полёт на самолёте в Microsoft Flight Simulator 2004

9.3. Диспетчерские ГИС

Диспетчерские ГИС предназначены для автоматизации работы диспетчера, управляющего движением разнообразных транспортных средств. Прежде всего такие ГИС позволяют:

1) контролировать в режиме реального времени фактическое перемещение транспортных средств, оснащённых навигационным оборудованием;

2) планировать оптимальные маршруты передвижения транспортных средств;

3) проводить анализ и накапливать статистику использования транспортных средств.

Диспетчерская система состоит из центрального диспетчерского пункта, абонентского оборудования автомобилей, а также системы связи и обмена данными (рис. 9.13).

Абонентское оборудование автомобилей состоит из приёмника GPS и приёмопередатчика для передачи координат с GPS в диспетчерский центр и получения оттуда управляющих команд для водителя.

Система связи и передачи данных в городских условиях в настоящее время обычно базируется на местной сотовой сети связи. Передача выполняется с помощью: 1) модема, 2) SMS-сообщений или 3) специального режима работы сотовых сетей для передачи данных, например с помощью сервиса GPRS в сетях стандарта GSM, используемого в России.

Рис. 9.13. Общая структурная схема транспортной диспетчерской системы

В последнее время во многих крупных городах мира стали создаваться специализированные высокоскоростные компьютерные сети передачи данных – так называемые Wi-Fi-сети, позволяющие напрямую подключаться к Интернету с помощью практически любого карманного или портативного компьютера. Такое построение диспетчерской системы на основе Wi-Fi-сети технически достаточно просто и относительно дешево по сравнению с другими вариантами системы связи.

В загородных условиях в Российской Федерации отсутствует полное покрытие сетями сотовой связи и вероятнее всего вся территория страны ещё долго не будет покрыта, а поэтому для передачи данных необходимо использовать какие-то иные сети связи. Если транспортные средства перемещаются на относительно небольшие расстояния (в пределах 10–50 км), то экономически выгоднее использовать специализированную радиосеть, установив радиопередатчики на машинах и в диспетчерской.

В случае если необходимо контролировать транспорт на очень больших расстояниях, то для передачи данных можно использовать спутниковые телефоны в режиме модема. В России такой способ широко используется в малонаселённых регионах Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока.

В настоящее время стоимость приборов GPS вместе с приёмопередатчиками существенно упала, в связи с чем появилась возможность массового использования диспетчерских ГИС не только на транспорте. Например, в США массово применяются такие системы в сельском хозяйстве для управления стадами крупного рогатого скота, когда на каждую корову устанавливается индивидуальное абонентское оборудование.

Вышеприведённая схема построения диспетчерской системы на основе GPS позволяет получать высокую точность определения координат отслеживаемых объектов. Однако из-за относительно большой стоимости абонентского оборудования (не менее нескольких сотен долларов) до последнего времени эта схема применялась несколько ограничено. Ситуация резко поменялась в 2005 г. Многие ведущие сотовые компании мира, а вместе с ними и российские сотовые операторы сетей, в частности МегаФон и MTS, предлагают широким массам принципиально иную схему построения навигационной системы без GPS-приёмника (рис. 9.14). При этом для определения географических координат объекта используется любой сотовый телефон в обычной сети стандарта GSM. Для этого измеряется время хода сигнала между сотовым телефоном и несколькими (не менее 3) ближайшими станциями сотовой связи. На основании этого и вычисляется положение сотового телефона.

Главным недостатком данной технологии является относительно невысокая точность определения координат – 50–1000 м (в зависимости от близости к базовым станциям и их плотности), но этого вполне достаточно для решения очень широкого круга задач. К тому же недостатки точности определения координат компенсируются дешевизной технологии: ведь кроме сотового телефона из оборудования больше ничего не нужно.

Рис. 9.14. Схема работы сервиса WebLocator сотовой сети МегаФон

В настоящее время диспетчерские ГИС используются для диспетчеризации выездов специальных служб (милиции, ГАИ, «скорой помощи», пожарных, спасателей, аварийных бригад инженерных сетей), для диспетчеризации вызовов такси, для отслеживания движения маршрутного транспорта в городе, для управления движением поездов железных дорог и морских судов, для отслеживания эффективности использования грузовой техники на карьерах, тракторов и комбайнов в сельском хозяйстве и пр.

Одним из типичных примеров диспетчерских систем является диспетчеризация вызовов специальных, охранных и аварийных служб, а также такси. При поступлении вызова диспетчер вводит адрес или непосредственно указывает на карте в ГИС место возникновения события. После этого диспетчерская ГИС предлагает несколько вариантов ближайших свободных автомобилей. Диспетчеру остаётся только выбрать один из предложенных вариантов и передать команду экипажу автомобиля на выезд (рис. 9.15).

Рассмотрим другой пример применения диспетчерской ГИС для управления городским маршрутным транспортом. На рис. 9.16 дан пример диспетчерской ГИС, в которой показан маршрут движения автобусов с остановками и самими автобусами. Диспетчер может отслеживать их местоположение и в случае нарушения интервалов движения передавать команды водителям об ускорении или замедлении движения.

Рис. 9.15. Диспетчерская ГИС для управления пожарными машинами (в центре находится очаг возгорания с областью задымления; система показывает 3 ближайшие свободные пожарные команды)

Рис. 9.16. Диспетчерская ГИС для управления маршрутным транспортом

Особенностью движения по городу является то, что в разных районах и улицах города скорость сообщения может существенно отличаться. Поэтому визуально не всегда можно заметить недопустимое скопление маршрутного транспорта на обычной карте в обычной проекции. В таких случаях очень удобной является *линейная схема* движения транспорта, на которой весь маршрут представляется в виде линейного графика с переменным масштабом. При этом по горизонтали откладывается расстояние от конечной остановки или расчётное время сообщения (рис. 9.17).

Рис. 9.17. Линейная схема движения маршрутного транспорта с горизонтальными расстояниями на схеме, пропорциональными времени движения

9.4. ГИС и бизнес

В современной рыночной экономике *бизнес* – это практически любая деятельность, направленная на получение прибыли. Это понятие объединяет как мелкий бизнес частного лица, так и деятельность огромных транснациональных корпораций.

Геоинформационные системы могут быть полезны не только для тех видов деятельности, которые напрямую связаны с большими пространственными объектами и явлениями (транспортом, инженерными сетями, кадастром), но и для многих других. Это обусловлено тем, что потребителями результатов деятельности любого бизнеса, впрочем, как и его поставщики, являются фирмы и люди, которые каким-то образом распределены по поверхности Земли. Именно учёт этих пространственных аспектов (при проведении маркетинговых исследований, планировании бизнеса и управлении его деятельностью) позволяет в ряде случаев существенно повысить эффективность ведения бизнеса.

Рассмотрим некоторые из областей применения ГИС для бизнеса.

Демографический анализ. Демографический анализ является одной из основ для принятия решений во многих сферах человеческой деятельности, в том числе и в бизнесе. Демографические сведения (информация о текущих и перспективных нуждах и возможностях клиентов) важны для анализа потенциальных клиентов, проживающих на конкретной территории; при выборе площадок для строительства магазинов, предприятий, пунктов обслуживания; при выполнении маркетинговых исследований и проведении рекламных кампаний.

С помощью геоинформационных систем можно создать тематические карты, на которых возможно отображение информации о возрастном составе, среднедушевом доходе населения, структуре расходов, предпочтениях при покупках и т.д. При этом, визуально совмещая эту информацию с другими пространственными данными, можно увидеть закономерности и тенденции, совсем не очевидные при простом просмотре обычных таблиц с этими данными.

Выбор и анализ местоположений. ГИС предоставляет удобные средства для выбора подходящих мест для размещения новых магазинов, пунктов обслуживания, сервисных центров, складов, заводов.

Выбрав тот или иной вариант размещения объектов, с помощью ГИС можно провести детальный его анализ. Например, на рис. 9.18 приведён пример анализа зон обслуживания сети магазинов в г. Сан-Диего (США). Сопоставив в ГИС эти зоны с демографическими сведениями, можно получить потенциальное количество клиентов, проживающих в этих зонах, средний уровень их доходов и пр.

Уличная реклама. С помощью ГИС можно оптимизировать выбор мест размещения уличных рекламных щитов. Выбрав некоторый вариант размещения щитов на магистралях города, можно проанализировать, какое количество жителей города будет охвачено этой рекламой и не будет ли происходить ненужное её дублирование вдоль некоторых маршрутов движения автомобилей и недостаток вдоль других. Для этого необходимы сведения о маршрутах движения автомобилей в городе и демографические сведения о людях, перемещающихся по этим маршрутам. Типовые маршруты движения индивидуальных автомобилей и их количество в городе обычно вычисляются на основе демографических сведений с помощью гравитационной модели корреспонденций между транспортными районами города (см. п. 6.4).

Рис. 9.18. Анализ зон обслуживания магазинов (вложенными полигонами показаны области доступности магазинов в пределах 1, 2 и 3 минут)

В тех же случаях, когда сложно получить сведения о маршрутах движения, для расчёта эффективности рекламы используют только информацию об интенсивности транспортных потоков вблизи рекламных щитов.

Прямая рассылка рекламы. При рассылке почтовой рекламы очень важным является правильный выбор целевой группы клиентов, которых эта реклама может заинтересовать.

На рис. 9.19 дан пример карты в ГИС, на которой отмечена пиццерия с двумя концентрическими кольцами, показывающими расстояния от магазина в 1 и 2,5 мили. На карте точками показаны домовладения. Больший размер точек указывает, что жильцы домов последние 3 месяца тратили больше денег на заказы в данном магазине. На карте также разными цветами выделены кварталы, к жильцам которых выполнялось разное количество выездов курьеров с заказами.

Таким образом, при определении адресов рассылки рекламы следует выбрать уже имеющихся клиентов с большим уровнем расходов и жильцов близлежащих кварталов и кварталов, в которых часто заказывают пиццу.

Покупка недвижимости. ГИС позволяют оптимизировать процесс покупки земельных участков и зданий, анализируя близость к транспортным коммуникациям, деловым и промышленным центрам, изучая демографические особенности населения вблизи потенциальных объектов покупки, уровень преступности, места размещения конкурентов, наличия потенциальных природных и техногенных рисков.

Рис. 9.19. Выбор жителей города для прямой рассылки рекламы пиццерии

В качестве одного из примеров применения ГИС-технологий можно привести сайт Американской ассоциации риэлторов www.realtor.com, на котором легко подобрать подходящий дом в любой точке США прямо по карте, сидя дома у компьютера (рис. 9.20). В настоящее время на этом сайте к продаже предлагаются более 2 миллионов домов.

Рис. 9.20. Выбор объекта недвижимости на сайте Американской ассоциации риэлторов www.realtor.com

Доставка товаров и услуг. Задачами оптимизации процесса доставки товаров и услуг занимается такая область науки, как *логистика*. При этом, учитывая, что все поставщики и потребители товаров каким-то образом географически распределены на поверхности Земли, вполне очевидна необходимость привлечения геоинформационных систем для оптимального выбора транспортных средств, режимов их эксплуатации и маршрутов движения.

Логистические ГИС предназначены для решения задач транспортной логистики, наглядно представляя на электронных картах пространственное размещение клиентов и предлагая инструменты для оптимизации маршрутов перемещения транспортных средств для минимизации издержек при доставке товаров и услуг.

Кроме того, некоторые современные логистические ГИС обладают функциями диспетчерских систем, позволяя в реальном режиме времени отслеживать маршруты перемещения транспортных средств с товарами и услугами и оперативно корректировать маршруты и объёмы перевозимого товара.

Современные логистические ГИС позволяют:

- Подключать любые базы данных к картам и выполнять геопривязку объектов с помощью геокодирования (см. п. 4.2).

- Выполнять оптимизацию маршрутов движения грузовых и транспортных потоков при доставке товаров и услуг с учётом различных ограничений по ёмкости складов, потребностей магазинов, срока годности товаров и пр.
- Вести учёт организации дорожного движения, грузоподъёмности и вместимости транспорта, ограничений по проходимости на участках улиц и дорог.
- Формировать различные отчёты.

Одним из типичных представителей такого рода ГИС является продукт ArcLogistics компании ESRI. На рис. 9.21 показан внешний вид этого продукта на примере оптовой компании, снабжающей своих клиентов (магазины) продуктами питания.

В левой части окна перечислены все запланированные рабочие дни каждого водителя. В центре окна для выбранного слева водителя указывается маршрут движения – все пункты назначения. В правой части на карте условно отображаются все магазины, которые должны быть обслужены с различных складов. В нижней части окна отображается диаграмма использования рабочего времени водителями грузовиков.

