



Ноябрь -
Всемирный
день ГИС

Национальное
географическое
общество США,
Ассоциация
Американских
географов
и AGU, IGC,
объявляют
о проведении
первого
ежегодного
Всемирного
дня ГИС
19 ноября 1999 г.

Инициатива проведения
этого юбилейного события
направлена привлечь к нему
внимание широкой общественности
и широких масс пользователей
географических
информационных систем
из всех стран. Основная идея
дня ГИС заключается в широкой
просветительской деятельности
каждого, кто имеет опыт и
знания в этой области, во
внедрении географического
подхода в обучение людей,
фактически, чтобы в этот день
все пользователи
геоинформационных технологий
открыли двери для студентов и
школьников. Представителей
бизнеса и всех желающих,
привлечены своим опытом к
этическим и дискуссионным
вопросам и возможности этой
передовой технологии.
показали ее внедрение в
различные приложения и
проекты.

ООО ДАТА: поддерживает идею проведения Всемирного дня ГИС и
поднимает этому событие опубликования перевода книги
Хайнса Н. Денарса "Географические информационные системы. Основы".

**FUNDAMENTALS OF
GEOGRAPHIC
INFORMATION
SYSTEMS**

Michael N. DeMers

New Mexico State University

JOHN WILEY & SONS, INC.

New York • Chichester • Brisbane
Toronto • Singapore • Weinheim

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ

Майкл Н. ДеМерс

Государственный университет Нью-Мексико

Издательство Дата+

Москва 1999

ДеМерс, Майкл Н.

Географические Информационные Системы. Основы.: Пер. с англ. - М:
Дата+, 1999

В книге рассматриваются теоретические основы, принципы функционирования и применение Географических информационных систем (ГИС). Доступная форма изложения и множество примеров из реальной жизни делают книгу пригодной для самой широкой аудитории. Может служить в качестве учебного пособия и основы для построения вводного курса по геоинформатике.

Группа подготовки издания:

Директор - Андрей Орлов

Перевод на русский язык - Владимир Андрианов

Научный редактор - Юрий Королев

Редакторы - Наталья Тихонова, Ирина Кишинская

Верстка, подготовка графики - Игорь Москаленко

Подготовка обложки - Алексей Михайлов

Издательство компании Дата+. 123242, Москва, Б. Грузинская, 10.

Тел. (095) 254-9335, 254-6565 Факс 254-8895 E-mail:

market@dataplus.msk.su <http://www.dataplus.ru>

ЛР № 090157 от 25.02.98

Подписано в печать 22.09.99 Формат 60х90^{1/4}

Печать офсетная Бумага офс. № 1

Печ. л. 31,75 Тираж 1000 экз. Заказ 2918

Отпечатано в Производственно-издательском комбинате ВИНТИ,

140010, г. Люберцы, Московской обл., Октябрьский пр-т, 403.

Тел. 554-21-86

ISBN 0-471-14284-0 (англ.)

© 1997 by John Wiley & Sons, Inc.

© В.Ю. Андрианов, 1999 (перевод)

© «Дата+» т9 (оформление,

издательство)

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие переводчика	ix
Предисловие автора к русскому изданию	xi
РАЗДЕЛ 1 ВВЕДЕНИЕ	
Глава 1 Введение в компьютерную географию	3
Почему географические информационные системы?	4
Что такое геоинформационные системы?	8
С чего начать?	17
Вопросы	20
РАЗДЕЛ 2 ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ, КАРТЫ И КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ	
Глава 2 Пространственный анализ: основа современной географии	23
Совершенствование пространственного сознания	25
Пространственные элементы	28
Шкалы измерений	32
Пространственные координаты	35
Пространственные распределения	40
Сбор географических данных	43
Популяции и схемы отбора	49
Обобщение результатов выборок	54
Вопросы	56
Глава 3 Карта как модель географических данных: язык пространственного мышления	59
Карта как модель: представление реальности	61
Изменение парадигмы в картографии	61
Масштаб карты	64
Другие характеристики карт	66
Картографические проекции	67
Системы координат для картографии	72
Картографический процесс	76
Картографические символы	77
Условность карт и базы данных ГИС	83
Особенности некоторых видов карт	84
Почвенные карты	84
Зоологические карты	86

Изображения дистанционного зондирования	87
Карты растительности	91
Временные ряды карт	91
Вопросы	92
Глава 4 Картографические и геоинформационные структуры данных	95
Идея представления пространственных данных	96
Основные структуры компьютерных файлов	99
Неупорядоченные файлы	99
Последовательно упорядоченные файлы	100
Индексированные файлы	102
Структуры баз данных для управления данными	103
Иерархическая структура данных	104
Сетевые структуры	106
Реляционные базы данных	107
Графическое представление объектов и их атрибутов	110
Многослойные модели данных ГИС	116
Растровые модели	116
Методы сжатия растровых данных	121
Векторные модели данных	124
Сжатие векторных данных	130
Векторная модель для представления поверхностей	132
Гибридные и интегрированные системы	133
Вопросы	138
РАЗДЕЛ 3 ВВОД, ХРАНЕНИЕ И РЕДАКТИРОВАНИЕ	
Глава 5 Ввод данных в ГИС	143
Подсистема ввода	144
Устройства ввода	144
Растр, вектр или то и другое	150
Преобразования координат	150
Подготовка карты и процесс оцифровки	154
Что вводить	156
Как много вводить	159
Методы ввода векторных данных	161
Методы ввода растровых данных	162
Дистанционное зондирование как особый случай ввода растровых данных	163
Внешние базы данных	170
Вопросы	172

Глава 6 Хранение и редактирование данных	175
Хранение БД ГИС	177
Важность редактирования БД ГИС	179
Обнаружение и устранение ошибок разных типов	181
Графические ошибки в векторных системах	182
Ошибки атрибутов в растровых и векторных системах	190
Преобразование проекций	194
Сшивка листов карты и увязка объектов по границам листов	195
Конфляция (RUBBER SHEETING)	197
Покрытия-шаблоны	199
Вопросы	200
 РАЗДЕЛ 4 АНАЛИЗ: СЕРДЦЕ ГИС	
Глава 7 Элементарный пространственный анализ	203
Введение в пространственный анализ	204
Первая задача исследования: наблюдение	208
Как ГИС находят объекты	208
Для чего нам нужно находить и определять местоположения объектов	211
Определение объектов на основе их атрибутов	213
Определение точечных объектов на основе их атрибутов	213
Определение линейных объектов на основе их атрибутов	215
Определение площадных объектов на основе их атрибутов	218
Геометрические объекты высокого уровня	220
Точечные объекты высокого уровня	220
Линейные объекты высокого уровня	225
Площадные объекты высокого уровня	227
Вопросы	229
 Глава 8 Измерения	231
Измерение длины линейных объектов	232
Измерение полигонов	234
Линейные меры полигонов	234
Определение периметра	235
Вычисление площадей полигональных объектов	236
Меры формы	237
Измерение извилистости	238
Меры формы полигонов	238
Измерение расстояний	243
Простое расстояние	243

Функциональное расстояние	245
Вопросы	253
 Глава 9 Классификация	255
Принципы классификации	256
Простейшая переклассификация	259
Окрестности	261
Фильтры	262
Окрестности	265
Переклассификация поверхностей	268
Уклон	269
Экспозиция склонов (аспект)	272
Профиль поверхности	273
Взаимная видимость	275
Буферы	277
Вопросы	282
 Глава 10 Статистические поверхности	285
Что такое поверхность?	287
Изображение поверхностей на картах	288
Выборка статистических поверхностей	291
Цифровые модели рельефа	292
Растровые поверхности	294
Интерполяция	295
Линейная интерполяция	296
Другие методы интерполяции	297
Применение интерполяции	304
Проблемы интерполяции	305
Нарезка статистических поверхностей	310
Объемы, ОГРАНИЧИВАЕМЫЕ поверхностями	312
Другие виды анализа поверхностей	314
Дискретные поверхности	315
Карты плотности точек	315
Карты хороплет	317
Дасиметрическое картографирование	318
Вопросы	318
 Глава 11 Пространственные распределения	321
Пространственные распределения	322
Распределения точек	323
Анализ квадратов	324

Анализ ближайшего соседа	326
Полигоны Тиссена	328
Распределения полигонов	330
Статистик соединений	331
Другие меры распределений полигонов	334
Распределения линий	334
Плотность линий	335
Ближайшие соседи и пересечения линий	335
Направленность линейных и площадных объектов	337
Связность линейных объектов	342
Модель гравитации	344
Маршрутизация и аллокация	345
Недостающее звено: почему нужно использовать другие покрытия	348
Вопросы	348
 Глава 12 Наложение покрытий	 351
Картографическое наложение	351
"Точка в полигоне" и "линия в полигоне"	354
Наложение полигонов	357
Компьютеризация процесса наложения	361
Растровые наложения "точка в полигоне" и "линия в полигоне"	361
Растровое наложение полигонов	362
Наложение в векторных системах	363
Типы наложений	364
Наложение САПР	364
Топологическое векторное наложение	366
Замечание об ошибках при наложении	370
Дасиметрическое картографирование	372
Несколько последних замечаний о наложении	375
Вопросы	376
 Глава 13 Картографическое моделирование	 377
Картографическая модель	378
Модели в географии	380
Типы картографических моделей	383
Индуктивное и дедуктивное моделирование	386
Составление блок-схем моделей	387
Проработка модели	390
Разрешение конфликтов	398

Примеры картографических моделей	398
Проверка работоспособности модели	402
Верификация модели	404
Вопросы	408

РАЗДЕЛ 5 ВЫВОД В ГИС

Глава 14 Вывод результатов анализа	411
Вывод: отображение результатов анализа	411
Картографический вывод	412
Процесс дизайна	414
Роль символов в дизайне	415
Принципы графического дизайна	417
Внешние факторы картографического дизайна	422
Нетрадиционный картографический вывод	424
Некартографический вывод	428
Интерактивный вывод	429
Таблицы и графики	429
Вопросы	432

РАЗДЕЛ 6 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИС

Глава 15 Проектирование ГИС	435
Что такое проектирование ГИС?	436
Необходимость проектирования ГИС	437
Внешние и внутренние вопросы проектирования ГИС	439
Разработка программного обеспечения	440
Принципы проектирования систем	441
Линейная модель разработки системы	442
Мифический человеко-месяц	444
Некоторые общие характеристики систем	445
Организационное окружение ГИС	445
Связь между системой и внешним миром	446
Структурированная модель проектирования	448
Техническое проектирование	448
Концептуальное проектирование	449
Психологические проблемы внедрения ГИС	450
Вопросы стоимости и отдачи	451
Модели требований к данным и к приложениям	451
Формализованная методология проектирования ГИС	452
Спиральная модель: Быстрое создание прототипов	452
Информационные продукты ГИС	456

Как информационные продукты влияют на ГИС	457
Организация частных представлений	457
Ошибки проектирования	459
Объединение представлений	459
Проектирование БД: Общие соображения	461
Изучаемая область	461
Масштаб, разрешение и уровень детальности	462
Классификация	462
Система координат и проекция	463
Выбор программного обеспечения	463
Проверка и утверждение	464
Вопросы	464
 Приложение 1	 467
 Использованная литература	 471

Географические информационные системы все более активно распространяются, появляясь не только там, где люди профессионально имеют дело с географией, но и во многих других областях - бизнесе, службах экстренного реагирования, муниципальных службах и т.д. И потенциал этих замечательных систем все еще полностью не раскрыт. В России геоинформационные системы появились позже, чем на Западе, и сейчас все еще чувствуется нехватка литературы на эту тему. На самом деле даже и "там", несмотря на три десятилетия развития этой технологии, хороших книг по геоинформатике не так уж и много. Это объясняется отчасти и тем, что данная дисциплина охватывает очень широкий спектр вопросов - от сугубо теоретических до чисто практических, от географии до программирования, от бизнес-презентаций до проектирования баз данных. Так что написать исчерпывающий труд на тему ГИС - занятие не из легких, и для него требуются обширные познания. Вообще, это тот случай, когда попытка - пытка. Автор этой книги попытался, и - неплохо справился. Конечно, его можно уличить во многих неточностях, иногда даже в ошибках, но изложить сложный и разносторонний материал простым языком тоже еще надо уметь. А эта книга - как раз для тех, кто не хочет (или не может) прорываться через дебри формул и теоретических рассуждений к пониманию того, что же такое ГИС, и как их лучше всего использовать. Со своей стороны, мы постарались исправить замеченные ошибки.

Отдельное слово - о русской терминологии. Здесь еще очень много спорных и неустоявшихся терминов, поэтому вполне возможно, что вам что-то не понравится, или будет названо не так, как вы к этому привыкли. Здесь вам помогут сориентироваться английские термины, приводимые в скобках, они могут вам также пригодиться для лучшего понимания англоязычной литературы и интерфейсов ^русифицированных программных продуктов. Кстати, следует заметить, что термин GIS - это и Geographie Information System (географическая информационная система, ГИС), и Geographie Information Science (геоинформатика), так что даже в

самом английском названии есть неоднозначность. В-общем, не судите строго, мы все ещё только в начале пути.

Владимир Андрианов,
старший эксперт "Дата+"

Предисловие автора к русскому изданию

Доступность коммерческих программных пакетов для построения географических информационных систем растет с каждым днем по всему миру. Параллельно этому растет и потребность в книгах, содержащих основы по данной тематике, в особенности - для образования. Все больше таких книг издается на английском языке, чего нельзя сказать о других языках. Русское издание данной книги является одной из попыток улучшить эту ситуацию.

Данная книга задумана как введение, а не как всесторонний сборник знаний по геоинформатике. Я старался достичь максимально возможной полноты в контексте вводного учебного пособия, а эта книга в действительности писалась, чтобы расширить осведомленность читателя о потенциале геоинформационной технологии, чтобы он смог и формулировать, и решать географические задачи. Как сказано в самом начале книги, она - о географии. Хотя в техническом отношении геоинформатика очень интересна и все более доступна, важно, чтобы движущей силой в ее изучении была география. Практически любой человек может научиться пользоваться этими программами. Но без географических концепций такое "использование" превратится в бессмысленное и часто бесплодное предприятие. И следует также помнить, что, хотя современные геоинформационные системы (ГИС) достаточно сложны, сделать в этом направлении предстоит еще больше. Будущее ГИС зависит от умения пользователей находить уникальные и нередко довольно сложные моделирующие решения, а когда такие решения в готовом виде отсутствуют, - писать дополнительные программы, повышающие функциональные возможности имеющихся систем. Перед тем как рассматривать эти подходы, вы должны достичь понимания основ ГИС как компьютерных приложений и географии как их движущей силы. Данная книга должна помочь вам начать движение к этому. В ней есть также множество библиографических ссылок, показывающих, что можно читать далее. Представьте себе этот текст как приглашение к современному научному знанию и, в конечном итоге, к вашим собственным исследованиям.

Благодарности

Я очень благодарен многим студентам, преподавателям и рецензентам, внесшим свой вклад в создание данной книги. Они существенно помогли улучшить как содержание, так и качество материала, который здесь представлен. Помимо тех, кто внес вклад в собственно текст книги, большой благодарности за поддержку русского издания книги заслуживают некоторые лица и организации. Прежде всего, я хочу поблагодарить компанию Дата+ за решение издать данную книгу на русском языке. Особенной благодарности заслуживает Владимир Андрианов, выполнивший собственно перевод всего текста. Я благодарю доктора Майкла Финикса (Michael Phoenix) из Института исследований окружающей среды (ESRI) за предложение перевести книгу. ESRI также заслуживает благодарности за поддержку моей книги на рынке и за поощрение членов геоинформационного сообщества к ее прочтению. Наконец, отдельное спасибо - Джеку и Лоре Дэнжермонд, внесшим, возможно, наибольший персональный вклад в развитие географической теории, пространственного анализа, геоинформационного образования и применения ГИС во всем мире.



Введение в компьютерную географию



Эта книга - о географии. А также - о Географических Информационных Системах (ГИС), множестве фундаментальных идей и концепций, появившихся за более чем 2500 лет географических исследований и открытий [ООББОП, 1995], и придуманных для того, чтобы получать ответы на вопросы с помощью информации, наносимой на карты. Как профессионального географа, меня долго интриговал образ географа-первооткрывателя новых земель. Видения фигуры вроде Индианы Джонса, прорубающегося через тропические заросли в поисках древних руин, наполняли меня восторгом о мире, в котором мы все живем. Я взволнованно представлял себя профессором Челленджером, персонажем книги "Потерянный мир" Артура Конан Дойла [1989], ищущем доказательств существования живых динозавров. Первые исследователи испытывали такой же восторг при поисках новых земель, новых народов, новых ресурсов. С ростом числа открытых земель географы стали использовать новые инструменты для изучения **пространственного** распределения людей, растений, животных и природных ресурсов. Они внедряли новые методы составления карт и более эффективные способы работы с этими картами. Географические исследования стали больше, чем просто походами в новые места и описанием увиденного. Они стали попыткой понять, почему существуют наблюдаемые распределения и сочетания географических объектов, и как они могут влиять на людей и на хрупкую окружающую среду, в которой они существуют.

Сегодня, за небольшим исключением, большая часть земли исследована традиционными способами. Мачете и пробковый шлем заменены спутниками и компьютерами. Долгие опасные путешествия по пустыням и тропическим лесам вытеснены компьютерными картами и статистическими данными - количественными мерами неисследованных территорий. Эти инструменты открывают окна в новые миры (а также и в старые), подобно тому, как микроскоп и телескоп дали новое зрение биологам и астрономам. Сегодня мы можем видеть дальше и глубже, чем прежде, иметь на картах больше, чем видно на поверхности земли, и ставить вопросы, которые раньше нельзя было даже представить себе. Вопросы вроде "где такие-то объекты находятся" теперь заменены вопросами типа "почему они там" и "как это знание можно применить для прогнозирования будущих

распределений и сочетаний". Эти прогнозы позволяют нам планировать на будущее, моделировать миры человека и природы к взаимной пользе.

Мы все еще первооткрыватели. И наша миссия имеет большее значение, чем миссия наших предшественников. Идеи и методы, к изучению которых вы приступаете, – это запасы, которые будут нужны вам для того, чтобы достичь успеха в ваших путешествиях по неизведанным землям.

Перед тем как начать ознакомление с инструментами нового исследователя, необходимо предостережение. Открытия географических данных, как и открытия новых земель, чрезвычайно интересны. Но они таят в себе также и множество опасностей – зыбучих песков и скалистых осыпей, обрывов и пропастей. Наибольший риск происходит от недостатка знаний о том, каковы могут быть эти опасности и как их избегать. Грамотное планирование необходимо для успеха любого путешествия, а приобретение должных инструментов – необходимый первый шаг. И, как и для первооткрывателей прежних времен, просто получения этих инструментов – не достаточно. Не достаточно также и знания, как этими инструментами пользоваться. Нужно знать, почему и когда нужно применить тот или иной инструмент для достижения максимального эффекта. Вот об этом и рассказывает данная книга. Она – о концепциях. Она – об идеях. Она задумана для того, чтобы подготовить вас к жизни, полной открытий. Когда инструменты изменятся, вы все равно сможете использовать их, поскольку вы – на знакомой земле.

Итак, я приглашаю вас подготовиться к путешествию в современный мир географических открытий. Независимо от того, какой областью естественных или гуманитарных наук вы занимаетесь, идеи, с которыми вы познакомитесь, расширят и укрепят понимание выбранной области. Вы научитесь мыслить и пространственно и численно. Я надеюсь, что каждый из вас научится чувствовать себя более уверенно в этом все более техническом мире и что эта уверенность позволит вам действовать более успешно и радоваться тому вкладу, который вы сможете внести на благо вашего общества и природы.

ПОЧЕМУ ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ?

Представьте себе, что сейчас начало 1960-х годов. Вы входите в состав группы, работающей в министерстве природных ресурсов и развития большой страны. Среди многих ваших обязанностей по управлению ресурсами вам надлежит провести учет всех имеющихся лесных и минеральных ресурсов, потребностей представителей флоры и фауны, запасов и качества воды. Помимо только описи всего этого, вам предстоит

оценить существующее состояние использования этих ресурсов, какие из них не достаточны и какие готовы к использованию. Вдобавок, от вас требуется составить прогноз по изменению доступности и качества этих ресурсов на следующие десять-двадцать или даже сто лет.

Все эти задачи должны выполняться так, чтобы вы или ваше руководство могли разработать план управления этими ресурсами с такой целью, чтобы как возобновляемые, так и невозобновляемые ресурсы оставались в достаточном количестве для будущих поколений без нанесения серьезного ущерба окружающей среде. Вам нужно также помнить, что эксплуатация природных ресурсов часто негативно воздействует на качество жизни людей, проживающих вблизи разработок этих ресурсов, производящих шум, пыль и нарушения визуальной среды, которые могут сказаться на физическом и эмоциональном здоровье местных жителей или снизить ценность их недвижимости из-за создания поблизости совсем не живописных объектов. И, конечно, вы должны соблюдать местное, региональное и национальное законодательство с тем, чтобы пользователи этих ресурсов также действовали в соответствии с применимыми законами.

Нет нужды долго думать, чтобы понять, что обрисованная задача может обескуражить кого угодно и требует сбора огромных объемов информации, ее организации, оценки, анализа и моделирования. Тем не менее, это - та самая задача, что стоит обычно перед теми, кто управляет природными ресурсами. Становится тут же очевидным, что карта ресурсов позволит увидеть распространение, качество и степень их использования при одном только взгляде. Ручное производство столь полезных карт, покрывающих всю страну, особенно крупную, потребовало бы привлечения, вероятно, сотен картографов и значительных затрат времени и средств. Многие из вас уже знают об ограниченности покрытия и разном качестве топографических карт, карт почв и растительности вашего региона или страны. В зависимости от площади, вполне возможно, что задолго до реализации такого проекта исчезнут сами ресурсы, природа будет ограблена, и местное население уже выкопает пулеметы.

Желая избежать этих негативных последствий, вы обращаете свой взор в сторону компьютеров. Очевидно, вам необходим более быстрый и более экономичный способ производства карт больших территорий. Было бы замечательно, если бы компьютер мог быть использован для ввода и хранения таких больших объемов информации и дальнейшего производства карт любого интересующего региона или любого ресурса, находящегося в вашем ведении. Но учтите: на дворе начало 60-х, и компьютеры находятся на этапе младенчества. Вдобавок, их покупку могут позволить себе только хорошо финансируемые организации, например, военные. Допустим, вам удалось приобрести машинное время. На этом ваши проблемы не закончатся.

Компьютеры тогда не были сведущими в вопросах, выходящих за рамки простой алгебры и тригонометрии. В действительности, объемы их памяти и аналитические возможности были не намного шире тех, что есть в недорогих современных карманных калькуляторах. Графические работы на компьютерах первоначально вообще не предполагались. Традиционные алфавитно-цифровые печатающие устройства (АЦПУ) не могли производить сколь-либо ценную графику. Их способности ограничивались календарями с редкими картинками персонажей мультфильмов. Но даже если и была возможность вывода качественной графики, пришлось бы встретиться с другой проблемой - тогда, в 60-х не было способа ввести графические данные в компьютер. Более того, устройства вывода графики, включая видеодисплеи и устройства получения твердых копий, обычно отсутствовали.