Рис. 9.21. Логистическая ГИС ArcLogistics Route компании ESRI

9.5. ГИС и органы власти

Одной из важнейших задач правительств любого уровня власти является создание надлежащей инфраструктуры для устойчивого развития

территории и обеспечения достойного уровня проживания людей. Важнейшим элементом этой инфраструктуры является единое информационное пространство страны, включающее множество единых базовых информационных ресурсов, в т.ч. реестр населения, реестр юридических лиц и единую картографическую основу – «единую инфраструктуру пространственных данных».

Любая международная или национальная инфраструктура пространственных данных содержит три основные составляющие:

1) базовые пространственные данные (широкодоступные цифровые картографические основы общего пользования), регулярно обновляемые различными государственными и частными структурами;

2) стандарты представления и обмена пространственными данными;

3) базы метаданных (каталоги существующих данных).

Однако, к сожалению, в России инфраструктура пространственных данных ещё далеко не сформирована ни на правовом, ни на технологическом уровне. Даже на политическом уровне в нашей стране пока нет соответствующего консенсуса.

В настоящее время в нашей стране огромное количество цифровых пространственных данных изготавливается многократно разными ведомствами, при этом зачастую страдает их актуальность и достоверность.

Даже создаваемые государственные информационные ресурсы (Государственный земельный кадастр, Государственный банк цифровой геологической информации, Государственный лесной кадастр, водный кадастр и пр.) не согласованы по использованию единой картографической основы, единой системы классификаторов и построению сопрягаемых структур данных.

Учитывая многочисленный международный опыт, сейчас можно уверенно сказать, что для России создание развитой инфраструктуры пространственных данных должно стать одной из важнейших государственных задач на ближайшие годы, кумулятивный эффект от создания которой очень быстро возникнет во множестве отраслей экономики.

Ведением разнообразных кадастров не ограничиваются органы власти. Правительство любого уровня власти (федерального, регионального или муниципального) управляет огромным муниципальным хозяйством и выполняет множество важных государственных задач. Геоинформационные системы на правительственном уровне позволяют помочь в планировании деятельности правительства, формировании и исполнении бюджета, сборе налогов, при разработке планов экономического развития, городском и региональном планировании. ГИС используются в мире при проведении выборов, для обеспечения соблюдения закона, для обороны страны, сбора налогов, а также многих других задач.

Приведём укрупнённый перечень основных областей применения ГИС в органах власти:

- Социально-экономическая сфера.

- Экономика и финансы.
- Экология, ресурсы и природопользование.
- Транспорт, энергетика и связь.
- Коммунальное хозяйство и строительство.
- Сельское хозяйство.
- Здравоохранение, образование, наука и культура.
- Общественный порядок, оборона и безопасность.
- Социально-политическая деятельность.

9.6. ГИС и градостроительный кадастр

Основные функции государственного градостроительного кадастра (ГГК) закреплены в Градостроительном кодексе Российской Федерации (Федеральный закон № 190-ФЗ от 29 декабря 2004 г.).

Отметим, что в этом законе напрямую речь не идёт о геоинформационных системах для ведения кадастров: в гл. 7 кодекса регламентируются *информационные системы обеспечения градостроительной деятельности*, которыми, по сути, и являются многие предлагаемые на рынке геоинформационные системы ведения градостроительного и другого вида кадастров.

В соответствии с Градостроительным кодексом в основе градостроительного кадастра лежат сведения:

а) о документах территориального планирования Российской Федерации в части, касающейся территорий муниципальных образований;

б) документах территориального планирования субъектов Российской Федерации в части, касающейся территорий муниципалитетов;

в) документах территориального планирования муниципальных образований, материалах по их обоснованию;

г) правилах землепользования и застройки;

д) документации по планировке территории;

е) изученности природных и техногенных условий на основании результатов инженерных изысканий;

ж) изъятии и резервировании земельных участков для государственных или муниципальных нужд;

з) геодезических и картографических материалах.

Кроме того, ГГК содержит дела о застроенных и подлежащих застройке земельных участках, а также иные документы и материалы.

С точки зрения компьютерной организации геоинформационная система ГГК состоит из двух основных частей: картографической и атрибутивной.

Картографическая информация представляется в ГГК в виде совокупности карт и топографических планов различных масштабов и включает точное пространственное описание всех необходимых объектов учёта.

Атрибутивная база данных должна содержать сведения о состоянии территории, её использовании и регламентах использования.

Учитывая количество и разноплановость сведений, хранящихся в ГГК, а также в соответствии Кодексом, градостроительный кадастр можно рассматривать как множество относительно независимых блоков:

1) реестр градостроительной документации;
2) земельный кадастр;
3) картографо-геодезический кадастр;
4) кадастр недвижимости.
5) геоинженерный кадастр;

Реестр градостроительной документации предназначен для отслеживания имеющейся и разработки новой документации, посредством которой осуществляется градостроительное планирование развития территорий и поселений, а также их застройка.

Градостроительная документация имеет несколько уровней: федеральный, региональный и муниципальный. На муниципальном уровне она включает сведения о планировании развития территорий поселений и о застройке поселений, в свою очередь, содержащих:

а) схемы градостроительного планирования территорий районов, сельских советов;

б) генеральные планы городских и сельских поселений (схемы функционального использования и зонирования территории, схемы транспортного развития, схемы магистральных инженерных коммуникаций и сооружений, историко-архитектурный план, схемы развития строительного комплекса, схемы утверждённых зон охраны памятников истории и культуры, схемы ландшафтно-экологического зонирования, схемы природных комплексов и пр.) (рис. 9.22);

Рис. 9.22. Фрагмент концепции градостроительного развития Томска

в) проекты черты поселений;

г) проекты планировки частей территорий поселений;

д) проекты межевания земель;

е) проекты застройки кварталов, микрорайонов и пр.

Градостроительные регламенты использования территорий, подлежащие обязательному занесению в подсистему градостроительной документации, устанавливаются в следующих зонах:

а) особо охраняемых территорий;

б) охраны памятников истории и культуры;

в) санитарно-защитных;

г) водоохранных;

д) залегания полезных ископаемых;

е) чрезвычайных экологических ситуаций;

ж) подверженных воздействию чрезвычайных ситуаций;

з) жилых;

и) общественно-деловых;

к) производственных;

л) инженерной и транспортной инфраструктур;

м) рекреационных;

н) специального назначения;

о) военных объектов и других режимных территорий;

п) сельскохозяйственных.

Кроме этого, подсистема градостроительной документации должна содержать:

а) исходно-разрешительную документацию;

б) сведения о градостроительной ценности территории;

в) сведения о соблюдении регламентов;

г) градостроительные паспорта;

д) другую проектную и градостроительную документацию.

Земельный кадастр содержит данные из реестра федеральных земель, реестра земель субъекта Федерации, реестра муниципальных земель и реестра частных земель. Реестр муниципальных земель, в свою очередь, делится по функциональному использованию на земли: застройки; сельскохозяйственные; общего пользования; запаса; занятые под лесами; под промышленностью, транспортом и пр.

База данных земельного кадастра должна содержать данные по собственникам земель, их оценке, ограничения, сервитуты и пр.

В силу специфики понятия «земельный участок», подразумевающего запрет взаимного наложения разных участков друг на друга и отсутствие дырок между участками, для ведения земельного кадастра лучше всего подходит модель данных «покрытие» (см. п. 2.3). Однако из-за того, что не все ГИС поддерживают эту модель (она не проста в технической реализации), на практике часто используется обычная «шейп-модель» (см. п. 2.2), что нередко приводит к ошибкам во время работы обычных пользователей земельного кадастра.

В Российской Федерации для ведения земельного кадастра используются самые разные ГИС и САПР: от полнофункциональных универсальных продуктов зарубежного (ArcView GIS, ArcGIS, MapInfo, AutoCAD) и российского производства (Панорама, ObjectLand, ГеоГраф, IndorGIS) до таких узкоспециализированных систем, как GeoCad Systems (ООО «Геокад плюс», Новосибирск), АИС Землепользование (ЮРКЦ Земля), ТИСА (НПО «Сибгеоинформатика», г. Томск), Геополис (Новосибирский РКЦ «Земля») и др.

На рис 9.23 приведён фрагмент системы ведения земельного кадастра IndorGIS/Land, построенной на базе геоинформационной системы IndorGIS. Система позволяет вести графическую и атрибутивную базы данных по земельным участкам, типам угодий, владельцам участков и другим объектам. В системе предусмотрена автоматическая генерация разнообразных отчётов по отдельным участкам, кварталам и населённому пункту в целом. Например, можно легко получить план земельного участка, баланс площадей по составу угодий, список плательщиков налогов на заданной территории и пр. Система IndorGIS/Land обеспечивает тематическую раскраску карты в соответствии с типами угодий, принадлежностью участков и другими характеристиками. Кроме того, система выполняет автоматическое вычисление площадей участков по их контурам, возможно, с учётом отдельно стоящих объектов и охранных зон, попадающих внутрь участка.

Рис. 9.23. Система ведения земельного кадастра на базе IndorGIS

Картографо-геодезический кадастр содержит следующие геодезические и картографические сведения о территории:

а) картографические карты масштабов 1:5000 – 1:50 000;

б) топографические планы масштабов 1:500 – 1:2000;

в) карты-схемы масштабов 1:25 000 – 1:100 000;

г) нормативно-правовую и техническую документацию по геодезическому производству и архивному делопроизводству, включая инструкции, лицензии, СНиПы, постановления, положения, распоряжения и т.п.;

д) каталоги координат и высот;

е) акты выноса в натуру осей объектов недвижимости и земельных участков;

ж) различную техническую документацию.

Кадастр недвижимости включает в себя адресный план муниципального образования, дежурный план застройки, а также реестр объектов недвижимости. По объектам недвижимости база данных должна содержать сведения о местонахождении, адрес, принадлежность, стоимость, стадию строительства, наличие правоустанавливающих документов, этажность, материал стен и пр.

Геоинженерный кадастр содержит сведения:

а) по инженерно-геологическому обеспечению и экологии, в т.ч. по микросейсмическому районированию, гидрогеологии, почвам, ландшафтно-экологическому зонированию, загрязнениям и шумам;

б) инженерному обеспечению, в т.ч. по всем надземным и подземным линейным сооружениям и техническим устройствам на них;

в) транспортной инфраструктуре;

г) социальной инфраструктуре и благоустройству, в т.ч. по демографии, вузам, детским садам, кинотеатрам, поликлиникам, аптекам, спорткомплексам.

9.7. ГИС и планирование развития городов и регионов

Принятие решений градостроительного развития подразумевает: а) предварительную проработку различных схем градостроительного планирования территории, генеральных планов застройки, транспортных схем, схем зонирования, проектов планировки и застройки; б) оценку инвестиций в тот или иной вариант развития; в) оценку возвратности инвестиций и общего экономического и социального эффекта.

Традиционные бескомпьютерные технологии в силу своей высокой трудоёмкости зачастую не позволяли детально проработать даже два варианта. В настоящее время привлечение современных компьютерных и, в частности, геоинформационных технологий позволило существенно увеличить количество прорабатываемых вариантов и значительно поднять качество их проработки.

Для проработки нескольких вариантов градостроительного развития территории и их сравнительного анализа вполне можно использовать штатные средства распространённых универсальных ГИС. Однако некото-

рые зарубежные фирмы предлагают специализированные программные продукты для поддержки принятия решения.

Один из таких наиболее известных продуктов – это Scenario 360 компании CommunityViz (США). Этот продукт работает как надстройка над ГИС ArcView GIS 3.2 и ArcGIS версий 8.x/9.0. Компания-производитель системы Scenario 360 позиционирует её как систему поддержки принятия решений на основе ГИС для проектировщиков и менеджеров.

Система Scenario 360 позволяет просмотреть, проанализировать и понять последствия принятия тех или иных вариантов (*сценариев*). Приведём основные способы использования Scenario 360, рекомендуемые фирмой-производителем:

- Комплексное градостроительное планирование.
- Выбор строительных площадок и их оценка.
- Анализ текущих градостроительных решений.
- Анализ предложений по развитию.
- Оценка инвестиций.
- Визуальный анализ влияния различных факторов.
- Оценка земель.
- Анализ устойчивости развития.
- Оценка воздействия на окружающую среду.
- Планирование лесохозяйственных мероприятий.
- Оценка пожароопасности.
- Оценка зонирования территории.
- Управление качеством водных бассейнов.

На рис. 9.24 приведён пример внешнего вида системы Scenario 360, в которой представлены два варианта зонирования территории. В верхней части показаны две карты для двух вариантов зонирования, на которых различными цветами отмечены зоны, имеющие разную степень пригодности для проживания людей. Пригодность зависит от функционального назначения этих и смежных зон, от способа застройки территории, от транспортной схемы и пр.