Не было также и способа связать графические данные (которые мы позже назовем геометрическими объектами (entities)) с описательной информацией о соответствующих объектах реального мира (что позднее будет названо атрибутами (attributes)). И мы еще не упомянули проблему компьютерного анализа картографических данных, если допустить, что вы смогли ввести и сохранить их во внешней памяти компьютера. Еще следует вспомнить, что доминирующим языком программирования был громоздкий и в чем-то причудливый PL/I, рассчитанный больше на деловые приложения, чем на графику. Университетских разработок тоже почти нет, так что вам придется самостоятельно искать компьютерные решения этих обширных и трудных проблем. В довершение возложенной миссии, вам предстоит создать компьютеризованную систему управления и анализа географической информации - географическую информационную (геоинформационную) систему (ГИС).

Для тех, кто только начинает сегодня изучать геоинформационные системы, представленный сценарий выглядит маловероятным, даже нелепым. Конечно, по сегодняшним стандартам так оно и есть. Но это не выдумка. Именно такая ситуация имела место в Министерстве лесного хозяйства и сельского развития Канады в начале 1960-х годов [Tomlinson, 1984]. В этой стране, одной из имеющих наибольшие в мире запасы земель и природных ресурсов, решили, что имеющихся знаний о распространенности, качестве и долговечности национальных ресурсов недостаточно. Правительственные топографы подсчитали, что даже составление карт на столь большую площадь потребовало бы больше опытных картографов, чем имелось на тот момент. И, конечно, понимая, что столь большая задача требует гораздо больше времени, чем можно было бы позволить для успешного создания планов управления ресурсами, они пришли к аналогичным выводам. Что им было нужно, так это ГИС Канады.

Таким образом, новоиспеченному Отделению информационных систем регионального планирования, финансируемому федеральным правительством было поручено создание того, что стало первой в мире геоинформационной системой. Его первоначальной задачей были классификация и нанесение на карту земельных ресурсов Канады.

Сегодня существует все более растущее понимание необходимости широкомасштабных операций по оцифровке и анализу в широком диапазоне традиционно ручных задач. Лесозаготовители, желающие иметь актуальную опись древесных ресурсов, видят ГИС в качестве эффективного инструмента для своих ежедневных операций. Службам экстренного реагирования нужны ГИС для вычисления оптимальных маршрутов с целью достижения скорейшей реакции на вызов. Военные могут использовать ГИС для планирования боевых операций и организации передвижения войск. Для достижения лучшего обслуживания мобильных клиентов компании сотовой телефонной связи должны располагать приемо-передающие станции так, чтобы избегать конфликтов между соседними станциями, но при этом обеспечивать прямую видимость для распространения сигнала. Местные власти используют ГИС для создания планов роста и развития и для изменения зонирования территории, реагируя на растущее демографическое давление. В бизнесе ГИС используются для маркетинга товаров и даже для создания списков рассылки на основе выбранных пространственных критериев. Компании по торговле недвижимостью начинают использовать ГИС для подбора свободных жилищ на основе критериев заказчика, таких как близость школ, тип соседского окружения или доступ к скоростным магистралям. Полиция уже использует ГИС для сбора информации с целью охарактеризовать перемещения и образ действия подозреваемых в совершении серийных убийств. Академические дисциплины, такие как география, геология, биология, ландшафтная архитектура, экология и т.д., имеют теперь возможность использовать эту технологию для разработки и проверки гипотез, относящихся к распределениям природных феноменов. Спектр возможных применений ГИС практически неограничен, а число и разнообразие пользователей ГИС растут со временем по экспоненте.

Этот рост показывает, что ГИС являются мощной технологией. Это чем-то напоминает развитие книгопечатания, изобретение телефона, замену лошади и экипажа автомобилем или производство первых компьютеров. Все эти нововведения имели огромное влияние на то, как мы общаемся, перемещаемся из одного места в другое, решаем задачи, даже на саму природу этих задач. Современные геоинформационные системы расширили использование карт через замену их большим числом цифровых картографических слоев с взаимосвязанными темами. Эти слои могут быть автоматически проанализированы, а их тематическое наполнение -

объединено для получения осмысленных ответов, необходимых специалистам, принимающим решения. ГИС меняют способы работы с картами, образ нашего мышления о географической информации, даже способы сбора и накопления географических данных. Задачи, решение которых было невозможно при помощи обычных карт, теперь стали банальными.

Современные тенденции рынка технических средств показывают, что ГИС - быстро растущая отрасль промышленности, далеко обгоняющая многих других, причем даже в периоды спада [Newsweek, 1993]. А по мере роста числа организаций, знакомых с этой технологией, будет расти и потребность в понимании ее базовых принципов, а также нужда в специалистах, знающих эти принципы. Мы изучим эти концепции здесь, чтобы понять, как можно манипулировать пространственными данными и как эта технология может помочь нам во все более усложняющемся мире.

ЧТО ТАКОЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ?

В наиболее общем смысле, геоинформационные системы это инструменты для обработки пространственной информации, обычно явно привязанной к некоторой части земной поверхности и используемые для управления ею. Это рабочее определение не является ни полным, ни точным. Как и в случае с географией, термин трудноопределим и представляет собой объединение многих предметных областей. В результате, нет общепринятого определения ГИС. Сам термин изменяется в зависимости от интеллектуальных, культурных, экономических и даже политических целей (см. Таблицу 1.1). Эта терминология стала в действительности очень изменчивой, приводя ко все более запутанному жаргону, все новым определениям, постоянно проникающим как в научную, так и в популярную литературу.

Отсутствие общепринятого определения привело к значительному недопониманию того, что такое ГИС, каковы их возможности и для чего такие системы могут применяться. Это привело к тому, что некоторые люди полагают, например, что нет разницы между компьютерной картографией, компьютерным черчением и собственно ГИС. Поскольку графические экраны всех трех систем могут выглядеть одинаково как для случайного, так и для опытного наблюдателя, легко предположить, что эти системы, при небольших различиях, в принципе, - одно и то же. Но любой, кто попытается анализировать карты, скоро поймет, что системы **компьютерной картографии**, придуманные для создания карт из графических примитивов (геометрических фигур) в сочетании с описательными атрибутами, прекрасно подходят для отображения карт, но обычно не содержат

аналитических возможностей ГИС.

Таблица 1.1. Примеры синонимичных названий ГИС и их источники*

Термин	Источник
Географическая информационная система (Geographic information system)	Американская терминология
Географическая информационная система (Geographical information system)	Европейская терминология
Геоматика (<i>Geomatique</i>)	Канадская терминология
Геореляционная информационная система (Georelational information system)	Техническая терминология
Информационная система по природным ресурсам (Natural resources Information system)	Дисциплинарная терминология
Информационная система по геологии или наукам о Земле (Geoscience or geological Information system)	Дисциплинарная терминология
Пространственная информационная система (Spatial Information system)	Негеографический термин
Система анализа пространственных данных (Spatial data analysis system)	Терминология на основе того, что система делает

Аналогично, для чисто картографических целей желательно использовать именно систему компьютерной картографии, разработанную специально для ввода, организации и вывода картографических данных, нежели продираться через мириады аналитических функций мощной профессиональной ГИС всего лишь для создания простой карты. Системы **компьютерного черчения**, специально разработанные для создания графических изображений, не привязанных к внешним описательным данным, - прекрасный инструмент для архитектора, ускоряющий производство архитектурных чертежей и упрощающий их редактирование.

* Автор, как правило, не различает геоинформатику как научную дисциплину и геоинформационные системы как программные продукты, используя в обоих случаях термин GIS; в переводе, по возможности, делается различие между ними. — прим. перев.

В отличие от систем компьютерной картографии, они неудобны для создания карт, но при этом тоже не имеют средств анализа карт, обычно главной задачи ГИС [Cowen, 1988].

Для опытного пользователя ГИС не требуется определения. Но для тех, кто только слышал об этой технологии, определение может оказаться полезным. Для предварительного рассмотрения можно взять определение, данное Дэвидом Райндром (David Rhind), назвавшим ГИС "компьютерной системой для сбора, проверки, интеграции и анализа информации, относящейся к земной поверхности" [Rhind 1988]. Это определение содержит ряд весьма полезных элементов, которые следует рассмотреть подробнее. Во-первых, оно говорит, что ГИС имеют дело с земной поверхностью. Хотя это не является абсолютно необходимым условием, подавляющее большинство применений ГИС имеют дело с участками этой поверхности. Во-вторых, утверждение о том, что ГИС используются для сбора, проверки, интеграции и анализа информации, напоминает о большом числе групп операций, необходимых для любой геоинформационной системы.

Предлагались и другие определения ГИС. Некоторые проявляли сильную связь между ручными и компьютерными методами анализа карт [Dickinson and Calkins 1988, Aronoff 1989, Star and Estes 1990]. Большинство других явно указывали среди главных целей ГИС использование их как инструмента анализа информации о земле [Aronoff 1989, Parker 1988, Dueker 1979, Smith et al. 1987, Cowen 1988, and Koshkarirov, Tĭkunov and Trifimov 1989]. Как мы увидим в заключении, определение можно расширить также и для включения организаций и людей, работающих с пространственными данными [Carter 1989]. Для любой быстро развивающейся технологии определения могут меняться.

Для данного случая я избрал определение, которое представляет ГИС как набор подсистем, ее образующих. Это определение, предложенное в качестве стандарта Марблом и Пюке [Marble and Peuquet 1983], и используемое другими в той или иной форме в их собственных определениях [Parker 1988, Ozemoу, Smith and Sicherman 1981 and Burrough 1986], в целом резюмирует то, что же мы делаем с помощью ГИС, и как мы это делаем. Оно утверждает, что ГИС имеют дело с пространственно-временной информацией и часто, но не обязательно, используют компьютеры. Более важно, однако, что это определение использует идею подсистем, которая дает легко понимаемые рамки изучения ГИС. В соответствии с этим определением, ГИС имеют следующие подсистемы:

1. Подсистема сбора данных, которая собирает и проводит предварительную обработку данных из различных источников. Эта подсистема также в основном отвечает за преобразования различных типов пространственных данных (например, от изолиний топографической карты

к модели рельефа ГИС).

2. Подсистема хранения и выборки данных, организующая пространственные данные с целью их выборки, обновления и редактирования.

3. Подсистема манипуляции данными и анализа, которая выполняет различные задачи на основе этих данных, группирует и разделяет их, устанавливает параметры и ограничения и выполняет моделирующие функции.

4. Подсистема вывода, которая отображает всю базу данных или часть ее в табличной, диаграммной или картографической форме.

Это определение позволяет легко сравнить современные компьютерные ГИС с традиционными бумажными картами, особенно если рассмотреть этапы **картографического процесса** (Таблица 1.2). Первая подсистема ГИС может быть соотнесена с первым и вторым шагом процесса картографирования - сбором данных и компиляцией (составлением) карты [Robinson et al. 1995] (Таблица 1.3). При традиционной технологии картограф собирает карту из точек, линий и областей на физическом носителе, таком, как бумага или пластик. Информация берется из таких источников, как аэрофотосъемка, цифровое дистанционное зондирование, геодезические работы, словесные описания и зарисовки, данные статистики и т.д. Компьютерный аналог использует электронные устройства для записи, или **кодирования** (encode), точек, линий и областей в компьютерную систему. Источники данных часто те же, что и в традиционной технологии, но сейчас включают и широкий спектр цифровых источников: **готовые цифровые карты, цифровые модели рельефа, цифровые ортофотоснимки** и многие другие. Хотя механизмы этих технологий различаются, используемые в реальности методы удивительно похожи.

Таблица 12. Сравнение процесса картографирования в случае традиционной картографии (карта) и геоинформационных систем (ГИС)

Карта	ГИС
Сбор данных: аэрофотоснимки, геодезические работы и др.	Сбор данных: аэрофотоснимки, геодезические работы и др.
Обработка данных: агрегирование, классификация и т.д.; линейный процесс	Обработка данных: агрегирование, классификация, плюс анализ; циклический процесс
Производство карты: конечная стадия (без распространения)	Производство карты: не всегда конечный этап, Обычно на основе одной карты создаются и другие.
Тиражирование карты	Тиражирование карты

Таблица 1.3. Традиционная картография и ГИС: сравнение функций подсистемы ввода

Карта	ГИС
Ввод: запись (компиляция) на бумаге	Ввод: запись (кодирование) в память компьютера
- точки	- точки
- линии	- линии
- области	- области
Источники	Источники - то же, что и для карт плюс:
- аэрофотосъемка	- готовые цифровые карты
- цифровое дистанционное зондирование	- цифровые модели рельефа
- геодезические работы	- цифровые ортофотоснимки
- словесные описания и зарисовки	- цифровые базы данных
- статистические данные и др.	

Подобная же ситуация имеет место со второй подсистемой, подсистемой хранения и выборки (Таблица 1.4). Хотя нет прямого соответствия в картографическом методе, сама карта является средством хранения и выборки информации. Точки, линии и области, которые нанесены на карту, хранятся там для выборки их читателем карты. Говорят, что карта - наиболее компактный носитель для хранения пространственно-привязанной информации и, возможно, является наиболее сложным графическим изобретением. Нередко даже, насыщенность и сложность карты мешают пользователю извлекать из нее информацию. В ГИС подсистема хранения и выборки имеет некоторые преимущества перед картой в том, что можно делать запросы, возвращающие только нужную, контекстно-связанную информацию (Таблица 1.4), она переносит акцент с общей интерпретации карты на формулирование адекватных запросов. В общих словах, эта подсистема хранит либо явно, либо неявно, геометрические координаты точечных, линейных и площадных геометрических объектов и связанные с ними характеристики (атрибуты). Компьютерные методы поиска естественным образом присущи самому программному обеспечению ГИС.

В картографическом методе нет прямого аналога и для подсистемы анализа, за исключением того, что карта является фундаментальным инструментом анализа пространственно-связанных данных (Таблица 1.5). Традиционная карта требует применения линейки для измерения расстояния, транспортира для определения направления, и сетки или планиметра для измерения площади [Marble, 1990]. Более того, человек, анализирующий карту, ограничен графическими методами,

использованными для представления данных на листе бумаги или пластика. Тем не менее, эти инструменты анализа карт использовались многие годы вследствие известной полезности сравнения пространственных объектов в численной форме.

Таблица 1.4. Традиционная картография и ГИС: сравнение функций подсистемы хранения и выборки.

Карта	ГИС
Точки, линии и области рисуются на ячейки бумаге с помощью символов.	Точки, линии и области хранятся как растра или координаты и идентификаторы в компьютере.
	Таблицы атрибутов связаны с координатами.
Выборка - это просто чтение карты.	Выборка требует эффективных методов компьютерного поиска.

Подсистема анализа является "сердцем" ГИС. Необходимость анализа карт для выделения и сравнения картин распределения земных феноменов, имеющего прототип и в утвердившейся традиции с обычными картами, дает импульс для поиска новых, более удобных, быстрых и мощных методов. ГИС-анализ использует потенциал современных компьютеров для измерения, сравнения и описания информации, хранящейся в базах данных, которые дают быстрый доступ к исходным данным и позволяют агрегировать и классифицировать данные для дальнейшего анализа. Они не только не ограничены в видах используемой информации, но и способны комбинировать выбранные наборы данных уникальными и ценными способами, далеко выходящими за рамки простого листа с изображенной картой [DeMers, 1991].

Конечно, после выполнения анализа, нужно представить как-то его результаты. В картографии, будь то традиционная бумажная картография или ее цифровой эквивалент, компьютерная картография, выходной продукт в целом тот же - карта. Наиболее общей целью картографии, по крайней мере, с точки зрения пользователя, является производство карт, обычно некоторым тиражом, для многих потребителей. Реально, производство и тиражирование являются двумя конечными этапами в картографическом методе [Robinson et al., 1995].

Значительным различием между ГИС и картографией, помимо акцента на анализе в ГИС, являются способы представления результатов анализа (Таблица 1.6). Хотя многие пользователи, возможно большинство, все же будут использовать картографическое представление, в современных ГИС есть много иных возможностей. Типичным примером некартографического

представления являются распечатки таблиц, например, прогнозируемой урожайности в зависимости от типа почвы, или предполагаемое изменение населения по районам переписи. Эти же результаты можно представить набором гистограмм или графиков. Дополнительно, на поля карты или в таблицы и графики можно поместить хранимые в цифровой форме фотографии выбранных мест.

Таблица 1.5. Традиционная картография и ГИС: сравнение функций подсистемы анализа.

Карта	ГИС
Требуются линейка, планиметр, транспортир и другие инструменты, используемые человеком-аналитиком.	Используются возможности компьютера для измерения, сравнения и описания информации в базе данных.
Возможности ограничены данными, сгруппированными и представленными на бумажной карте.	Обеспечивает быстрый доступ к исходным данным, позволяет группировать и переклассифицировать данные для дальнейшего анализа.

Таблица 1.6. Традиционная картография и ГИС: сравнение функций подсистемы вывода.

Карта	ГИС
Только графическое представление	Карта - лишь один из видов вывода в ГИС
Многие формы карт	За малыми исключениями, ГИС предлагают те же возможности, что и традиционные карты
Модификации могут включать картограммы и др.	Включают также таблицы, графики, диаграммы, фотографии и др.

Существуют и другие разнообразные функции ГИС. Среди примеров выдачи - печать адресов на конвертах по результатам поиска в базе данных потенциальных клиентов с целью распространения рекламы. БД службы спасения может быть подключена к полицейскому или пожарному участку с тем, чтобы вызов мог быть прямо направлен к ближайшему из них. Эта выдача может быть и в форме маршрутной карты, показывающий кратчайший маршрут команде спасения к месту происшествия. В действительности типы выдачи часто продиктованы больше областью применения ГИС, нежели используемым программным обеспечением. И, как и пользователи карт, выдачи бывают самые разные.

Более интересным явлением, возникающем в результате широты спектра пользователей, является новый набор терминов, определяющих систему на основе того, что она делает. Например, возможны "полицейская информационная система", "информационная система по природным ресурсам", "переписная информационная система", "экологическая информационная система", "земельная информационная система", "кадастровая информационная система" и т.д. Хотя эти термины описывают применение ГИС в общем, они мало помогают прояснить действительную сущность системы. На самом деле они обычно вносят дополнительный вклад в путаницу. Возможно, здесь окажется полезным более структурированный подход к классификации ГИС в форме таксономического дерева (Рисунок 1.1).

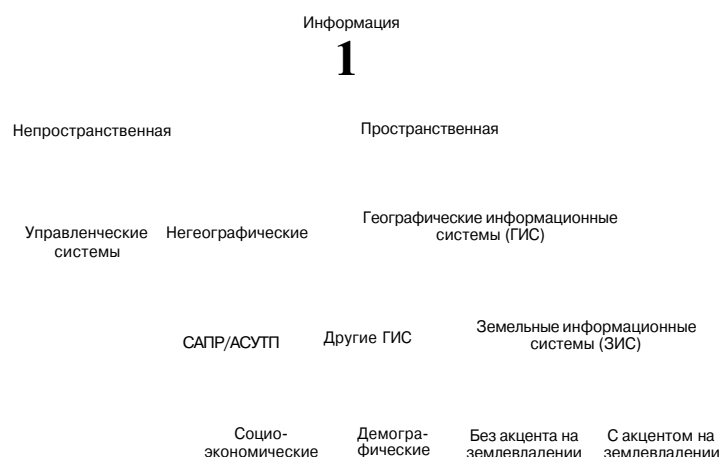


Рисунок 1.1 Классификация информационных систем. Показывает место ГИС и ЗИС.

Этот рисунок ясно показывает разделение между пространственными и непространственными информационными системами (ИС). Правильным местом для ГИС будет категория пространственных ИС. Выделяются также два общих класса пространственных ИС; географические и негеографические. Последние, хотя часто и имеют дело с некоторой частью географического пространства, обычно имеют слабую связь с самой земной поверхностью и координатами на ней. Другими словами, обычно они не используют геокодирование. Таким образом, такие классы систем, как системы для компьютерного черчения и компьютеризованного производства

(АСУТП), относятся к негеографическим пространственным ИС.

На ветви географических информационных систем есть еще одно разветвление. ГИС могут делиться на земельные и неземельные, или прочие, ИС. Хотя такое разбиение несколько искусственно, оно иногда полезно, поскольку отделяет применения ГИС, сфокусированные на собственно земле, от тех, где, хотя и используется геокодирование, более значима информация, которая может оказывать влияние на связанные с землей факторы или подвергаться влиянию с их стороны. Примером таких систем являются демографические ИС, основной целью которых являются население, жилищное строительство и экономическая активность, а не земля, на которой эти люди живут и даже не их использование этой земли. Другим не связанным с землепользованием применением ГИС является определение границ избирательных участков. Хотя по своей сути эта задача связана с разбиением земной поверхности на области, она не имеет прямого и немедленного воздействия на саму землю, но оказывает влияние на распределение по участкам результатов голосования людей, живущих, на этой земле. Еще одним общим не связанным с землепользованием применением ГИС является анализ рынка, который может включать определение емкости рынка в заданном радиусе от предприятия или анализ имеющихся предприятий с целью определения положения конкурирующего или дополняющего объекта. В эту же категорию попадает определение положения пожарных участков, школ и других объектов. В общем, неземельные применения ГИС обычно включают социальные, экономические, транспортные и политические виды деятельности.

Связанные с землей виды деятельности определяют рамки для второго и, возможно наиболее часто используемого типа ГИС - земельных ИС (ЗИС). Наиболее часто такие системы основаны на владении, управлении и анализе земельных участков, в основном, в интересах людей и, прежде всего с точки зрения землевладения. ЗИС далее делятся на те, что основаны на разбиении земной поверхности на участки собственности и те, которые такого разбиения не используют. Последние включают ИС по природным ресурсам, в том числе такие, которые используются национальными парками, лесными службами, агентствами по управлению землей и т.п. Задачи, решаемые этими ЗИС, могут включать отчуждение земли для заповедников, наблюдение за живой природой, прогноз землетрясений и оползней, устранение последствий наводнений, оценка химического загрязнения, управление лесами и зонами обитания диких животных, научные исследования.

Применения ЗИС на основе разбиения на участки обычно сосредоточены вокруг землевладения и других кадастровых вопросов. Определяющим критерием является разбиение земли на межеванные участки с узаконенными атрибутами. Хотя эта терминология может применяться к

таким землям, как государственные леса, все же обычно она подразумевает участки поменьше [National Academy of Science 1980, 1983]. Необходимой для таких приложений является геодезическая сеть, по которой возможно точное описание участков. Применения ЗИС включают традиционные геодезические методы, они находятся среди крупнейших пользователей Глобальной системы позиционирования (GPS) NAVSTAR для получения координатной информации. После создания точной геодезической основы и кадастровой системы возможны различные виды анализа изменений в землепользовании с гарантией высокой точности измерений. В числе таких работ находятся попытки установления непротиворечивого совместного использования земли среди выбранных земельных участков, а также внедрение универсального многоцелевого кадастра.