На рис. 9.25 представлен фрагмент этой же системы Scenario 360 при сравнении трёх различных вариантов комплексного градостроительного планирования застройки территории: 1) редкая («деревенская») застройка, 2) плотная коттеджная застройка и 3) застройка малоэтажными многосемейными домами. Внизу экрана в виде графиков даны результаты укрупнённого сравнительного экономического анализа этих вариантов, включая такие параметры, как количество детей, транспортные потоки, собираемость налогов, потребности в водопроводе, число домов и пр.

Для каждого варианта на основе схемы зонирования, транспортной схемы, прогнозируемой численности населения, количества домовладений система Scenario 360 позволяет подсчитать и показать в виде диаграмм объёмы транспортных потоков, потребности в водоснабжении и электричестве, собираемость налогов и пр.

Рис. 9.24. Разработка и сравнение двух вариантов зонирования территории с помощью системы Scenario 360

Рис. 9.25. Экономическая оценка трёх вариантов застройки территории с помощью системы Scenario 360 (в верхней части экрана представлен трёхмерный вид этих вариантов, а в нижней – прогнозные оценки социально-экономических параметров этих вариантов)

9.8. ГИС и инженерные сети

В самом общем понимании инженерные сети бывают трубопроводными (водопроводными, тепловыми, газовыми, вентиляционными, нефтегазовыми и пр.), кабельными (электрическими, телефонными, телевизионными, компьютерными и пр.) и транспортными (автодорожными, железнодорожными и пр.). Несмотря на такое разнообразие видов, все сети объединяются между собой пространственным характером расположения на поверхности Земли. Именно поэтому ГИС являются незаменимым инструментом на всех этапах жизненного цикла сетей: от планирования развития, проектирования и строительства сетей до эксплуатации и управления режимами их работы. К настоящему времени ГИС нашли наибольшее применение в задачах эксплуатации и в управлении режимами работы инженерных сетей. При этом отметим, что практически для всех видов инженерных сетей разработано множество мощных ГИС (в том числе и в России), позволяющих автоматизировать самые разные аспекты эксплуатации инженерных сетей.

Рассмотрим одно из таких комплексных решений российской компании «ИндорСофт». Она предлагает решения для электрических (IndorGIS/Power), водопроводных (IndorGIS/Water), тепловых (IndorGIS/Heat) и газовых (IndorGIS/Gas) сетей, а также для автомобильных дорог (IndorGIS/Road). Все эти продукты построены по единой методике на основе универсальной ГИС IndorGIS (см. гл. 8), поэтому для примера рассмотрим электрические сети.

Основное назначение и функции IndorGIS/Power следующие:

1. Ведение всей технической и технологической информации по всем объектам электрических сетей. Это включает в себя: представление объектов и оборудования на схемах, планах сооружений и картах местности; представление технических паспортов объектов и оборудования, а также их составных частей; представление эксплуатационной информации (описания ремонтов, осмотров, испытаний, работ, неисправностей и т.п.); представление документации по объектам и текущей документации, формируемой в процессе эксплуатации.

2. Решение задач, связанных с точным расположением трасс линий электропередачи и планов подстанций на карте местности. На базе такого представления решаются следующие задачи: совместное представление трасс ЛЭП и прочих инженерных сетей для целей согласования работ, формирования зон отчуждения, обременения и взаимного влияния, формирование профилей трасс линий с учётом провиса проводов; оценка воздействия различных природных и техногенных факторов; точное представление трасс линий в требуемых системах координат для решения задач согласования землепользования и межевого дела.

3. Решение задач оперативного получения информации об объектах, в т.ч. поиск по наименованию, по расположению, по адресу, получение информации по объекту, указанному на схеме, карте, плане.

4. Автоматическое формирование планов работ на основе имеющейся информации по неисправностям, проведённым работам и текущих технических параметров объектов.

5. Автоматизация работ с оперативными диспетчерскими схемами: отображение состояния коммутаторов и объектов, выделение цветом подключенных объектов и фидеров, ведение журналов дат и причины переключений.

6. Работа с абонентами: отображение их на карте с указанием питающих фидеров; автоматическое формирование списка отключенных абонентов.

7. Интеграция с системой расчёта установившихся режимов и токов коротких замыканий IndorElectra. Это позволяет автоматизировать процесс расчёта текущего режима сети на основе актуальных данных, получаемых из информационной системы.

Геоинформационная система IndorGIS/Power состоит из нескольких *разделов* – наборов карт или схем, предназначенных для выполнения некоторого цикла работ и может рассматриваться как автоматизированное место для служб линий и подстанций, производственного, технического и абонентского отделов, диспетчерской службы, службы релейной защиты и других пользователей информационной системы. Каждый раздел характеризуется набором представлений объектов и режимов работы с ними. Рассмотрим основные разделы системы IndorGIS/Power.

Раздел 1. Трассы ЛЭП и планы подстанций на карте местности (плане территории).

Данный раздел предназначен для служб линий и подстанций, а также для отдела согласования. В данном разделе представлены трассы ЛЭП (рис. 9.26) и планы подстанций (рис. 9.27), совмещённые с детальной электронной картой местности. Раздел описывает положения и планы опор, фундаментов, контуров заземления, габариты пролётов. Планы подстанций содержат в различных слоях планы фундаментов, сооружений и оборудования, ошиновку, контуры заземления, кабельные каналы и подъездные пути. На карте местности представлены контуры (возможно, и поэтажные планы) зданий и сооружений, трассы инженерных коммуникаций, уличнодорожная сеть, виды угодий, гидрография, рельеф.

Раздел 2. Технологическая схема на карте местности.

Данный раздел предназначен для производственного и технического отделов, службы подстанций, релейной защиты, абонентского отдела. В данном разделе представлены технологические схемы подстанций и схемы линий электропередачи, а также условное расположение абонентов. Подстанции изображаются схематично на карте в местах их приблизительного расположения (рис. 9.28). Линии электропередачи также представлены схематично. При увеличении масштаба просмотра в контурах подстанций появляются их оперативные технологические схемы. В этом разделе представлены оборудование подстанций и абоненты, размещённые на карте.

Рис. 9.26. Представление трасс ЛЭП на плане коммуникаций предприятия

Рис. 9.27. Представление плана подстанции в разделе «Трассы ЛЭП и планы подстанций»

Рис. 9.28. Оперативная технологическая схема на плане местности

Раздел 3. Оперативная (диспетчерская) схема.

Данный раздел предназначен главным образом для диспетчерской службы и службы режимов. Здесь представлена упрощённая однолинейная схема всей сети – аналог диспетчерского щита (рис. 9.29).

Основным отличием этого раздела от других является то, что на оперативной схеме можно совместно представлять сети разных классов напряжений – от 1100 до 0,4 кВ. При этом, чтобы избежать перегруженности схемы, сети более низких классов напряжений изображаются в уменьшенных масштабах. При увеличении масштаба они появляются на схеме, а при уменьшении – скрываются.

Для работы с тем или иным объектом следует указать на его изображение в каком-либо из разделов (рис. 9.30), после чего будет произведено то или иное действие с объектом (просмотр или редактирование паспортов, работ, изменение состояния, положения, формы, размеров и т.д.).

Все данные, которые хранятся в геоинформационной системе IndorGIS/Power, можно напрямую передать в комплекс расчёта установившихся режимов и токов коротких замыканий IndorElectra – одну из наиболее мощных систем своего класса, предлагаемых на рынке в России.

Программный комплекс IndorElectra предназначен для анализа текущих режимов, возможных послеаварийных ситуаций с оценкой вариантов резервирования питания, формирования оптимального разомкнутого

графа сети, режимной оценки различных вариантов развития сетей, решения задачи введения режима в допустимую область по напряжению. Кроме того, этот комплекс позволяет рассчитывать токи коротких замыканий всех видов и селективность защиты автоматики.

В заключение отметим, что раздел оперативной схемы может быть также интегрирован с телеметрическими системами, позволяя отображать текущее состояние коммутаторов и значений измеряемых параметров.

Рис. 9.29. Пример нормальной схемы сетей энергосистемы в разделе «Оперативная схема»

Рис. 9.30. Выбор объекта в интерактивном режиме и различные операции с ним

9.9. ГИС и дорожное хозяйство

Сфера применения ГИС в дорожном хозяйстве чрезвычайно разнообразна, поскольку автомобильные дороги являются ярко выраженным примером географически распределённых объектов.

ГИС-технологии, понимаемые в широком смысле как совокупность множества связанных информационных компонентов, способны обеспечивать эффективное управление техническим и транспортно-эксплуатационным состоянием сетей дорог на муниципальном, территориальном и федеральном уровнях в течение всего их жизненного цикла: от изысканий и проектирования до строительства и содержания в процессе эксплуатации. Такой комплексный подход в современных терминах информационных технологий называют термином PLM (Product Lifecycle Management). В настоящее время PLM-решения достаточно хорошо разработаны для отраслей микроэлектроники, машиностроения, авиастроения. Дорожная отрасль в этом смысле существенно отличается своей спецификой от вышеперечисленных отраслей, и поэтому перенос готовых решений здесь малопродуктивен. Тем не менее уже можно сказать, что сейчас на рынке программного обеспечения представлены практически все основные элементы комплексных PLM-решений для дорожной отрасли.

В предыдущих главах достаточно подробно были описаны ГИС-технологии, развивающиеся ускоренными темпами вот уже почти полвека. Однако если возможности ГИС настолько впечатляющи, то почему же они до сих пор недостаточно востребованы и не развиты в полной мере в дорожной отрасли? Перечислим лишь несколько причин, по которым ГИС-технологии сегодня ещё не стали привычным инструментом деятельности инженеров-дорожников в Российской Федерации.

1. Информационную основу ГИС составляет атрибутивная и пространственная информация. Последняя, в привычном понимании, это – картографические материалы. Поскольку целый ряд масштабов карт имеет ограничения по использованию (гриф секретности), то и наполнение ГИС страдает отсутствием этой информации. К тому же на сегодня не выработаны единые стандарты на представление цифровой картографии в ГИС. В настоящее время по заказу Министерства экономического развития и торговли ГИС-ассоциацией разрабатывается «Концепция создания и развития инфраструктуры пространственных данных в Российской Федерации на период до 2010 года». Реализация этого проекта может существенно продвинуть применение ГИС во всех сферах жизнедеятельности нашей страны. Но наличие этой концепции не исключает необходимости разработки аналогичных стандартов обмена пространственными данными на отраслевом уровне. Разработка такого стандарта в дорожной отрасли существенно бы активизировала применение САПР и ГИС в инженерной деятельности и способствовала бы обмену данными между этими системами. Следует заметить, что в целом ряде сфер деятельности (например, в области нефтегазотранспортировки) такие стандарты уже созданы и стали стимулирую-

щим фактором внедрения ГИС для проектирования, планирования и управления соответствующими процессами.

2. Специфика автомобильных дорог как линейно-протяжённых объектов предопределила и их специфическое отображение в графическом виде. Чаще всего – это линейные графики дорог, которые не в полной мере адекватны их истинным очертаниям. Отсюда многочисленные искажения информации о дорогах. Истинное представление о геометрических параметрах дорог дают крупномасштабные планы в составе проектов дорог и кадастровые планы дорог. Но в отрасли не отработана технология сбора и накопления этих материалов в едином графическом стандарте, что сдерживает передачу этих материалов в геоинформационные системы.

3. Ведущими учеными и специалистами дорожной отрасли России до конца не осознаны и не оценены возможности ведущих ГИС по решению транспортных и сетевых задач, задач по установлению зон доступности и пространственному анализу, оптимизации распределения финансовых, материальных и людских ресурсов для поддержания сети дорог в эксплуатационном состоянии. А именно такого класса задачи чаще всего и решаются в процессе жизнедеятельности дорог, но решаются до сих пор, как правило, на основе устаревших подходов и методик.

4. В сфере высшего дорожного образования внедрению информационных технологий в учебный процесс, к сожалению, стали уделять должное внимание лишь в последние годы, введя соответствующие учебные курсы по автоматизированному проектированию и геоинформационным системам. А это означает, что данным технологиям только ещё предстоит стать неотъемлемым инструментом дорожной инженерной деятельности для выпускников вузов.

5. Переход на новые технологии проектирования, планирования и управления всегда является болезненным для любой отрасли, так как затрагивает не только общую организацию работ и взаимодействия, иногда и судьбы и карьеры многих людей, а поэтому требуется определённая воля на то, чтобы кардинально приступить к этому процессу перехода.

И все же нарастающий поток информации, усложняющаяся структура отрасли в рамках нарождающихся рыночных механизмов, расширяющиеся международные связи и кооперация должны неизбежно привести к активному внедрению геоинформационных технологий как к одному из факторов научно-технического прогресса в дорожной отрасли.