Как в областях, связанных с землей, так и в областях, связанных с населением, имеются многие возможности применения геоинформационных технологий, имеющих огромный потенциал, как для простых, так и для сложных видов анализа. Однако, большинство из имеющихся приложений сложными не назовешь. По-видимому, это недоиспользование связано больше с незнанием имеющегося потенциала ГИС, нежели с ограничениями имеющегося программного обеспечения. Для того, чтобы задать программе задачу, нужно знать, что же это может быть за задача. И тогда уже мы сможем понять, способна ли программа эту задачу выполнить. Часто от сегодняшних пользователей ГИС можно услышать: "Ого! Я не знал, что мы можем делать такое на компьютере!" Это восклицание чем-то напоминает реакцию первопроходцев былых времен, отправившихся в джунгли с пробковым шлемом и мачете. Для новичка, только что познакомившегося с ГИС, путешествие в новые измерения географических открытий только началось.

С ЧЕГО НАЧАТЬ?

ГИС - это увлекательное, даже чарующее поле деятельности с быстро растущими возможностями для тех, кто знаком с концепциями и технологией. Поэтому, и поскольку здесь есть шансы сделать хорошую карьеру, мы хотим начать как можно скорее. Но любое длительное путешествие лучше всего начать с хорошего планирования и осуществлять шаг за шагом. Существует общее заблуждение о том, что поскольку ГИС легкодоступны и имеются во многих различных организациях, можно просто сесть за компьютер и начать ими пользоваться. Однако ГИС совсем не так просты, как, например текстовые редакторы, к которым мы все уже привыкли. В то время как большинство из нас знают некоторые основы написания текстов, и возможно, весьма привычны к работе в текстовых

редакторах, немногие из нас также уверенно чувствуют себя по отношению к аналитическим операциям, необходимым для принятия решений с помощью карт. Также как и пользование текстовым редактором предполагает нашу способность организовывать наши мысли в связную последовательность предложений и абзацев, так и ГИС требуют знакомства с языком карт. Если спросить, большинство из нас скажут, что хорошо знают карты. Мы привычно пользуемся картами дорог, и, если необходимо, заглядываем в атлас мира с его политическим, физическими и экономическими границами, связанными с ними цветами, графическими символами, текстом и, конечно, стрелкой направления на север. Большинство из нас, однако, не задумывается ни об объеме информации, которую содержит карта, ни о процессах генерализации (обобщения), которые возникают при решении вопроса о том, какие детали включаются, а какие - нет. И никто не хочет думать о проблеме представления в принципе сферической поверхности на плоском листе бумаги. Поскольку карта - такой изящно разработанный документ, такой продуманный, мы просто принимаем его как данное.

Однако, при случае, ограничения картографического искусства проявляются на свет. Часто ли вы удивлялись, почему дорога, выглядящая прямой на карте, на самом деле всё время петляет? Графические ограничения, налагаемые на картографа качеством имеющихся данных, толщиной грифеля карандаша, размером бумаги и другими факторами, требуют от него решения о том, насколько детальной может и должна быть данная конкретная карта. Значительная часть этой генерализации обусловлена масштабом карты. Чем мельче масштаб (и больше размер области, отображенной на карте), тем более глубокая генерализация требуется для создания картографической модели.

Идея о том, что карта является моделью реальности, - возможно, наиболее важная идея, которую должен усвоить будущий специалист по ГИС. Поскольку карта имеет такую внешнюю привлекательность, пользователь часто готов принять ее за истину. Те, кто работают с картами, и особенно те, кто имеет дело с взаимодействием многих карт, должны постоянно напоминать себе об ограничениях картографического производства. Здесь приведены несколько простых упражнений, которые вы можете выполнить для того, чтобы познакомиться с картографической моделью и некоторыми ее ограничениями.

Взгляните на несколько карт мира из разных атласов. Возьмите хорошо известную вам страну. Отметьте, насколько ее изображения отличаются по размеру, форме, конфигурации границ, количеству городов и т.д., на этих картах. Возможно, вас удивит величина различий между картами. Теперь представьте себе, что вам нужно ввести карту этой страны в

геоинформационную систему. Какую из них вы выберете? Почему? Как помогает в этом выборе внимательное рассмотрение цели проекта?

Раздобудьте две или три смежных топографических карты вышей местности. Каким числом они датированы? Одним и тем же? Разными? Теперь начинается самое интересное. Прозрачной лентой (лучше снимаемой) склейте карты вместе так, чтобы все линии сошлись. Да, не забудьте включить какую-нибудь расслабляющую музыку, пока это делаете. Что вы обнаружили? Линии точно не сходятся? Представьте себе, что вам предстоит ввести 20 или 30 таких карт в ГИС, если ни одна пара линий не стыкуется.

Неплохо включить в вашу ГИС и почвенные данные. Попробуйте провести последний эксперимент с местными почвенными картами. Несовпадение между листами еще больше. Если вы используете карты почв Службы рационального использования почв Министерства сельского хозяйства США, вас может привлечь использование аэрофотоснимков на заднем плане. Считается, что это хорошее дополнение. Но оно имеет свою цену. Если вам нужно ввести эту карту наряду с другими картами в геоинформационную систему, то вам придется совместить ее с другими так, чтобы объекты на картах совпадали. Это требует указания координат на всех картах. Попробуйте найти их на картах обследования почв. Как вам удалось справиться с этой маленькой проблемой?

Если эти примеры еще не убедили вас в необходимости научиться понимать язык карт перед тем, как взяться за ГИС, то, возможно, убедит такой: Вам нужно создать карту растительности вашего региона до его заселения. При этом оказывается, что три известных картографа растительности выполнили такие карты на некоторые части вашего региона. Отправившись в библиотеку, вы обнаруживаете, что первая карта показывает классификацию растительности по структурным компонентам (травы, кустарники, деревья и т.д.), а вторая, пересекающаяся с первой, - по видам. Вы также с досадой обнаруживаете, что имеются лишь небольшие участки карты, где эти две системы соответствуют друг другу. Надеясь на помощь третьей карты, вы обнаруживаете, что, хотя она классифицирована по комбинации структур и видов, ее область не перекрывает ни одну из первых двух, точнее, она значительно отдалена от них.

Только что показанные проблемы классификации - типичны, и требуют от изучающего ГИС изучать больше чем просто технику. Прежде чем освоить технику, вам нужно освоить ее идеи. Мы начнем первый этап путешествия в следующей главе, где подробнее рассмотрим природу географических данных и методы, посредством которых они отображаются на картах. Этот первый шаг даст нам лучшее понимание основных строительных блоков ГИС и обеспечит более взвешенный подход, когда мы приступим к реализации

географического анализа и картографического моделирования.

Вопросы

1. Что было движущей силой для создания первой ГИС? Почему ее было так трудно создать?
2. Что такое географическая информационная система? Чем ваше определение отличается от предложенного Дэвидом Райндом? Почему для ГИС существует так много названий?
3. Какова связь между традиционной картой и ее компьютерным аналогом? Каковы отношения между четырьмя подсистемами ГИС и картой?
4. Какова разница между ГИС и компьютерной картографией? Между ГИС и компьютерным черчением?
5. Какие основные аналитические возможности обычно присутствуют в современных ГИС?
6. Кто обычно использует ГИС? В чем причина их популярности?

РАЗДЕЛ 2

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ,

КАРТЫ И КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ

ГЛАВА 2

Пространственный анализ: основа современной географии



Перед тем, как начать наше путешествие с целью открытия пространственных данных, следует узнать о типах ландшафтов, по которым мы будем двигаться. В ГИС мы путешествуем по таким же джунглям, болотам, равнинам, пустыням, горам и долинам, что и наши предки. Но теперь это - графические и численные представления реального мира. Чтобы быть в курсе возможных опасностей, мы должны знать элементы, которые образуют наше цифровое пространство, - так же, как путешественники былых времен должны были знать типы местностей, растительности и климата, вероятное расположение аборигенов, возможность встречи с зыбучими песками, скалами и иными природными феноменами, которых следует избегать или искать.

В отличие от реального мира, наше пространство будет заполнено картографическими объектами, представляющими отдельные части земной поверхности. Эти объекты будут различаться размером и формой, цветом и узором, шкалой измерения и степенью важности. Их численное представление может быть получено непосредственно наземными инструментами, спутниками, находящимися за сотни километров от поверхности, создано людьми, проводящими перепись, или извлечено из документов и карт, созданных за прошедшие века. Одни будут необходимы для нашего путешествия, другие - всего лишь полезны, третьи придется отбросить в начале движения. Таким образом, для исследования модели мира, нужно собирать, организовывать и создавать картографические объекты.

При чтении этой главы помните, что природа информации часто диктуется не только, тем, как мы представим землю в базе данных геоинформационной системы, но и тем, как эффективно мы сможем анализировать и интерпретировать результаты этого анализа. В свою очередь, то, как мы видим и познаем наше окружение, оказывает влияние на то, какие вещи мы замечаем, и как впоследствии мы их будем представлять. Точки, линии и области, с которыми мы имеем дело, - все различны. Более того, их представление и полезность в большой степени будут зависеть от нашей

способности выделять те объекты, которые важны, и те, которые могут изменяться в пространстве и времени, пока мы их наблюдаем. В дальнейшем эта информация будет определять способы хранения, выборки, моделирования и представления результатов анализа.

Вдобавок к временной шкале и физическим размерам хранимых в БД ГИС объектов нам следует рассмотреть также и шкалы измерений, которые мы будем использовать для представления их описательных характеристик, или атрибутов. Города могут иметь такие атрибуты, как их названия (номинальная шкала), оценка степени их пригодности для размещения промышленных объектов, которая может быть высокой, средней или низкой (порядковая шкала), среднегодовая температура (интервальная шкала), или среднегодовой доход на душу населения (шкала отношений). Все эти типы данных представляют принципиально различные признаки, измеряемые существенно отличающимися измерительными методиками, и с различными уровнями точности данных.

Помните, что первый шаг в освоении геоинформатики – это начать мыслить пространственно. Мы все существуем в пространстве, но нам так часто свойственно забывать о нем, не обращая внимания на то, как другие объекты занимают его, движутся через него, взаимодействуют с ним и даже изменяют его. Возможно, лучшим советом по переходу от пренебрежения пространством к настоящему пространственному познанию будет здесь совет "остановиться и понюхать цветочки". Найдите время отметить расположение растений и животных в пейзаже, выявить различия между центральными городскими и пригородными кварталами, обратить внимание на скорость вашего движения, когда вы идете вверх или спускаетесь вниз по холму, проследить различные маршруты, по которым вы добираетесь в разные места и проанализировать, почему вы выбираете их именно такими, взглянуть в характерный рисунок полей, когда пролетаете над сельскими ландшафтами, отметить места выброса водных и атмосферных загрязнений. Короче, познакомьтесь с различными сочетаниями, взаимосвязями, расстояниями, направлениями и пространственными взаимодействиями в вашем мире. Когда вы станете более внимательны к самим объектам, вы легко сможете сделать следующий шаг к тому, как можно эти объекты и взаимодействия измерить и какой "аршин" при этом использовать.

Очень важно хорошо освоить эти взаимосвязанные концепции объектов и измерений, перед тем как начать работать с ГИС. Начиная изучать каждый тип пространственных данных и средства его измерения, постарайтесь представить себе типы данных, которые вы уже встречаете или хотели бы встречать в работе с картами. Полезным упражнением может быть составление списка по мере обнаружения новых типов данных или средств их измерения. Это даст дополнительные примеры для вашей учебы и

поможет связать теорию с повседневным опытом. Еще важнее, что по мере продвижения по книге вы начнете видеть, как эти данные представляются в форме карт, как они будут кодироваться и храниться, и какие возможны способы их анализа. На этом собственном опыте перехода от теоретической модели к модели компьютерного представления вы хорошо подготовитесь к работе с аналитическими моделями, которые вам, скорее всего, встретятся при использовании ГИС в вашей профессиональной деятельности.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО СОЗНАНИЯ

Мы живем в сложном мире. И чтобы преуспеть, мы должны знать об этой сложности и быть способными организовывать ее в рамках некоторой схемы, которая позволяет нам понимать, как такая на вид беспорядочная система продолжает функционировать. За время своей учебы вы познакомились с большим разнообразием таких схем, каждая из которых создана для того, чтобы помочь вам понять и упорядочить различные стороны вашего мира. Учителя родного языка дают вам некую организационную структуру для того, чтобы вы могли лучше связывать свои мысли с языком. Аналогично, учителя истории демонстрируют вам структурные отношения между событиями во времени, как одни исторические события являются следствием других и причиной третьих; изучение истории создает схему, на основе которой вы можете вырабатывать и организовывать заключения о явлениях во времени. Учителя политических наук показывают вам структуры органов государственного управления, которые позволяют правительству действовать эффективно. В биологии вы изучаете, как функционируют и взаимодействуют живые клетки и организмы. Само слово "организм" означает упорядоченное биологическое создание.

Все эти дисциплины ищут порядок среди очевидного беспорядка. Наше природное любопытство толкает нас на поиск знания, которое позволит нам структурировать различные стороны нашего мира, после чего мы сможем сказать, как он действует сейчас и как он будет действовать, если что-нибудь изменится. Это в не меньшей степени относится и к географии и методам, которые эта наука разработала. Фокус на одном простом лежащем в основе принципе - поиске пространственного порядка - отделяет географию от других областей знания, с которыми вы уже встретились. Многие знакомые вам дисциплины при случае ставят вопросы о том, как люди, селения, животные, природные явления и т.д., изменяются или взаимодействуют в пространстве, но только география продолжает фокусироваться на пространственных взаимоотношениях как на своей главной рациональной основе. Вследствие такой направленности географы разработали язык, отражающий образ их мышления о пространстве. Этот пространственный язык, как и всякий язык, позволяет географу мыслить более ясно и общаться

с коллегами более выразительно по вопросам пространства, рассматривая только структуры и подготовку подручных данных, необходимых для объяснения пространственных явлений. Подобно тому, как биологи используют латинские и греческие слова для биологических видов с тем, чтобы более быстро и более точно выражать нередко трудноуловимые различия, также и географы используют свою терминологию для описания, объяснения и анализа пространственных отношений с такой же точностью.

Пространственный язык, как и любой язык, становится интеллектуальным фильтром, через который проходит только определенная информация [Witthuhn et al, 1974]. Он влияет на то, как мы мыслим, что считаем важным и как принимаем решения. Когда ребенок только начинает говорить, ему трудно точно объяснить, чего он хочет. Когда же слов не хватает, он доходит до крика в надежде, что кто-то потратит время на то, чтобы выяснить, что этому ребенку нужно. Вследствие слабой развитости языка, сложность мыслей также пропорционально ограничена. А с языковым ростом развивается и понимание мира, и способность сообщать это понимание другим.

Детские переживания научили нас не только вербальному общению. В значительной степени мы начали экспериментировать со своим пространственным окружением. Волнение родителей по поводу того, что их дитя впервые обнаружило большой палец своей ноги, есть отчасти признание того, что процесс пространственных открытий начался [Piaget et al, 1960]. В дальнейшем эти изыскания включают выработку понятий движения и скорости [Piaget, 1970] - через ползание по полу, обнаружение стульев, карабкание по предметам мебели, попытки достать до горячей плиты, открывание шкафов и т.п. - часто к озабоченности и ужасу окружающих. Еще позже мы начинаем залезать на деревья, под мосты, перебираться через ручьи и пруды, бродить по лесу, искать новых друзей, гулять по паркам и т.п. Многие из этих путешествий требовали от нас умения отыскивать маршрут с тем, чтобы вернуться в исходную точку. Чаше всего эти ранние упражнения давали весьма одномерные маршруты. Пройдя в одну сторону, мы просто возвращались по тому же пути [Muehrcke and Muehrcke, 1992]. Постепенно мы становились более искушенными в пространстве и начинали понимать, что иногда маршрут можно сократить. Другими словами, наш мир приобретал двухмерность. Мы начинали понимать, что предметы и места могут быть близко или далеко, прямо впереди или в стороне. И мы начинали принимать во внимание препятствия, которые приходится обходить, холмы, которые замедляли езду на велосипеде или позволяли скатываться с них. Короче, мы начинали мыслить географически.

Мы все являемся географическими существами. В течение всей своей жизни мы расширяем наши знания о разных местах: ездим в новые города,

бываем в новых зонах отдыха, и, возможно, посещаем другие страны. Но вместе с умением рисовать, уходящим с детством, многие из нас не могут более упражнять и свои пространственные способности. По одной и той же причине мы не можем нарисовать лошадь, похожую на лошадь, а не на короткошеего бронтозавра, и читать карту для того, чтобы найти дорогу в лесу. Но, поскольку наши художественные способности могут быть восстановлены тренировкой правого (графического) полушария мозга [Edwards, 1979], наши географические способности также могут быть наращены тщательно спланированными упражнениями. И как мы можем через практику стать более умелыми художниками, так же мы можем научиться лучше видеть, анализировать и понимать пространственные распределения и сочетания объектов. Таким образом, мы сможем лучше интерпретировать пространство вообще и использовать ГИС в частности.

По мере того, как мы осваиваем на опыте пространство, мы обнаруживаем самые разные виды объектов. Многие научные дисциплины снабдили нас дополнительным запасом слов, помогающим нам их расшифровать. За свои 2500 лет география позаимствовала множество слов из различных дисциплин, синтезируя их знания и применяя фильтр пространственного языка. Вам нужно усваивать эти знания и интегрировать их на пространственной основе. Если вы имеете дело с городской средой, знание урбанистики позволит вам увидеть паттерны* жилой, деловой и промышленной застройки. Знания по биологии неocenимы, когда требуется воспринимать и интерпретировать местоположения, распределения и взаимозависимости растений и животных. Геология и геоморфология* учат различать особенности выходов скальных пород и многих встречающихся вам форм рельефа. Знание экономики позволяет вам видеть скрытые факторы, определяющие размещение предприятий торговли и производства. Этот список практически неограничен и далеко выходит за рамки данной книги.

В последующих главах будут даны многие примеры из разных областей. Знакомясь с каждым, постарайтесь представить себе другие примеры, более тесно связанные с вашей специализацией. Попробуйте также расширить спектр примеров, включая как можно больше различных видов окружения, особенностей и объектов. Целью являются тренировка ваших географических способностей, приобретенных в детстве, и расширение вашего пространственного словаря для того, чтобы вы научились моделировать как можно больше пространственных явлений. Практикуясь в геоинформатике, вы почти наверняка столкнетесь с гораздо большим количеством пространственных объектов и модельных ситуаций, нежели как узкий специалист в своей области. Это делает вашу задачу несколько труднее, чем у

* англ. pattern - узор, распределение, характер, тенденция, модель, стереотип, шаблон, структура, текстура

тех, кто специализируется, но это же делает ее более полезной и интересной.

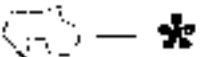
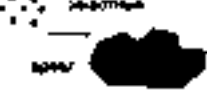
Картографическое представление		
		точечное
Объекты реального мира	точечные	 лесная
	линейные	 аэропорт
	поверхностные	 озеро или затопление
	объемные	 холм
		линейное
Объекты реального мира	точечные	 сеть рек, каналы
	линейные	 прямая дорога
	поверхностные	 водохранилище
	объемные	 разлом (желез)
		поверхностное
Объекты реального мира	точечные	 метеостанция, облак
	линейные	 речная сеть, лесной район
	поверхностные	 земельный участок
	объемные	 изрытый лоток, овраг

Рисунок 2.1. Объекты реального мира и картографическое представление.

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Упражнение наших географических способностей начнем с рассмотрения типов объектов, с которыми нам предстоит иметь дело. Пространственные объекты реального мира можно разделить на легко идентифицируемые четыре типа: точки, линии, области и поверхности (Рисунок 2.1).- Вместе они могут представлять большинство природных и социальных феноменов, которые мы встречаем каждый день. В рамках ГИС объекты реального мира явно представляются тремя типами объектов из указанных. Точки, линии и области могут представляться соответствующими символами, которые мы рассмотрим в Главе 3, поверхности же представляются чаще всего либо высотами точек, либо другими компьютерными средствами, которые мы

рассмотрим в Главе 4. Сейчас же наиболее важно то, что в ГИС вся информация - явным образом пространственная. Феномены непространственные по своей природе (идеи, верования и др.) не могут непосредственно исследоваться в ГИС, если только им не присвоить некоторые представляющие их пространственные характеристики.

Процесс поиска пространственных представителей (spatial surrogates) сложен, и мы займемся им более детально несколько позднее. В настоящий момент мы ограничимся обсуждением более осязаемых форм географической информации.

Точечные объекты - это такие объекты, каждый из которых расположен только в одной точке пространства. По собственному опыту вы можете легко узнать такие объекты, как деревья, дома, перекрестки дорог, и многие другие. О таких объектах говорят, что они **дискретные** (discrete), в том смысле, что каждый из них может занимать в любой момент времени только определенную точку пространства. В целях моделирования считают, что у таких объектов нет пространственной протяженности, длины или ширины, но каждый из них может быть обозначен координатами своего местоположения. Говорят, что точки имеют нулевое количество пространственных измерений. В действительности, конечно, все точечные объекты имеют некоторую пространственную протяженность, пусть самую малую, иначе мы просто не смогли бы их увидеть. Мы принимаем отсутствие длины и ширины так, что, например, при измерениях атмосферного давления, характеризующихся потенциально бесконечным числом точек, сами точки всегда занимают определенные местоположения без каких-либо перекрытий. Масштаб, при котором мы наблюдаем эти объекты, задает рамки, определяющие представление этих объектов как точек. Например, если вы смотрите на дом с расстояния нескольких метров, сооружение выглядит внушительным и имеет существенные длину и ширину. Но это представление меняется, когда вы начинаете отдаляться: чем дальше, - тем меньше дом выглядит как площадной объект, тем больше — как точечный (Рисунок 2.2). Критерии выбора масштаба могут быть различными, если вы, например, собираетесь рассматривать расположение людей и мебели в доме, или если вас он интересует только в связи с другими домами, возможно с целым городом. В последнем случае дом может считаться точкой. Ваше наблюдение прошло через фильтр, в соответствии с тем, как вы хотите посмотреть на объект.

Линейные объекты представляются как одномерные в нашем координатном пространстве. Такими "одномерными" объектами могут быть дороги, реки, границы, изгороди, любые другие объекты, которые существенно длинны и узки. Масштаб, при котором мы наблюдаем эти объекты, опять же, обуславливает порог, при пересечении которого мы можем считать их не имеющими ширины. Как вы знаете, реки, дороги, изгороди все

имеют два измерения при близком рассмотрении. Но чем дальше мы от них, тем более тонкими они становятся. Постепенно они становятся такими тонкими, что оказывается невозможным представить их себе, как что-то иное, нежели линейные объекты, становится невозможным измерить их ширину (Рисунок 2.2). Другие линии, такие как политические границы, вообще не имеют ширины. В действительности, эти линии даже не являются материальными сущностями, а возникают как следствие политических соглашений. Несмотря на их неосвязаемость, их можно, тем не менее, представлять как определенно пространственные, поскольку они разделяют две области географического пространства.