Программы развития и обоснование инвестиций

Переход экономики РФ на рыночные рельсы привел к ускоренному росту уровня автомобилизации населения. Если в 1985 г. уровень автомобилизации населения составлял только 45 автомобилей на 1000 человек и по прогнозам плановой экономики должен был вырасти к 2005 г. до 140 авт./1000 чел, то фактический уровень на сегодня – это уже около 250 авт./1000 чел и продолжает стремительно расти (примерно на 8% в год), приближаясь к среднеевропейскому уровню, который достигает около 400

авт./1000 чел. В этих условиях неизбежно встаёт проблема как существенного увеличения протяжённости дорог, так и качественного повышения их потребительского уровня.

В ближайшие годы развитие сети автомобильных дорог будет происходить по сценарию, заложенному в «Национальной программе модернизации и развития автомобильных дорог Российской Федерации до 2025 года». Разработке программы предшествовали аналогичные разработки программ на каждой территории РФ, которые были укрупнены и обобщены на уровне федеральных округов. Таким образом, был соблюдён принцип разработки от частного к общему.

Опыт участия в этой разработке показал, что отсутствие единой электронной (цифровой) картографической основы создаёт существенные проблемы для построения топологически корректной сети автомобильных дорог даже для нескольких смежных регионов, не говоря уже о сети дорог в границах Российской Федерации.

Так, например, при разработке Концепции развития автомобильных дорог юга Сибири (рис. 9.31), сбор и объединение картографических материалов о сети дорог в Томской и Новосибирской областях заняли несколько часов общения по электронной почте. Это объясняется тем, что данные о сети дорог были созданы, хранились в форматах шейп-файлов компании ESRI и были структурно согласованы. Объединение данных о дорогах Кемеровской области, республик Алтай и Хакасия, а также Алтайского и Красноярского краев заняло несколько недель рутинной работы по оцифровке и векторизации разнородных карт и планов.

Таким образом, создание концепций и программ совершенствования и развития автомобильных дорог и других видов транспортных коммуникаций, а также последующая их эффективная поддержка в процессе реализации существенно сдерживаются отсутствием единой цифровой картографической основы и согласованной структуры данных о дорогах, коммуникациях и пр. Это обстоятельство осознаётся всем сообществом разработчиков и пользователей ГИС и должно найти понимание в соответствующих государственных структурах и в первую очередь в Агентстве по геодезии и картографии (Роскартографии).

Если концепции и программы развития дорог классифицируют как предпроектные стадии, то первой стадией проектирования дорог считается обоснование инвестиций (ОИ). На этой стадии выполняется сбор и обоснование будущих транспортных нагрузок на дорогу (по расчётной интенсивности), исходя из чего назначается категория проектируемой дороги и определяются возможные варианты проложения трасс проектируемой дороги, их стоимость и экономическая эффективность реализации. На основе этих данных принимается решение о необходимости и целесообразности последующего строительства (реконструкции) одного из вариантов дороги или сети дорог (рис. 9.32). Если оценивать этот подход к начальной стадии проектирования и будущего строительства дорог с позиции его соответствия мировой практике, международным нормам и правилам, то следует

Рис. 9.31. Схема перспективной сети автомобильных дорог юга Сибири

Рис. 9.32. Схема к обоснованию инвестиций маршрута Новосибирск (Чик) – Колывань – Изовка – Кожевниково – Томск – Мариинск – Шарыпово

признать, что он существенно отличается. Во многих странах мира и в частности в Европе категорию проектируемой дороги назначают из её будущей роли и выполняемых функций в общей сети дорог.

Подход, принятый мировым сообществом, в ряде случаев более целесообразен, особенно если учесть, что прогнозирование расчётной интенсивности движения в условиях отсутствия чётких прогнозов экономического развития страны и её отдельных регионов, а также в условиях недо-

статочно совершенных математических моделей прогнозирования транспортных потоков приводит к тому, что конечный результат не является достаточно достоверным и обоснованным.

Что касается вариантного проектирования трасс автомобильных дорог на стадии обоснования инвестиций, то его наиболее целесообразно выполнять в ГИС на основе карт различных масштабов и данных дистанционного зондирования. Это, кстати, отличает вариантное проектирование от стадии инженерного проекта и рабочей документации, когда такое проектирование выполняется посредством САПР автомобильных дорог. Пример вариантного трассирования в ГИС участка Северного широтного коридора Пермь – Ивдель – Ханты-Мансийск – Сургут – Нижневартовск – Томск на территории Томской области приведён на рис. 9.33.

Рис. 9.33. Пример вариантного трассирования дороги в ГИС на участке Северного широтного коридора Пермь – Ивдель – Ханты-Мансийск – Сургут – Нижневартовск – Томск

Проектирование и реализация проектов дорог

В настоящее время в дорожной отрасли проекты автомобильных дорог в большинстве дорожных проектных организаций разрабатываются на высоком уровне автоматизации с помощью САПР автомобильных дорог.

В процессе всего жизненного цикла проектирования инженер-проектировщик имеет дело с информационной моделью будущей автомобильной дороги, которая на последнем этапе работ (оформление проектной документации) представляется, как правило, в виде совокупности инженерных чертежей и описаний. Было бы логично, если бы информационная мо-

дель проектируемой дороги совместно с проектной документацией передавалась заказчику и далее подрядчику, контролирующим органам (технический надзор) и т.д. Это позволило бы более эффективно осуществлять строительство и контролировать качество выполняемых работ.

Профессиональное дорожное сообщество вполне понимает, что такая последовательность действий целесообразна и эффективна, но этого не происходит по целому ряду причин, в том числе:

- из-за отсутствия практически апробированных систем информационного обмена между всеми участниками дорожного инвестиционного процесса: от разработки проекта до его реализации;
- неразвитости комплексного программного обеспечения, позволяющего обеспечивать полный цикл инженерных работ от изысканий и проектирования до строительства (реконструкции) дорог и его контроля;
- неподготовленности инженерных кадров к реализации таких комплексных проектов.

Однако осознание того, что этот процесс должен постепенно формироваться, существует, а значит, уже сейчас представляется целесообразным гипотетически описать последовательность действий в этом направлении.

Этап 1. В состав сдаваемой заказчику проектной документации должна включаться информационная модель проектируемой дороги в согласованном сторонами (или на отраслевом уровне) стандарте данных. Это позволяет заказчику не только анализировать полученную проектную документацию, но и осуществлять детализацию различных её фрагментов, обеспечивать необходимое тиражирование документации. В то же время, наряду с применением средств САПР автомобильных дорог заказчик может передавать информационную модель в ГИС. Это обеспечит не только надежное хранение информационной модели, но и позволит накапливать дополнительную информацию о самом проекте и процедуре прохождения его в различных инстанциях (в административных и кадастровых органах и др.).

Этап 2. При передаче проектной документации от заказчика к подрядчику также может обеспечиваться передача информационной модели дороги. Подрядчик подготавливает проекты организации строительства и производства работ на основе проекта дороги. В случае возникновения предложений по изменению проектных решений подрядчик может обращаться к заказчику и проектировщику в рамках корректировки общей информационной модели дороги.

Этап 3. На этапе реализации проекта как подрядчиком, так и организацией, осуществляющей технический надзор, может выполняться исполнительная съёмка, результаты которой передаются в информационную модель проектируемой дороги с целью оценки соответствия выполненных работ проектным данным. При этом количество оценочных данных будет

значительно шире, а их достоверность существенно выше, чем при традиционном взаимодействии участников инвестиционного процесса.

Этап 4. И наконец, на стадии завершения проекта вся собранная и обобщённая информация в виде единой модели дороги и событий, связанных с ней, передаётся эксплуатирующей организации в виде ГИС-проекта функционирования введённого в действие объекта.

Транспортные потоки и организация движения

Необходимость анализа и прогнозирования транспортных потоков возникает на стадии оценки инвестиций (для оценки различных вариантов строительства), на стадии проектирования дорог (при оценке проектных решений и расчёта эффективности инвестиций), а также во время эксплуатации дорог (при совершенствовании организации и обеспечении безопасности движения). В контексте общей методологии проектирования и функционирования транспортной инфраструктуры задачу моделирования транспортных потоков можно рассматривать как ГИС-задачу.

Все способы моделирования транспортных потоков можно разделить на две основные группы: *макромоделирование* и *микромоделирование*.

В первом подходе – макромоделировании – на основе различных предположений о корреспонденциях между транспортными районами вычисляется укрупнённый транспортный поток (количество движущихся автомобилей разного вида) из одного района города в другой. Затем для этого потока вычисляются наиболее вероятные маршруты движения по улично-дорожной сети. Далее, просуммировав все транспортные потоки во всей транспортной сети, определяется нагрузка на отдельные фрагменты улиц и дорог. Результаты таких расчётов обычно представляют в виде картограмм транспортных потоков (см. п. 6.4, рис. 6.34).

Достоинством макромоделирования является возможность расчёта транспортных потоков для больших транспортных сетей, что полезно для анализа транспортных сетей городов и регионов и разработки концепций их развития. Недостатком же является невозможность точного учёта конфигураций транспортных развязок, учёта наличия средств организации движения (светофоров), а также индивидуальных особенностей управления автомобилем водителями.

Во втором подходе – микромоделировании – выполняется моделирование отдельных автомобилей или их небольших групп (пакетов). В этом случае для каждого автомобиля просчитывается точная траектория его движения (в пространстве и времени) с учётом средств организации движения, направлений движения по полосам, возможностей перестраивания между полосами, наличия аварийных ситуаций и заторов. Для такого детального моделирования, конечно, требуется вводить гораздо больше информации о структуре автомобильной дороги (количество полос, дорожная разметка, дорожные знаки, ограничения по скорости движения, схемы развязок), о составе и интенсивности автомобильного потока (рис. 9.34).

Рис. 9.34. Модель автомобильной дороги для микромоделирования транспортных потоков, подготовленная в программе TEDI системы GETRAM

Метод микромоделирования транспортных потоков позволяет отдельно просчитать движение различных видов перемещающихся объектов: легковых автомобилей, грузовиков, трамваев, автобусов, троллейбусов, мотоциклов, велосипедов и пешеходов. Именно эта комплексность подхода особенность важна при создании схем организации движения.

Результаты микромоделирования могут представляться в виде табличных статистических отчётов, в виде графиков по интересующим сечениям дорог или по отдельным полосам движения (на рис. 9.35 на графике показаны интенсивности движения на трёх сечениях дороги) или в виде различных схем на картографической основе (рис. 9.36).

Рис. 9.35. Представление на графике интенсивности транспортных потоков в различных сечениях дороги, рассчитанных с помощью программы AIMSUN системы GETRAM методом микромоделирования

Рис. 9.36. Представление на плане результатов микромоделирования транспортных потоков, полученных с помощью программы AIMSUN системы GETRAM

В связи с тем, что в методе микромоделирования точно рассчитываются траектории движения отдельных автомобилей, появляется возможность динамической анимации движения автомобилей на карте или в трёхмерном виде. Этот способ очень популярен при визуальной оценке проектных решений, при создании схем организации движения, а также при защите разработанных проектов у заказчика. Именно поэтому многие системы микромоделирования транспортных потоков предлагают специальные встроенные инструменты для трёхмерной визуализации (рис. 9.37).

Эти системы позволяют просматривать в динамике трёхмерные сцены с любой фиксированной точки, с позиции водителя в автомобиле или с позиции камеры, движущейся по произвольной траектории в пространстве.

Для дополнительного визуального оформления сцен в этих системах имеются средства для размещения на карте различных зданий, элементов ландшафта и инженерного обустройства дорог. Такие элементы дороги, как разметка, текущие фазы светофоров, дорожные знаки и информационные табло, создаются автоматически.

Помимо этого, некоторые системы микромоделирования имеют средства экспорта сгенерированных трёхмерных моделей и сцен в стандартные форматы (например, в формат 3DS) для последующей доработки сцен и высококачественной визуализации в специализированных системах трёхмерного моделирования (например, в систему 3D Studio MAX).

Рис. 9.37. Трёхмерная визуализация транспортных потоков в системе Paramics

В настоящее время в мире разработано множество программных продуктов, позволяющих выполнять макро- и микромоделирование транспортных потоков. Отметим только некоторые из них.

Система **PTV Vision** (производства компании PTV AG, Германия) является одним из наиболее комплексных программных продуктов в мире для моделирования и планирования транспортных потоков. В её состав входит модуль VISUM, предназначенный для макромоделирования транспортных потоков и стратегического планирования транспортных схем городов и регионов. Модуль VISSIM позволяет выполнять моделирование на микроуровне (рис. 9.38). Кроме того, система PTV Vision содержит модуль INTERPLAN для оперативного планирования (диспетчеризации) движения грузового и общественного транспорта.

Отметим, что уже имеются примеры успешного применения системы **PTV Vision** в России, в частности в Санкт-Петербурге и Томске.

Программный комплекс **GETRAM** (производства компании TSS-Transport Simulation Systems, Испания) предназначен только для микромоделирования транспортных потоков. Он состоит из трёх независимых программ. Программа **TEDI** предназначена для создания модели транспортной сети (см. рис. 9.34). Программа **AIMSUN** выполняет собственно микромоделирование транспортных потоков (см. рис. 9.35, 9.36). Программа **AIMSUN 3D** предназначена для трёхмерной визуализации результатов моделирования, полученных ранее в программе AIMSUN. Также отметим, что транспортная сеть, сформированная в программном комплексе GETRAM, и результаты моделирования транспортных потоков могут быть экспортированы в ГИС через формат шейп-файлов ESRI.

Рис. 9.38. Трёхмерная визуализация транспортных потоков в системе PTV Vision с помощью модуля VISSIM

Система **Quadstone Paramics** (производства компании Paramics Information Quadstone Ltd., Великобритания) предназначена только для микромоделирования транспортных потоков. Её достоинством является высокое качество трёхмерного представления результатов моделирования, а также более удобный пользовательский интерфейс, чем у двух предыдущих систем моделирования (так, система GETRAM вообще имеет крайне непривычный для россиян пользовательский интерфейс в Unix-стиле).

К настоящему времени в нашей стране отечественными учёными разработано достаточно много математических моделей транспортных потоков, однако, к сожалению, большинство из них не доведено до программных продуктов.

Из отечественных программных продуктов для моделирования транспортных потоков можно отметить систему **IndorTraffic**, обладающую функциями как макро-, так и микромоделирования. Эта система состоит из двух модулей.

Модуль **IndorGISTraffic** для геоинформационной системы IndorGIS предназначен для макромоделирования. Его возможности были описаны выше в пп. 6.4 и 8.9.

Модуль **IndorCADTraffic** для системы автоматизированного проектирования автомобильных дорог IndorCAD/Road позволяет выполнять микромоделирование. Здесь следует особо отметить тот факт, что данный модуль, возможно, является единственным в мире, который встроен в полноценную систему проектирования автомобильных дорог. Такая тесная интеграция позволяет инженерам-проектировщикам, создавая проекты дорог, с помощью всего одной команды промоделировать транспортные потоки и сразу же визуально оценить проектное решение и получить статистические данные о составе и интенсивности транспортного потока на проектируемом участке дороги (рис. 9.39).

Рис. 9.39. Трёхмерная визуализация транспортных потоков в системе IndorCAD/Road

Паспортизация, инвентаризация и кадастр

Основные задачи земельного кадастра были описаны выше в п. 9.6. Автомобильные дороги, занимающие определённый земельный участок, также лежат в сфере задач государственного земельного кадастра.

Созданием кадастра автомобильных дорог решаются следующие основные задачи:

а) регистрация прав на недвижимое имущество;

б) фиксирование границ действия прав владельцев автомобильных дорог и в случае необходимости их восстановление;

в) определение правового режима земель, исходя из общественных ограничений;

г) обеспечение уникальной идентификации автомобильных дорог для связи с Единым реестром прав на недвижимое имущество;

д) обеспечение исходной информацией при проведении всех видов землеустройства;

е) осуществление мониторинга изменения качественных и количественных характеристик земель.

На начальном этапе создания кадастровых планов автомобильных и городских дорог осуществляется камеральный сбор исходных данных об автомобильных дорогах. К таковым данным относятся: наименование автомобильных дорог, их местоположение и протяжённость, сведения об отводе земель, сведения о смежных землепользователях, экономические характеристики дорог и искусственных сооружениях на них.

Затем наступает этап полевых работ. Вначале необходимо установить истинную ось автомобильной дороги. Это делается либо с помощью передвижной лаборатории, оснащённой системой спутниковой навигации (GPS), либо экспортом данных из тахеометрической съёмки изыскательской группы.

Затем выполняется съёмка элементов и обстановки автомобильной дороги. При помощи специального оборудования фиксируется пикетажное положение обстановки дороги (дорожных знаков, столбов ЛЭП, начало и конец угодий, дорожных труб, мостов, укреплённых кюветов и пр.). Затем проводится дополнительная съёмка геометрических элементов автомобильной дороги (поперечные размеры земляного полотна, геометрические размеры примыканий, расстояния до дорожных знаков и угловых столбов ЛЭП и пр.) с помощью рулетки или лазерного дальномера.

После этого выполняется уточнение смежных с автомобильной дорогой землепользований, информация о которых получена в районных земельных комитетах и которая в дальнейшем согласовывается с каждым смежным землепользователем.

После проведения полевых работ наступает камеральный этап обработки собранных данных. Вначале необходимо наполнить электронный паспорт автомобильной дороги, который представляет собой, по сути, набор таблиц базы данных.

В базе данных все таблицы можно разделить на четыре группы: 1) элементы автомобильной дороги, 2) характеристики, 3) обстановка и 4) искусственные сооружения.

Элементы автодороги включают в себя: дорожные знаки, ограждения, дорожную разметку, примыкания, дорожную одежду, укреплённые кюветы, грунт земляного полотна, укреплённые обочины, подъезды к автомобильной дороге, тротуары, переходно-скоростные полосы.

К *характеристикам автомобильной дороги* относятся: размеры полосы отвода, вид угодий, дефекты покрытия, основные расстояния, статистика ДТП, интенсивность движения, ровность покрытия, ширина верха земляного полотна, типы поперечных профилей, протяжённость покрытий, технические категории, обслуживающие дорожные организации, проблемные участки (затопляемые, вечномёрзлые, пучинистые и пр.), недопустимые радиусы и уклоны, состояние покрытия, вершины углов поворотов, координаты оси трассы, метки, описание подошв сооружений.

В *обстановку автомобильной дороги* входит описание: коммуникаций, снегозащитных сооружений, площадок отдыха, автобусных остановок, населённых пунктов, зданий дорожной службы, пунктов первой медицинской помощи, озеленения, пунктов питания, автовокзалов, общественных туалетов, пунктов ГИБДД, моечных пунктов, гостиниц, автозаправок, станций технического обслуживания автомобилей.

Рис. 9.40. Паспорт автомобильной дороги в табличном виде, созданный в геоинформационной системе IndorPassport

К *искусственным сооружениям* относят: трубы, мосты, подпорные стенки, тоннели, паромные переправы.

Все данные из полевых журналов заносятся в соответствующие разделы электронного паспорта с привязкой каждого элемента к пикетажному положению на оси дороги.

На рис. 9.40 приведён пример создания электронного паспорта дороги в геоинформационной системе IndorPassport.

Формирование кадастрового плана выполняется на основе данных электронного паспорта. Используя координаты оси трассы, на карте (плане) строится верх земляного полотна, постоянная полоса отвода под автомобильную дорогу в реальной геометрии, на которые затем помещаются элементы обустройства автомобильной дороги.

Система IndorGIS/Road позволяет автоматически сгенерировать кадастровый план автомобильной дороги на основе введённых табличных данных. Результат может быть сразу помещён на карту в геоинформационной системе IndorGIS или передан в систему подготовки чертежей IndorDraw. Отметим, что при автоматической генерации кадастрового плана в ГИС IndorGIS устанавливается связь между графическим изображением и исходными объектами автомобильной дороги. Это позволяет в дальнейшем, выделив прямо на карте объект, отредактировать его параметры, хранящиеся в общей базе данных (рис. 9.41). При передаче же кадастрового плана в IndorDraw связь с атрибутикой не сохраняется, так как основной целью этой операции является только высококачественная подготовка чертежей (рис. 9.42).

Рис. 9.41. Кадастровый план автомобильной дороги, сформированный в IndorGIS автоматически геоинформационной системой IndorGIS/Road

Рис. 9.42. Кадастровый план автомобильной дороги, сформированный автоматически в IndorDraw

Сформированные кадастровые планы земельных участков, занятых автомобильными дорогами, являются основой в первую очередь для подготовки межевого дела и постановки на кадастровый учёт в органах государственного учёта.

В силу того, что автомобильные и городские дороги являются линейно-протяжёнными объектами, в ряде случаев более удобно работать не с традиционными картами и планами дорог, а с их развёрнутым вдоль оси дороги представлением в виде линейных графиков и развернутых планов. В геоинформационной системе IndorGIS/Road также предусмотрена возможность формирования такого линейного графика автомобильной дороги. На рис. 9.43 показан пример линейного графика, сформированного из IndorGIS/Road в системе IndorDraw.

Отметим, что при формировании линейных графиков можно задать различные масштабы в продольном и поперечном направлении. Это позволяет существенно сократить количество формируемых чертежей, практически не теряя в наглядности их представления, особенно для загородных дорог с малым количеством примыканий и инженерных сооружений в придорожной полосе. На рис. 9.44 показаны различные варианты представления кадастрового плана автомобильной дороги: в реальном масштабе, в линеаризованном виде, а также с изменённым масштабом в продольном направлении.

Рис. 9.43. Линейный график паспорта автомобильной дороги, сформированный в IndorDraw автоматически геоинформационной системой IndorGIS/Road

Рис. 9.44. Различные варианты представления кадастрового плана автомобильной дороги в IndorDraw: *а* – в реальном масштабе; *б* – в линеаризованном виде; *в* – с изменённым масштабом в продольном направлении

В заключение данного раздела отметим, что в процессе эксплуатации автомобильных дорог необходимо выполнять два независимых друг от друга вида инженерных работ: *паспортизацию* и *инвентаризацию*. Отличий между этими видами работ практически нет – они отличаются только частотой их исполнения и формой отчётной документации: в случае паспортизации – это таблицы и линейные графики, в случае инвентаризации – это только таблицы.

Такой подход был сформирован и принят десятилетия назад (сейчас паспортизация автомобильных дорог осуществляется в соответствии с требованиями нормативного документа ВСН 1-83 «Типовая инструкция по техническому учёту и паспортизации автомобильных дорог общего пользования»). Именно поэтому он никак не использует возможностей современных информационных технологий по формированию паспортов автомобильных дорог.

В современных условиях одновременное существование двух независимых друг от друга видов инженерных работ на дорогах (паспортизация и инвентаризация) представляется нецелесообразным. При повсеместном внедрении информационных технологий, в том числе ГИС и САПР, имеет смысл переходить на единые технологии, позволяющие комплексно собирать и анализировать всю информацию об автомобильных дорогах на всех этапах их жизненного цикла. И в этом контексте паспорт и инвентаризационные ведомости – это, по нашему мнению, всего лишь две разные формы представления информации о дорогах.

Эксплуатация автомобильных дорог

Процесс эксплуатации автомобильных дорог в Российской Федерации базируется на процедуре *диагностики*, правила выполнения которой регламентируются в ОДН 218.0.006-2002 «Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог», который явился развитием и совершенствованием ранее действующих норм ВСН 6-90.

Диагностика автомобильных дорог выполняется с целью определения их транспортно-эксплуатационного состояния и степени соответствия их параметров требованиям нормативных документов. Если при паспортизации и инвентаризации в основном собираются постоянные параметры (геометрические параметры, конструкции дорожных одежд и земляного полотна и т.п.), то при диагностике дорог главное внимание уделяется переменным параметрам (ровность, сцепление, прочность, дефекты проезжей части и других конструктивных элементов дороги).

По результатам диагностики определяются участки дорог, не отвечающие нормативным показателям. На этих участках назначают комплекс мероприятий для улучшения транспортно-эксплуатационных характеристик.

В настоящее время все материалы по диагностике федеральных автомобильных дорог накапливаются, упорядочиваются и анализируются посредством Автоматизированного банка дорожных данных АБДД «Доро-

га» (см. п. 9.9.1, рис. 9.45). На территориальных дорогах используется более широкий круг программных продуктов, в т.ч. Титул-2000, IndorGIS/Road и др.

Рис. 9.45. Автоматизированный банк дорожных данных АБДД «Дорога»

В АБДД «Дорога» встроен блок задач, позволяющих провести комплексный анализ параметров и характеристик, определяющих транспортно-эксплутационное состояние автомобильных дорог, необходимых для оценки и выявления причин возможных нарушений нормального функционирования дороги:

- Поиск по любой комбинации дорожных характеристик.
- Определение участков дорог, требующих обустройства (нехватка или дефектность ограждений, тротуаров, разметки, осветительных устройств и пр.).
- Анализ интенсивности движения.
- Выбор участков дорог, удовлетворяющих нормативам.
- Статистика по дорожным знакам.
- Характеристика населённых пунктов.
- Расчёт остаточного срока службы нежёстких дорожных одежд.