Рисунок 2.2. Влияние масштаба на размерность объектов. Дома, видимые с близкого расстояния, имеют длину и ширину, но когда мы удаляемся, их измерения исчезают, оставляя впечатление о них как о точках.

Для линейных объектов, в отличие от точечных, мы можем указать пространственный размер простым определением их длины. Кроме того, поскольку они не занимают единственное местоположение в пространстве, мы должны знать, по меньшей мере, две точки - начальную и конечную - для описания местоположения линейного объекта в пространстве. Чем сложнее линия, тем больше точек нам потребуется для указания точного ее расположения. Если мы возьмем в качестве примера линейного объекта реку, то описание многих ее поворотов и излучин потребует большого числа точек, поскольку может быть желательным изображать больше, чем только начальную и конечную точки реки. Опираясь не геометрию, мы можем также определять формы и ориентации линейных объектов, чем займемся позднее.

Объекты, рассматриваемые с достаточно близкого расстояния, чтобы иметь и длину и ширину, называются областями или площадными объектами. Примеры областей, или "двухмерных" объектов, включают территории, занимаемые двором, городом или целым континентом. При

определении местоположения области в пространстве мы обнаруживаем, что ее граница является линией, которая начинается и кончается в одной и той же точке. Помимо указания местоположения областей через использование линий, мы можем себе представить теперь три характеристики: как и для линий, мы можем указывать их форму и ориентацию, а теперь еще и величину площади, которую область занимает.

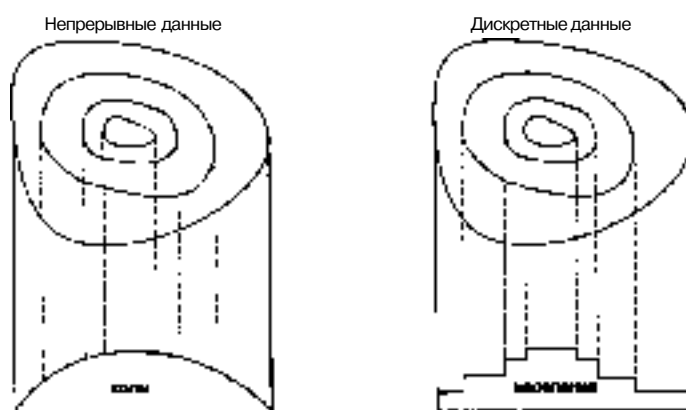


Рисунок 2.3. Непрерывные и дискретные поверхности. Заметьте, что изображение поверхности с помощью изолиний не проявляет ее дискретный или непрерывный характер.

Добавление нового измерения, высоты, к площадным объектам позволяет нам наблюдать и фиксировать поверхности. Хотя мы можем рассматривать дом с близкого расстояния и описывать его в терминах его общей длины и ширины, нам часто нужно знать, сколько в нем этажей. В таком случае нам нужно рассматривать дом не как плоскую область, а как трехмерный объект, имеющий длину, ширину и высоту. Поверхности окружают нас повсюду. Холмы, долины, гряды гор, скалы и множество других образований могут описываться указанием их местоположения, занимаемой площади, ориентации, и теперь, с добавлением третьего измерения, их высот. Оказывается, что поверхности состоят из бесконечного числа точек со значениями высот. Мы говорим, что они **непрерывны** (continuous), поскольку эти точки распределены без разрывов, непрерывно, по всей поверхности (Рисунок 2.3). В действительности, поскольку высота трехмерного объекта меняется от точки к точке, мы можем также измерять величину изменения высоты с перемещением от одного края до другого. Имея такую информацию,

мы можем определить объем материала в выбранном образовании. Возможность таких вычислений весьма полезна, когда нам нужно узнать, сколько воды содержится в водоёме или сколько материала (пустой породы) лежит поверх угольного пласта.

Все эти феномены, будь то точечные, линейные, площадные или поверхностные, существуют в пространстве. И всем им может быть приписано определенное местоположение, где их можно найти. Но как мы можем выразить важность кругового площадного объекта, расположенного в определенной области, занимающего 10 гектаров и ориентированного с севера на юг? Нам нужен способ классификации таких объектов, основанный на других наблюдаемых их свойствах и использующий терминологию, которую могут понимать другие люди.

ШКАЛЫ ИЗМЕРЕНИЙ

До сих пор мы рассматривали лишь геометрические объекты, с которыми, как мы видели, ассоциированы наборы координат, позволяющие указать их расположение в пространстве. Картографические объекты содержат информацию не только о том, как они занимают пространство, но и о том, чем они являются и насколько они важны для нашего рассмотрения. Например, дерево, обозначенное как точечный объект, может быть отнесено к определенному классу на основе таксономической терминологии, то есть дуб, сосна и т.п. Мы можем узнать также возраст дерева, пробуравив его и подсчитав годовые кольца. С этой дополнительной информацией мы теперь знаем, что есть не просто некоторое дерево, расположенное в некоторой точке пространства, но что это, скажем, дуб тридцати пяти лет. Дополнительная непространственная информация, помогающая нам описывать объекты, наблюдаемые в пространстве, образует набор атрибутов объектов. Когда мы наблюдаем наше пространственное окружение, мы начинаем распределять его атрибуты по категориям и отмечать где они находятся. В нашей природе, природе существ любознательных, заложено желание классифицировать, давать ярлыки вещам, которые нам попадаются, для того, чтобы мы могли привнести дополнительный уровень организации в наше пространство. И теперь мы можем указать, что определенный объект с определенным названием и с некоторыми измеримыми атрибутами существует в определенном месте.

Но перед тем как присвоить эти атрибуты объектам, мы должны знать, как их измерять. Иначе мы не сможем сравнивать объекты в одном месте с объектами в другом месте. Каким эталоном нам пользоваться? Насколько точно мы можем описывать объекты, с которыми имеем дело? Какой эффект будут иметь различные уровни точности измерений на нашу способность

сравнивать объекты?

К счастью, уже существует устоявшаяся основа для измерения практически всех видов данных, в том числе и географических. Эти так называемые **шкалы измерения данных** (levels of data measurement) простираются от простого именования объектов, для того, чтобы мы могли называть их, до высокоточных измерений, позволяющих нам непосредственно сравнивать качества различных объектов. Используемая шкала измерений будет определяться отчасти тем, что мы классифицируем, отчасти тем, что мы хотим знать, и отчасти нашими возможностями производить измерения при заданном масштабе наблюдения. Рисунок 2.4 иллюстрирует шкалы измерений в связи с тремя обычно используемыми типами географических объектов.

На первом уровне находится **номинальная шкала** (nominal scale), из названия которой следует, что объекты различаются по именам. Эта система позволяет нам делать высказывания о том, как называется объект, но не позволяет делать прямого сравнения одного объекта и другого, за исключением определения тождества. Например, мы можем сказать, что в одном месте находится клён, а в другом - дуб. Хотя такое утверждение, несомненно, различает эти объекты, мы не можем их сравнивать, поскольку они различны по природе. То есть, мы не можем утверждать, что церковь лучше или хуже, чем пожарная станция, так же как мы не можем делать подобных утверждений относительно яблок и апельсинов.

Шкалы	Примеры измерений характеристик объектов		
	Точки	Линии	Области
II 11	• город шахта x вершина горы	^ _w дорожка ^ "" "" ^ _ ^ река	V- 1 * gv белого C* } . " , " { . : ' * 3 пустыня
II	/ГЧЧ у^i ni Пород: большой средний малый	Шоссе: федеральное региональное * местная дорога	Загрязненность территории: большая умеренная малая
II	Дебит скважины №,000 > ШЦ^ . _____ 6.000.- 9.999 И № п 4 Н к ^ Б А 9 9 9	Отметка 1 \, V, горизонталь \ф Ф^ - Э ^ ^ 3 ^ ^ Грузопоток ТИ * И вшит вай*	Плотность Г~Д р И 1 вЩ—»120 населения Г Р ~ ^ ч F w e O Интерааль, (Ш\Ц\$% высот \ 3 / п 1,000

Рисунок 2.4. Шкалы измерения картографических объектов.

Если мы хотим провести более тонкое сравнение объектов, нам следует выбрать более высокую шкалу измерений. В нашем примере с деревьями, если бы мы захотели выяснить, насколько хороши клён, ясень или сосна в качестве декорации для пикника, мы могли бы поместить их на порядковую шкалу (ordinal scale), от лучшего к худшему для данного конкретного вопроса. Поскольку сосны часто имеют низкие ветви и сбрасывают кусочки коры и смолы на землю, мы, вероятно, отнесли бы их к наихудшему случаю среди этих трех. Хотя ясени производят меньше мусора и не имеют низких ветвей, их листья малы, и некоторое количество солнечных лучей проникнет через крону. Мы можем отнести ясень к среднему варианту для пикника. В противоположность ясеню, клён создаёт очень густую тень, к тому же он не производит много мусора и не имеет низких ветвей. Следовательно, мы можем отнести его к наилучшему классу на нашей порядковой шкале.

В нашем примере с пикником мы создали спектр значений от лучшего к худшему. Очевидно, однако, что этот спектр основан исключительно на цели использования данной информации и не может относиться к другим применениям деревьев. К примеру, ни клён, ни ясень не интересны для Рождества. Таким образом, наша классификация основана на одном аспекте, отражающем один набор условий. Далее: очевидно, что порядковые данные могут дать нам некоторое представление о последовательном сравнении пространственных объектов, но эти сравнения ограничены данным частным применением. Возьмем другой пример: отметку, которую вы получите за курс геоинформатики, нельзя сравнить с отметкой, полученной за дифференциальное исчисление. Здесь действуют два принципиально различных набора критериев. Если мы хотим быть более точными в наших измерениях, нам нужно воспользоваться **интервальной шкалой (interval scale)**. Измерения, в которой измеряемым величинам приписываются численные значения. Как и в случае порядковой шкалы, здесь мы тоже можем сравнивать объекты, но здесь эти сравнения могут делаться с более точной оценкой различий. Хорошим примером пространственных данных, измеряемых в интервальной шкале, является температура почвы на некоторой исследуемой площади с существенно различными типами почв. Мы можем обнаружить, что температура очень темной, богатой перегноем почвы значительно выше температуры более светлой почвы с низким содержанием органического материала. В частности, мы можем сказать, что в одно время температурная разница между разными видами почв составляет 4°C, более темная почва имеет температуру 29°C, в то время как более светлая - только 25°C. Теперь мы имеем легко измеримую, точно градуированную разницу между почвами в двух выбранных местах.

Но остается одно ограничение при выполнении сравнений в интервальной шкале. Возьмем еще два, предельно различных вида почв, один

- практически белый, а другой - почти черный. При измерении их температуры в одно время мы можем получить числа 10°C и 20°C . Как и раньше, мы можем получить численную разность между этими величинами 10°C . Но можем ли мы при этом сказать, что темная почва вдвое теплее светлой? На первый взгляд так и есть. Но нам следует вспомнить, что начало шкалы Цельсия выбрано произвольно. А для того, чтобы вычислить отношение двух величин, нужно иметь шкалу, на которой 0 представляет действительное начало температур. В данном примере нам следует перевести все величины в шкалу Кельвина, в которой начальная точка соответствует полному отсутствию движения молекул, с которым связано тепло. И когда мы преобразуем наши величины в соответственно 283 К и 293 К, мы увидим, что темная почва вовсе не вдвое теплее светлой.