В настоящее время, ввиду отсутствия тесной интеграции АБДД «Дорога» с ГИС и устаревшей структурой данных информационной модели автомобильных дорог, дальнейшая эволюция этого программного продукта вызывает сомнения. К тому же в условиях гармонизации отечественных норм и стандартов с международными и перехода к планированию дорожных работ по методикам, также близким к международным (например, HDM-4), требуется топологически корректная информация о сети автомобильных дорог, которая может быть обеспечена только посредством ГИС.

9.10. ГИС и железнодорожный транспорт

Железные дороги играют одну из важнейших ролей в российской экономике, перевозя огромное количество грузов и пассажиров. По терри-

тории России проходит несколько международных транспортных коридоров, в том числе паневропейские коридоры № 1, 2 и 9, а также самый большой транспортный маршрут в мире – Транссибирская магистраль (рис. 9.46).

Рис. 9.46. Схема международных транспортных коридоров Европа–Азия

Железнодорожный транспорт и путевое хозяйство по своему функциональному назначению, по методам и средствам управления находятся в родственной связи с дорожным хозяйством и обслуживаемым им автомобильным транспортом. Ввиду этого обстоятельства накопленный опыт в одной из сфер транспорта может быть применён в другой.

Однако из-за того, что железнодорожная отрасль является по своей сути в России естественной монополией, то и конкуренция в этой отрасли заметно меньше, чем в дорожной.

Для развития и применения ГИС-технологий в составе ВНИИАС Министерства путей сообщений России и ОАО «Российские железные дороги» создано «Отделение геоинформационных технологий и автоматизированных систем управления инфраструктурой на железнодорожном транспорте (ГТЖТ)».

На отделение возложено решение следующих основных задач:

- Координация работ, разработка и внедрение геоинформационных технологий в управлении железнодорожным транспортом.
- Автоматизация управления инфраструктурой железнодорожного транспорта.
- Обеспечение информационного взаимодействия с автоматизированными системами управления перевозками.

- Обеспечение информационного взаимодействия с автоматизированными системами управления безопасностью движения.
- Автоматизация стратегического мониторинга эксплуатационных мощностей железнодорожного транспорта.
- Создание системы автоматизированного ведения нормативно-справочной информации отрасли.
- Автоматизация управления имущественным комплексом федерального железнодорожного транспорта.
- Создание единой информационно-вычислительной среды и общесистемных программно-технических комплексов для функционирования информационных технологий.

Собственно разработка и внедрение геоинформационных технологий активно ведутся в МПС РФ с 2000 г. В настоящее время работы выполняются по следующим основным направлениям использования ГИС для автоматизированного решения задач:

1. Управление перевозочным процессом. В первую очередь здесь ГИС используются для диспетчеризации процесса доставки пассажиров и грузов (рис. 9.47).

Рис. 9.47. Центральный диспетчерский пункт в ОАО РЖД

2. Управление инфраструктурой. В этой сфере ГИС используются для отображения различных данных по инфраструктуре отдельных (12) служб на схемах дорог (рис. 9.48). При изменении ситуации специалисты служб изменяют атрибутивные данные в базе данных, изменение же гра-

фического представления происходит автоматически в соответствии с этими изменениями.

3. Повышение безопасности перевозок. В этой сфере основной задачей ГИС является повышение иллюстративности отображения самых разнообразных данных по бракам и происшествиям в разрезе дорог, участков, перегонов, станций, парков. Кроме того, здесь возможно отображение опасных и негабаритных мест на схемах всех уровней.

4. Обеспечение справочной информацией. Эта сфера применения ГИС является одной из наиболее очевидных для железных дорог. С помощью ГИС может быть представлена следующая информация:

- *Схема сети железных дорог*, в т.ч. конфигурация участков и взаимное расположении станций, а также атрибутивная информация по станции, участку, характеристикам определяющих, стыковых станций, количества путей и электрифицированности перегонов (рис. 9.49).
- *Схемы диспетчерских участков*, в т.ч. сведения о путевом развитии в пределах диспетчерского участка и план-профиль пути по главному ходу.
- *Масштабные схемы станций*, в т.ч. информация о конфигурации и расположении путей, стрелок, строений и светофоров, а также атрибутивная информация об объектах схемы (экспликации путей, стрелок и строений, ведомость расстояний).

Рис. 9.48. План железнодорожного разъезда

Рис. 9.49. Схема сети железных дорог Западно-Сибирской железной дороги

9.11. ГИС и сельское хозяйство

Сельское хозяйство в последние десятилетия в России не отличается высоким уровнем прибыльности и финансирования. И конечно, внедрение таких современных технологий, как геоинформационные системы, является, безусловно, экзотикой для этой отрасли.

Совершенно по-другому обстоят дела в ведущих промышленно развитых странах мира. Сельское хозяйство является во многих из них весьма прибыльным делом, и в него вкладываются серьёзные деньги.

Основные области применения ГИС в агропромышленном комплексе – это управление производством сельскохозяйственной продукции, её транспортировкой и сбытом.

В сфере производства сельхозпродукции очень важным является комплексный учёт самой разнообразной информации о земле, в том числе таких сведений, как:

- Типы и характеристики почв.
- Содержание минеральных веществ в почве.
- Цифровая модель рельефа.
- Погодные и климатические условия.
- Гидрологические условия.
- Типы посевов и многолетняя динамика урожайности.
- Типы проведённых механических и химических обработок почв.

- Пространственные распределения заболеваний культур.
- Пространственные распределения вредных насекомых.
- Сведения об источниках и типах загрязнений окружающей среды.

Если эта информация будет регулярно обновляться (будут постоянно браться пробы почв и растений, выполняться метеорологические измерения) и сводиться воедино в ГИС (рис. 9.50), то тогда возможно ведение так называемого *точного сельскохозяйственного производства* (земледелие высокой точности, англ. precision farming, precision agriculture). Этот новый метод управления сельхозпроизводством является достаточно революционным, но он уже позволил многим зарубежным сельхозпредприятиям существенно повысить эффективность своей работы.

Рис. 9.50. Кадастр сельскохозяйственных земель Санта-Барбары

Основное отличие точного сельхозпроизводства от старых методов можно описать словами «локальное (индивидуальное, точечное) вмешательство». Речь идёт о том, чтобы на основе комплексного анализа самых разнообразных данных принимать решения только о локальном внесении удобрений и ядохимикатов в почву для повышения продуктивности производства, ежедневно составлять для трактористов детальные карты, где и в каком количестве необходимо вносить удобрения.

Использование современных ГИС-технологий (в том числе актуальных данных дистанционного зондирования Земли) позволяет в оператив-

ном режиме составлять карты состояния посевов на текущий момент. Например, на участках с наилучшим произрастанием посевов быстрее истощаются запасы азота в почвах. Такое раннее обнаружение различий в состоянии посевов позволяет своевременно определить те участки полей, на которых необходимо дополнительно внести удобрения и ядохимикаты.

В заключение данного раздела отметим ещё одно инновационное применение ГИС в животноводстве – управление разведением скота.

В настоящее время ГИС применяются для оптимального управления полями для выпаса скота, собирая и анализируя в ГИС сведения о структуре и состоянии полей для выпаса скота.

Кроме того, ГИС используются для мониторинга стад или даже отдельных голов скота с помощью индивидуальных GPS-приёмников с радиопередатчиками (см. п. 9.3).

9.12. ГИС и лесное хозяйство

Российское государство (не будучи исключением среди других стран мира) в сфере лесного хозяйства обязано обеспечивать рациональное лесопользование, воспроизводство, охрану и защиту лесов, объектов животного мира, выполнение мер по лесному семеноводству, гидромелиоративных и иных работ по ведению лесного хозяйства, рационального использования земель лесного фонда, сохранения и усиления защитных, водоохранных, рекреационных и иных свойств лесов. В соответствии с этой общей целью государство обязано выполнять ряд функций, в том числе:

1. Ведение государственного лесного кадастра.
2. Проведение государственного мониторинга лесов.
3. Проведение лесоустройства.
4. Предоставление прав пользования участками лесного фонда.

Управление лесами в России по сравнению с другими странами мира имеет очень важное отличие: наши леса раскинулись на огромных территориях, включая и необжитые. Зачастую на тысячи квадратных километров приходится только один лесник. Именно этот существенный пространственный фактор определяет необходимость использования современных геоинформационных технологий для управления лесами.

В настоящее время во многих странах мира созданы специализированные геоинформационные системы, предназначенные для управления лесным хозяйством. С помощью ГИС относительно легко решаются задачи разработки долговременной стратегии поставок древесины, составление прогнозов запасов, выбор системы лесозаготовки, выбор вариантов строительства дорог, выполнение визуального анализа ландшафта, установление границ естественных местообитаний, моделирование сценариев распространения лесных пожаров, выбора мест расположения пожарных вышек (рис. 9.51), заболеваний растений и животных, осуществление тактического планирования по подавлению пожаров и пр.

Рис. 9.51. Планирование мест размещения пожарных вышек в лесу

Рис. 9.52. Карта лесного фонда в Калифорнии

На рис. 9.52 приведён пример сайта в Интернете, содержащего информацию о лесах двух округов в Калифорнии. На интерактивной карте этого сайта можно увидеть типы лесов, их состояние, имеющиеся дороги, ареалы распространения пожаров и много другой информации, полезной в повседневной деятельности работников лесного хозяйства.

9.13. ГИС и недропользование

В настоящее время геоинформационные системы применяются в области недропользования очень широко. Основное и наиболее массовое применение ГИС – это создание и хранение разнообразной геологической и топографической информации (рис. 9.53): различных видов геологических, географических и топографических карт, планов, геологических разрезов, данных дистанционного зондирования Земли и др.

Рис. 9.53. Территория геолого-экономических интересов нефтедобывающих предприятий Восточной нефтяной компании в Западной Сибири

Официально в Российской Федерации работы по применению ГИС в недропользовании начались в 1993 г. после принятия решения о создании Государственного банка цифровой геологической информации и информации о недропользовании в России (ГБЦГИ) как информационной основы системы управления недропользованием на всей территории страны.

В настоящее время ГБЦГИ представляет собой многоуровневую территориально распределённую систему, включающую фонд цифровой геологической информации, а также комплекс нормативно-правовых и программно-технических технологий, обеспечивающих сбор, учёт, хранение, защиту и использование пространственной информации, полученной в результате геологического изучения и использования недр России.

Основное отличие компьютерных геологических карт от обычных бумажных – это, конечно, богатейшие возможности пространственного анализа геологических данных. Например, в настоящее время для минерально-сырьевой базы углеводородного сырья с помощью ГИС решаются следующие задачи:

1. Оценка минерально-сырьевой базы регионов, недропользователей, лицензионных участков, месторождений с позиций динамики запасов и ресурсов, их воспроизводства, темпов прироста запасов и добычи, обеспеченности добычи запасами.

2. Рационализация недропользования с позиций оценки выполнения условий лицензионных соглашений в части уровней добычи и воспроизводства ресурсной базы.

3. Выделение объектов для планирования первоочередных объектов геологоразведочных работ и переоценки запасов с привлечением новых методов подсчёта.

4. Выделение групп трудноизвлекаемых запасов, остаточных запасов пониженного качества и находящихся в сложных горно-геологических и экономико-географических условиях с целью регулирования платежей за пользование недрами, распределения финансовых поступлений между бюджетами различных уровней.

5. Регулирование поступлений в бюджеты различных уровней при разработке месторождений, в том числе пограничных.

6. Оценка изменения качества запасов в процессе разработки, распределения товарных типов углеводородов с целью планирования инфраструктуры топливно-энергетического комплекса (ТЭК) и определения воздействия разработки углеводородов на окружающую среду за счёт содержания в них вредных для здоровья человека, животного и растительного мира примесей.

Для решения задач недропользования в мире используются обычные универсальные ГИС, а также разработано множество специализированных программных комплексов. Среди российских программных продуктов наиболее известна геологическая информационная система ПАРК. За рубежом широко используются такие продукты, как EQuIS (рис. 9.54), RockWorks, EVS и др.

Рис. 9.54. Геологическая информационная система EQuIS компании EarthSoft

9.14. ГИС и экология

Экология – это наука, изучающая взаимоотношения животных и окружающей среды, и прежде всего её дружеских или вражеских отношений. Главными задачами экологии являются изучение, предотвращение и ликвидация последствий загрязнений окружающей среды, в первую очередь человеком. Именно для решения этих задач весьма полезны геоинформационные технологии как средства сбора, каталогизации и анализа самых разнообразных данных, в том числе проб воды, почв, воздуха, шума, данных дистанционного зондирования Земли с самолёта или из космоса, сведений о здоровье людей, флоры и фауны.

Геоинформационные системы являются прекрасным инструментом для обобщения получаемых данных и составления прогнозов. Рассмотрим только некоторые применения ГИС в экологии.

Мониторинг окружающей среды. С помощью ГИС можно легко создавать разнообразные тематические карты по результатам сбора различных параметров окружающей среды. В дальнейшем, собирая новые данные, такие карты можно использовать для выявления масштабов и темпов изменения флоры и фауны.

Экологический анализ. ГИС позволяют проанализировать результаты мониторинга окружающей среды, используя различные методы про-

странственного и геостатистического анализа. Эти методы позволяют выявить новые неочевидные закономерности и зависимости, которые просто невозможно определить, анализируя обычные табличные данные в ГИС. Одним из наиболее важных результатов экологического анализа является комплексная характеристика территории обитания человека, характеризующая безопасность проживания (рис. 9.55).

Экологическое прогнозирование. Регулярный сбор данных о состоянии окружающей среды позволяет выявлять темпоральные изменения и на основании этого создавать прогнозы изменения ситуации в будущем.

С помощью ГИС можно промоделировать развитие разнообразных природных и техногенных аварий и катастроф, например последствия ураганов, извержений вулканов или разливов нефти, а также влияние постоянно действующих загрязнителей.

Заповедники. Одна из наиболее массовых сфер применения ГИС за рубежом – это сбор и управление данными по охраняемым территориям (заповедникам, заказникам и национальным паркам). В пределах этих территорий с помощью ГИС проводится регулярный пространственный мониторинг растительности, ценных и редких видов животных, определяется влияние антропогенных вмешательств (туризма, дорог, линий электропередачи), планируются и проводятся природоохранные мероприятия.

Рис. 9.55. Уровни экологической безопасности проживания в Ростове-на-Дону

9.15. ГИС и оборона

Практически каждая крупная страна уделяет большое внимание уровню готовности своих вооруженных сил отражать любые потенциальные угрозы. Именно поэтому огромная доля государственного финансирования научно-технических разработок идёт по линии военных ведомств. Не являются исключением и разнообразные ГИС-технологии, разработка которых активно финансируется из военного бюджета. И тут безусловным мировым лидером являются США, собственно благодаря которым и появились многие элементы современных ГИС-технологий.

Из всего спектра технологий, напрямую связанных с ГИС и в явном виде порождённых военными потребностями, можно отметить спутниковую навигацию (американскую GPS и российскую ГЛОНАСС) и космическую съёмку. Системы спутниковой навигации изначально создавались только для военных целей (в первую очередь для наведения ракет). Космическая же съёмка имела двойное назначение: картографирование местности и высокодетальная разведывательная съёмка отдельных объектов.

В настоящее время спутниковая навигация стала широко доступна для гражданских целей без ограничений (ещё совсем недавно гражданские приёмники GPS получали координаты гораздо меньшей точности, чем их военные аналоги, однако сейчас такое ограничение снято министерством обороны США). Аналогичная ситуация и с космосъёмкой. Изначально спутники работали исключительно для нужд оборонных ведомств, однако сейчас космоснимки широко доступны и для гражданских применений.

Пользователи в России в настоящее время с соответствии с действующим законодательством могут приобретать высокодетальные снимки с разрешением не меньше 2 м на пиксель (рис. 9.56). При этом требуется проведение таких покупок через ФСБ и спецотделы, которые должны иметься в приобретающей снимки организации. Всё это очевидным образом расходится с предложением на мировом рынке снимков с разрешением до 60 см на пиксель (с американского спутника QuickBird), достаточно полно представленных на сайтах компаний Google и Microsoft (см. п. 9.1). При этом зарубежные компании, конечно, не требуют никаких лицензий ФСБ на работу с секретными материалами, а снимки можно получить напрямую через Интернет или по почте.

Текущее состояние других элементов ГИС-инфраструктуры военных ведомств различных стран мира определить несколько сложнее, но вполне возможно, так как многие ведущие мировые производители ГИС-технологий предлагают программные продукты, в явном виде предназначенные для автоматизации различных аспектов управления и тылового обеспечения вооружённых сил. Так, например, компания ESRI выпускает модуль ArcGIS Military Analyst, который в совокупности с другими модулями (ArcGIS Network Analyst, ArcGIS Spatial Analyst, ArcGIS Geostatistical Analyst, ArcGIS Tracking Analyst, ArcLogistics Route и др.) превращает ArcGIS в мощную ГИС для решения задач военного назначения:

Рис. 9.56. Российский разведывательный спутник «Комета», снимки с которого для гражданских целей с разрешением 2 м на пиксель можно приобрести через компанию «Совинформспутник» Министерства обороны РФ (пример снимка с этого спутника показан на рис. 3.60)

- Общее управление войсками.
- Картографирование поля боя.
- Управление инженерными коммуникациями военных баз.
- Управление эвакуацией раненых.
- Логистика (доставка боеприпасов, продовольствия и пр.).
- Разминирование минных полей.
- Планирование военных операций.
- Проведение миротворческих операций.
- Управление инженерными сооружениями.
- Моделирование (симуляция) боевых операций.
- Разведка и рекогносцировка.
- Анализ рельефа местности.
- Визуализация.
- Обучение.

9.16. ГИС и образование

Учебные заведения – это учреждения, оказывающие услуги населению в виде переданных учащимся знаний и навыков. При этом учебные заведения работают на рынке образовательных услуг, конкурируя за абитуриентов с другими учебными заведениями.

В настоящее время в России и в мире геоинформационные системы находят множество применений в образовании. Приведём только несколько примеров.

1. В сфере общего образования ГИС могут использоваться для проведения **демографического анализа в различных районах субъектов**

Федерации и городов с целью оптимального (в том числе, с учётом долгосрочной перспективы) выбора мест размещения новых общеобразовательных, начальных, специализированных, музыкальных, художественных, спортивных, технических и других школ и учебных заведений. Эта задача решается с использованием методов пространственного и сетевого анализа геоинформационных систем.

2. ГИС может применяться для **анализа качества предоставления образовательных услуг** в различных районах страны, субъектах Федерации, городах. Такой анализ должен регулярно проводиться органами государственной власти с целью мониторинга текущего качества обучения (рис. 9.57) и обеспечения гарантированной Российской конституцией доступности образования для населения. С другой стороны, такой анализ могут проводить и отдельные учебные заведения с целью поиска для себя новых рынков и принятия решений об открытии новых филиалов.

3. В сфере высшего образования ГИС может применяться для **анализа распределения потенциальных абитуриентов по различным районам** субъекта Федерации с целью выбора мест размещения кабинетов дистантного образования или филиалов высших учебных заведений. В качестве основного критерия выбора мест для таких кабинетов обычно принимается количество потенциальных абитуриентов, проживающих в пределах разумной временной доступности от кабинета, например в пределах 10 км (рис. 9.58).

Рис. 9.57. Анализ разности между школьными и вузовскими оценками по математике в Пензенской области

Рис. 9.58. Анализ мест размещения кабинетов дистантного образования

4. В сфере подготовки кадров высшей квалификации (кандидатов и докторов наук) ГИС могут использоваться Высшей аттестационной комиссией Российской Федерации для **оптимального выбора опорной сети диссертационных советов** (в настоящее время их действует около 2500), равномерно распределённой по всей стране в разумной доступности от ведущих научно-образовательных центров страны.

Вопросы для самопроверки

1. Опишите различные сферы применения ГИС.
2. Какие справочные ГИС вам известны и каковы их функции?
3. Опишите функции навигационных ГИС.
4. Какова схема работы диспетчерских систем на основе ГИС?
5. Как ГИС применяются в области градостроительства?
6. Опишите применение ГИС для управления инженерными сетями.

Предметный указатель

Адресный поиск 97
Алгебра карт ..... *см.* Оверлеи
Альмукантарат 54
Анализ поверхностей 164, 211, 256
анализ видимости 165, 211, 257
анализ водостока 167
интерполяция высот 164, 257
построение изоклин 165, 211, 257
построение изоконтуров 164, 211, 257
построение изолиний 164, 211, 257
построение профилей 164, 257
построение сети тальвегов и водоразделов 167
расчет объемов земляных работ 165, 211, 257
расчет экспозиций склонов 165
Анаморфизм 59
Анаморфированное изображение ..... *см.* Анаморфизм
Анимация картографическая 136
Атрибут объекта 9, 21, 34, 37, 97, 100, 111
База данных 9, 36
БД ..... *см.* База данных
Блокировка 36
Буферная зона 151, 211, 243
кольцевая 152, 243
Векторизатор 30, 91, 184, 202
ArcScan 184
EasyTrace 202, 205
MapEdit 202, 203
RasterDesk 202
Spotlight 202
Векторизация 30, 67, 69
Векторный анализ 142, 211
анализ отношений 142
Вертикал 54
Видеоряд 103, 211
Визуализатор векторных данных 119, 209
диаграммами 121, 210
изолиниями 210
одинаковым условным знаком 119
одинаковыми условными знаками 209
параметризированными условными знаками 209
по диапазонам 120, 210
по категориям 119, 209
по условным выражениям 120, 210
подписями 121, 210

псевдообъемный 123, 210
сплайнами 122, 210
точками плотности 121, 210
Визуализатор поверхностей 128
векторами уклонов 130
изоклинами 130
изоконтурами 128
изолиниями 128
отмывка рельефа 128
светотеневой 128
цветами по высотам 128
экспозициями склонов 131
Визуализатор пространственных данных 95, 111, 119, 124
Визуализатор растровых данных 124
композитный 124
по диапазонам значений 126
по уникальным значениям 125
с растяжением значений 126
Визуализатор транспортных сетей 126
картограмма транспортных потоков 127
межрайонные связи 128
Визуализация трехмерная 131
Виртуальная модель местности 131
ВММ ..... *см.* Виртуальная модель местности
Водораздел 167
Выпуклая оболочка 152
Генерализация 107, 154
Геобаза данных 36
ArcSDE 37, 172
SpatialWare 37, 189
Геодезическая линия 44
Геодезическая программа 201
CREDO_DAT 202
GeoniCS 202
IndorSurvey 202
Pythagoras 202
ГИС-конструктор 202
Геодезическая сеть 84
Геодезические построения 82, 225
Геоид 39
Геоинформатика 6, 8, 38
Геоинформационная система 6, 8, 13, 169, 208
ArcEditor 172
ArcGIS 169, 172
ArcInfo 172
ArcPad 172
ArcView 172

Autodesk Map 3D ... 169, 190
Autodesk Map Guide ... 192
ER Mapper ... 198
ERDAS Imagine ... 169, 195
GeoMedia ... 169, 192
IndorGIS ... 7, 169, 208
MapInfo ... 169, 188
векторная ... 16, 30
вьюер ... 105
ГеоГраф ... 169
гибридная ... 17
ГрафИн ... 208
ИнГео ... 169
инструментальная ... 16
Карта-2000 ... 169
ПАРК ... 169
полнофункциональная ... 16
просмотрщик ... 105
растровая ... 17, 30, 195
растрово-векторная ... 30
Геокод ... 97
Геокодирование ... 97
Геометрическая коррекция изображения ... 68, 72, 186
Геометрия объекта ... 21, 34, 36, 37, 100, 111
Геопривязка ... 93
Геостатистика ... 157, 179
ГИС ... *см.* Геоинформационная система
ГИС-проект ... 95, 211
Глобальная система позиционирования ... 85
Galileo ... 85
GPS ... 77, 85
ГЛОНАСС ... 77, 85
Горизонталь ... *см.* Изолиния
Горячая связь ... 102
Государственная геодезическая сеть ... 84
Дальномер ... 74
лазерный ... 74
Данные дистанционного зондирования ... 67, 69
ДДЗ ... *см.* Данные дистанционного зондирования
Дешифрирование ... 73
ДЗЗ ... *см.* Дистанционное зондировани
Диагностика ... 308
Диаграмма Вороного ... *см.* Зона близости
Дистанционное зондирование Земли ... 67, 69
Долгота ... 38, 42
Запись таблицы базы данных ... 32
Засечка ... 227

линейная ... 83
обратная угловая ... 83
полярная ... 83
прямая угловая ... 83
створная ... 83
Зона близости ... 153, 211
взвешенная ... 153, 211
Измеритель превышений ... *см.* Нивелир
Измеритель расстояний ... *см.* Дальномер
Измеритель углов ... *см.* Теодолит
Измерительная операция ... 140
Изоклина ... 130, 165
Изоконтур ... 128, 164
Изолиния ... 128, 164
Изыскания
геодезические ... 73, 80, 201
линейные ... 80
пикетажные ... 80
Инвентаризация ... 303
Инерциальная навигационная система ... 88
Инженерная геодезия ... 73
ИНС ... *см.* Инерциальная навигационная система
Источники пространственных данных ... 67
Кадастр ... 303
Канал растра ... 124
Карта ... 18, 23, 95
электронная ... 95
Картограмма транспортных потоков ... 127
Картографическая алгебра ... *см.* Оверлеи
Картографическая проекция ... 46
UTM ... 50, 60
азимутальная ... 54
анаморфированных изображений ... *см.* Анаморфизм
Гаусса-Боага ... 51, 60
Гаусса-Крюгера ... 50, 60
Гаусса-Ламберта ... 51
для карт глобусов ... 58
Кассини-Зольднера ... 51
коническая ... 51
переменно-масштабная ... 59
перспективная ... 56
перспективно-азимутальная ... 56
перспективно-коническая ... 56
перспективно-цилиндрическая ... 56
поликоническая ... 53
поперечно-цилиндрическая ... 50
промежуточная ... 47

псевдоазимутальная ... 55
псевдоконическая ... 52
псевдоцилиндрическая ... 48
равновеликая ... 46
равнопромежуточная ... 46
равноугольная ... 46
цилиндрическая ... 47
Картографическая сетка ... 60
Картометрическая функция ... 140
Квазигеоид ... 39
Классификатор ... 223
Компоновка карты ... 106
Координатная сетка ... 60
Координаты ... *см.* Система координат
Лазерный уровень ... *см.* Нивелир лазерный
Макет карты ... 109
Международное условное начало ... 41
Межрайонные связи ... 128
Менеджер проектов ... 211
Модель данных ... 22, 209
DEM ... *см. Модель данных, регулярная сеть*
TIN ... *см. Модель данных, триангуляция*
векторная ... 22
векторная нетопологическая ... 23, 24, 209
векторная топологическая ... 23, 209
геометрическая сеть ... 27
георeляционная ... 34
линейно-узловая ... 23
нерегулярная сеть ... 22, 30, 209, 256
покрытие ... 23, 26, 209
растровая ... 22, 23, 28, 209, 244
регулярная сеть ... 23, 209, 256
реляционная ... 32
САПР-модель ... 24, 26, 209
транспортная сеть ... 23, 27, 209
триангуляция ... 22, 23, 30, 209
шейп-модель ... 24, 209
ячеистая ... 23
Набор данных ... 9
Невязка хода ... 79
плановая ... 79
угловая ... 79
Нивелир ... 74
лазерный ... 75
оптический ... 74
Нивелирование по поперечникам ... 80
Номенклатура карт ... 61

внутригородская 65
Общеземной эллипсоид 39
Оверлеи 149, 211, 242
Ограничение целостности 36
Операции наложения ..... *см.* Оверлеи
Оптическая коррекция изображения 72
Оригинал-макет карты 107
Ортокоррекция 72, 196
Отношения объектов ..... *см.* Векторный анализ, анализ отношений
Оценка уровня содержания 308
Палитра 125
Паспортизация 303
Пикет 80, 81
Пикетаж 45
Пикетажное расстояние 45
Пиксель 124
Поверхность 30
Поиск по атрибутам 97
Покрытие 23
Поле таблицы базы данных 32
ключевое 33
Преобразование растра 246
кусочное 248
кусочно-квадратичное 248
кусочно-линейное 248
Прибор спутниковой навигации 77, 86
кодово-фазовый 87
кодовый 87
навигационный 87
Пространственное соединение 142
Пространственный анализ 140, 156, 176, 211
анализ поверхностей ..... *см.* Анализ поверхностей
векторный ..... *см.* Векторный анализ
геостатистистический ..... *см.* Геостатистика
оверлеи ..... *см.* Оверлеи
растровый ..... *см.* Растровый анализ
сетевой ..... *см.* Сетевой анализ
темпоральный ..... *см.* Темпоральный анализ
Пространственный объект 21
дуга 26, 27
кольцо 24, 25
контур 27
линия 22, 24
маршрут 27, 28
мультиточка 21, 24
область 22, 27
объект САПР 22

пиксель ... 22, 28
полигон ... 22, 24, 25, 27
полилиния ... 22
полиполилиния ... 22
простой ... 22
ребро ... 32
регион ... 22, 27
регион простой ... 27
регион составной ... 27
регион универсальный ... 27
сложная фигура ... 22
сложный ... 22
спагетти ... 24, 25
струна ... 24, 25
точка ... 21, 24
треугольник ... 22, 32
узел ... 26, 27, 32
фигура оформления ... 22
ячеистый элемент ... 22
ячейка ... 22
Публикация карт ... 105
Разграфка ... 61
Разгрузка карты ... 107
Растеризация ... 30
Растровый анализ ... 176, 186, 196
Режим работы с картой ... 10
динамическое масштабирование ... 96
измерение площадей ... 12, 141
измерение расстояний ... 12, 140
панорамирование ... 12, 96
получения информации об объектах ... 11
редактирование объектов ... 12, 227
создание объектов ... 12, 218
увеличение изображения ... 11, 96
уменьшение изображения ... 12, 96
Референц-эллипсоид ... 39
WGS-84 ... 41
Красовского ... 40
Семантика объекта ... 111
Сетевой анализ ... 27, 158, 179, 211, 257
анализ маршрутов общественного транспорта ... 258
анализ транспортных районов ... 258
планирование маршрутов обхода ... 159, 257
поиск ближайших пунктов обслуживания ... 159, 257
поиск кратчайших маршрутов ... 158, 257
построение зон обслуживания ... 160, 257
распределение межрайонных потоков на улично-дорожную сеть ... 258
расчет межрайонных транспортных связей ... 161, 164, 257

расчет транспортной доступности ... 160
Символика отображения данных ... 111
Система автоматизированного проектирования ... 105
Система высот
Балтийская ... 41
Охотского моря ... 41
Система глобального позиционирования
GPS ... 41
Система координат
абсолютная ... 44
астрономическая ... 42
географическая ... 38, 42
геодезическая ... 42
геоцентрическая ... 41
горизонтная ... 42
квазигеоцентрическая ... 41
относительная ... 44
относительная линеаризованная ... 45
относительная полюсная ... 44
ПЗ-90 ... 41
пикетажная ... 45
полярная геодезическая ... 44
полярная сфероидическая ... 43
прямоугольная декартовая ... 38
СК-42 ... 41
СК-95 ... 41
сферическая ... 43
топоцентрическая ... 42
Система спутниковой навигации ... *см.* Глобальная система позиционирования
Система управления базами данных ... 33, 36
Сканер лазерный ... 77
Слой ... 18, 23
Слой карты ... 95
Соединение таблиц ... 34
Спутниковая навигационная система . *см.* Глобальная система позиционирования
Створ ... 83, 84
Стереопара ... 72, 187, 197, 200
Стереофотограмметрия ... 72, 200
СУБД ... *см.* Система управления базами данных
Сцена трехмерная ... 131
Таблица базы данных ... 32
Тальвег ... 167
Тахеометр ... 76
автоматизированный ... 77
безотражательный ... 76
отражательный ... 76
электронный ... 76

Тема ..... *см.* Слой
Тематическая визуализация ..... *см.* Визуализатор пространственных данных
Тематическая карта 111
Темпоральный анализ 183
Теодолит 75
Топология 23, 100
Транзакция 36
Транспортная сеть 23
Транспортные потоки 164
Транспортный анализ ..... *см.* Сетевой анализ
Трансформация растра ..... *см.* Преобразование растра
Трасса 81
Трехмерная изуализация ..... *см.* Визуализация трехмерная
Триангуляция ..... *см.* Модель данных, триангуляция
Уравнивание 79
  плановое 80
  угловое 79
Уровенная поверхность 39
Условный земной полюс 41
Условный знак 111, 251
  линейный 112, 116
  масштабируемый 119
  немасштабируемый 119
  площадной 113, 118
  специальный 113
  текстовый 114
  точечный 111, 114
Фильтрация растров 73, 186
Формат данных 91
Ход
  тахеометрический 78
  теодолитно-нивелирный 79
  теодолитно-тахеометрический 79
  теодолитный 78
  теодолитный обратный 79
Цифровая карта 23
Цифровая модель местности 23, 131
Цифровая модель объекта местности 21
Цифровая модель рельефа 24, 131
ЦММ ..... *см.* Цифровая модель местности
ЦМР ..... *см.* Цифровая модель рельефа
Шейп-файл ..... *см.* Модель данных, шейп-модель
Широта 38, 42
Эквидемические изображения ..... *см.* Анаморфизм
Экспозиции склонов 165
Эллипсоид 39

Литература

Основная литература

1. Основы геоинформатики: В 2 кн. Учеб. пособие для студентов вузов / Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов и др.; под ред. В.С. Тикунова. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – Кн. 1. – 352 с.
2. Основы геоинформатики: В 2 кн. Учеб. пособие для студентов вузов / Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов и др.; под ред. В.С. Тикунова. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – Кн. 2. – 480 с.
3. Кошкарев А.В., Тикунов В.С. Геоинформатика. – М.: Картгеоиздат-Геодезиздат, 1993. – 213 с.

Дополнительная литература

4. Бугаевский Л.М. Математическая картография: Учебник для вузов. – М.: Златоуст, 1998. – 400 с.
5. ДеМерс М.Н. Географические информационные системы. Основы / Пер. с англ. – М.: Дата+, 1999. – 290 с.
6. Кравцова В.И. Космические методы картографирования. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 240 с.
7. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли / Пер. с нем. – М.: Мир, 1988. – 343 с.
8. Михайлов А.Е., Корчуганова Н.И., Баранов Ю.Б. Дистанционные методы в геологии. – М.: Недра, 1993. – 224 с.
9. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 288 с.
10. Берлянт А.М., Ушакова Л.А. Картографические анимации. – М.: Научный мир, 2000. – 108 с.

Интернет-сайты по тематике ГИС

1. ООО «ИндорСофт», г. Томск. – Производитель ГИС и САПР IndorGIS, IndorGIS/Road, IndorGIS/Power, IndorCAD/Topo, IndorCAD/Site, IndorCAD/Road, IndorDraw, IndorSurvey. – http://www.indorsoft.ru.
2. Официальный сайт ГИС-ассоциация России. – http://www.gisa.ru.
3. ESRI Inc., США. – Мировой лидер в области ГИС, производитель векторных настольных, профессиональных, карманных и Интернет-ГИС ArcGIS, ArcIMS, ArcPad и др. – http://www.esri.com. Интересы в России представлены фирмой «Дата+». – http://www.dataplus.ru.
4. Официальный сайт компании MapInfo Corp. – Один из мировых лидеров в области разработки векторных ГИС. Производитель ГИС MapInfo. – http://www.mapinfo.com.
5. Официальный сайт компании Autodesk Corp. – Один из мировых лидеров в производстве САПР. Производитель ГИС Autodesk Map 3D. – http://www.autodesk.com.

6. Официальный сайт фирмы Intergraph Corp. – Один из мировых лидеров в производстве САПР. Производитель универсальной векторной ГИС GeoMedia. – http://www.intergraph.com.
7. Leica Inc., США – Мировой лидер в производстве геодезического оборудования и программного обеспечения для обработки данных геодезических работ и данных дистанционного зондирования ERDAS Imagine. – http://www.leica-geosystems.com.
8. Официальный сайт компании Earth Resource Mapper. – Один из мировых лидеров в области обработки ДДЗ. Производитель растровой ГИС ER Mapper. – http://www.ermapper.com.
9. Официальный сайт компании ЗАО «Резидент» (г. Москва). – Один из российских лидеров в разработке векторизаторов и средств обработки ДДЗ. – http://www.resident.ru.
10. Официальный сайт американской глобальной системы позиционирования GPS. – http://tycho.usno.navy.mil. – Дополнительная информация доступна по адресам: http://www.igeb.gov, http://www.navcen.uscg.gov, http://gps.losangeles.af.mil и http://gps.faa.gov.
11. Официальный сайт российской глобальной системы позиционирования ГЛОНАСС. – http://www.glonass-center.ru.
12. Официальный сайт европейской глобальной системы позиционирования Galileo. – http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/galileo.

Учебное издание

Скворцов Алексей Владимирович

ГЕОИНФОРМАТИКА

Учебное пособие

Редактор *Е.В. Лукина*

Лицензия ИД № 04617 от 24.04.2001 г.
Подписано в печать 20.06.2006 г. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная № 1. Печать офсетная.
Печ. л. 21,00; усл.печ.л. 18,70; уч.-изд.л. 18,90. Тираж 500 экз. Заказ № 1262.

ОАО «Издательство ТГУ», 634029, г. Томск, ул. Никитина, 4.
Типография «Иван Фёдорович», 634003, Томск, Октябрьский взвоз, 1.

А. В. Скворцов
доктор технических наук,
профессор Томского
государственного университета,
директор ООО "ИндорСофт".
Автор более 150 научных работ,
в том числе 3 монографий и
4 учебных пособий.

Область научных интересов:
вычислительная геометрия,
компьютерная графика,
геоинформатика, разработка
геоинформационных систем (ГИС)
и систем автоматизированного
проектирования (САПР).