В результате перехода от шкалы Цельсия к шкале Кельвина мы оказались на последней и наиболее "количественной" шкале измерений - шкале отношений (ratio scale). Преобразовав температуры в абсолютную шкалу, мы смогли получить осмысленное отношение величин, поскольку мы действовали теперь на шкале отношений*.

Может быть полезен и другой пример, поскольку он использует параметры, которые нам часто интересны. Допустим, мы исследуем две группы домов, расположенных в разных частях города: одна - в богатом районе пригорода, другая - в районе жителей с невысоким доходом, внутри города. Обследовав жителей, мы получили среднегодовой доход в первом районе 50000 долларов, во втором - 25000. Поскольку 0 долларов означает отсутствие дохода вообще, мы можем спокойно утверждать, что имеем дело со шкалой отношений и, следовательно, можем вычислять относительное различие. Разделив одну величину на другую, мы можем корректно утверждать, что среднегодовой доход семьи в первом районе вдвое больше, чем во втором. Однако, как и в случае негеографических данных, они корректны только с данными шкалы отношений.

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ КООРДИНАТЫ

Теперь мы уже видим, что можем наблюдать широкий спектр объектов. Мы можем группировать их при заданном масштабе наблюдения на точки, линии, области и поверхности. И мы можем классифицировать их при помощи измерений их характеристик в четырех различных шкалах - номинальной, порядковой, интервалов, отношений - в зависимости от того, какое нам требуется описание, и как мы собираемся их сравнивать. Но знание

* Здесь невольно приравнивались слова "абсолютный" и "относительный". Дело в том, что шкала отношений действительно является абсолютной в том смысле, что ее начало имеет определенный физический ("абсолютный") смысл и не может быть установлено

того, где объекты расположены, что они такое, и как мы можем измерять их, - это только начало описания нашего мира. Нам еще нужно узнать, как эти получившие координаты и численное выражение объекты взаимодействуют в пространстве, создавая общую картину, которую мы наблюдаем.

До настоящего момента мы говорили, что можем **определять местоположение** объектов в пространстве. Это - первая важная пространственная идея, которая нам нужна. Но определение местоположения означает, что у нас должен быть некий механизм сообщения положения каждого наблюдаемого объекта. Первым типом такого механизма является **абсолютное местоположение** (absolute location), дающее нам определенную фиксированную точку на поверхности Земли. Но прежде нам нужно иметь систему координат, в которой мы могли бы выражать это положение и которая имеет фиксированное соотношение с земной поверхностью, измеряемую нами.

Земля в первом приближении - сферический объект, с большими или меньшими отклонениями от этой формы. Если мы рассматриваем ее в целом, то обычно удобно считать ее строго сферической. На этой сфере мы можем использовать некоторую сферическую **систему координат** (spherical grid system), подчиняющуюся правилам геометрии. Рассматриваемая система координат имеет два набора воображаемых линий (Рисунок 2.5).

Первый набор линий начинается со средней линии Земли, экватора. Эти линии называются **параллелями** (parallels), поскольку они параллельны друг другу и опоясывают Землю с востока на запад. Экватору мы присваиваем начальное числовое значение 0. При движении как на север, так и на юг от экватора мы рисуем дополнительные параллели, пока не достигнем

произвольно. Чтобы уменьшить путаницу, такая шкала называется не "относительной шкалой" а "шкалой отношений". Фундаментальное же различие всех четырех шкал обусловлено свойствами, которыми занимается абстрактная алгебра (специальный раздел высшей математики). Здесь же будет достаточно сказать, что каждой шкале измерений соответствует определенный набор допустимых операций с ее значениями - *прим. перев.:*

отношения	операции	номинальная	порядковая	интервалов	отношений
тождество	равно / неравно	есть	есть	есть	есть
порядок	равно / неравно	нет	есть	есть	есть
разность (абсолютная)	вычитание/ сложение	нет	нет	есть	есть
отношение	умножение на коэффициент, деление	нет	нет	нет	есть

соответствующего полюса. Поскольку каждой такой линии соответствует угол с вершиной в центре Земли, один из лучей которого пересекает земную поверхность в точке, лежащей на этой линии, мы можем использовать для ее числового выражения соответствующее **угловое расстояние** (angular distance). Эта величина, называемая **широтой** (latitude), проходит от срединной параллели, **экватора** (equator), до каждого полюса четверть полного круга, то есть от 0 до 90°.

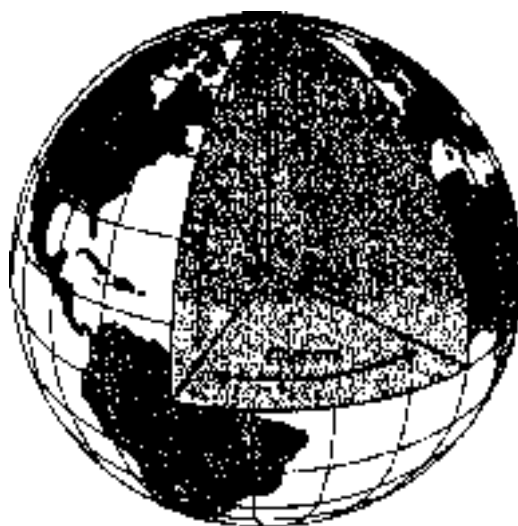


Рисунок 2.5. Географические координаты. Сферическая система координат с параллелями и меридианами. Параллели позволяют измерять угловое расстояние от экватора (0° широты) до 90° северной широты (Северный полюс) и до 90° южной широты (Южный полюс). Меридианы позволяют измерять угловое расстояние от начального меридиана (0°) до 180° восточной и 180° западной долготы, где проходит международная линия смены даты.

Это одна половина нашей координатной системы. Для завершения ее нам надо провести набор других линий, идущих точно перпендикулярно первым. Эти линии, называемые **меридианами** (meridians), идут от полюса до полюса. Отсчет их начинается с **начального меридиана** (prime meridian), проходящего через Гринвич, Англия. Если продолжить этот меридиан за полюса, то он превратится в **международную линию смены даты** (international date line). От начального меридиана отсчитывается угловая величина,

называемая **долготой** (longitude), от 0 до 180° на запад, где проходит международная линия смены даты. Аналогично она отсчитывается и до 180° на восток, опять же, до международной линии смены даты.

Эта система угловых измерений позволяет нам обозначить абсолютное положение любой точки на земле простым указанием величин широты и долготы.

С ее помощью мы можем описать положение любого выбранного объекта. Вдобавок, эти угловые величины могут быть легко преобразованы в футы, мили, метры или километры, позволяя нам измерять большие и малые расстояния на земле, с использованием соответствующих формул. Хотя нам потребуются вносить некоторые коррективы в эту систему при создании плоских карт, задача которых - как можно точнее передать положения и взаимную ориентацию объектов на глобусе, тем не менее, это - достаточно изящная система для выражения абсолютного местоположения.

Однако по мере продолжения исследования нашего мира, мы скоро замечаем, что было бы очень полезно иметь возможность описывать не только абсолютные положения объектов, но и их отношения с другими объектами в географическом пространстве.



Угловое расстояние по дуге большого круга (Great circle distance) (D) на сфере между точками A и B рассчитывается по стандартной формуле сферической тригонометрии:

$$\cos D = (\sin a \sin b) + (\cos a \cos b \cos |dl|),$$

где a и b - географические широты точек A и B , а $|dl|$ - абсолютная величина разности долготы A и B , (Произведение синусов будет отрицательным, если A и B находятся с разных сторон экватора).

Пример. Расстояние по дуге большого круга между Номом, штат Аляска, и Майами, штат Флорида:

$$\cos D \approx (\sin 63.5 \sin 25.75) + [\cos 63.5 \cos 25.75 \cos (165.33 - 80.18)]$$

$$\cos D = (0.89493 \cdot 0.43445) + (0.44620 \cdot 0.90070 \cdot 0.08455)$$

$$\cos D = 0.38880 + 0.03398$$

$$\cos D \approx 0.42278$$

$$D = \arccos 0.42278 = 64.99$$

Поскольку один градус на окружности большого круга составляет 69 миль, мы можем перемножить эти два числа и получить 4484.3 миль от Номы до Майами.

Рисунок 2.6. Расчет расстояния по дуге большого круга между двумя точками на сфере.

В действительности, это **относительное местоположение** становится весьма значимым для нашего географического анализа, когда относительное положение объекта влияет на его функционирование. Имея систему абсолютных координат, мы можем определить относительное положение

простым вычитанием из больших координат меньших.

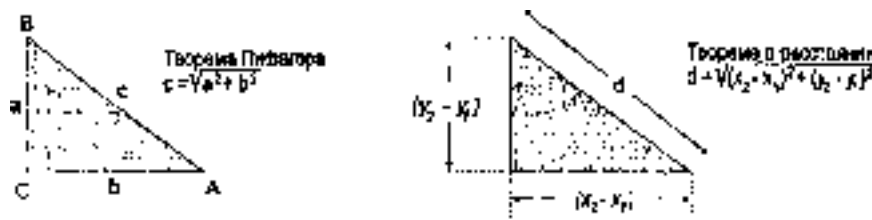


Рисунок 2.7. Вычисление расстояния на плоскости. Вычисление расстояния между двумя точками с использованием теоремы Пифагора и теоремы о расстоянии.

Конечно, относительное расстояние - только половина того, что нам хотелось бы знать. Было бы полезно знать также и направление. Например, мы могли бы сказать, что свалка находится в 1500 метрах на юго-восток от центра города. Это выражение расстояния и направления дает нам основу для описания точного положения свалки относительно города. Из теоремы Пифагора (Рисунок 2.7а) о соотношении сторон прямоугольного треугольника, мы можем определить длину гипотенузы через так называемую теорему о расстоянии (Рисунок 2.7б), которая выражается следующей формулой:

$$c1 = \sqrt{(x2-x1)^2 + (y2-y1)^2}$$

где

$x2-x1$, — расстояние по оси X или долготе

$y2-y1$, — расстояние по оси Y или широте*

$c1$ = расстояние между двумя точками

Мы могли бы представить также и кое-какую дополнительную информацию, полезную для людей, живущих в городе. Если нам известно, что в этой местности преобладают ветры с северо-запада, мы могли бы сказать, что свалка находится на 1500 метров по ветру от города, показывая тем самым, что запах со свалки обычно не будет проблемой для горожан. Такой подход, хотя и менее строгий с точки зрения измерений, имеет также большое практическое применение. Это дает нам средство интерпретации того, что мы наблюдаем, определения значимых отношений между географическими объектами.

* В России распространена система координат 1942 г. для проекции Гаусса-Крюгера, в которой ось X указывает на север, а ось Y - на восток.

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

В предыдущем разделе мы упомянули о важности знания отношений объектов в пространстве. Их анализ - одна из главных задач геоинформатики. Вот почему мы вводим так много данных в БД ГИС. Занимаясь подсистемой анализа ГИС, мы рассмотрим множество имеющихся возможностей. Тем временем будет поучительно начать общую разработку нашего пространственного языка с учетом пространственного сравнения. Это даст нам пищу к размышлениям о том, что нужно собрать во время нашего путешествия, поскольку у нас будет широкая база для выяснения типов пространственных отношений, и того, что они могут сообщить нам о нашем окружении в результате анализа объектов, их положений и описаний.

Начнем с последнего примера местоположения, в котором мы определили положение свалки относительно близлежащего города. Этот простой расчет является определением **близости** (proximity), свойства быть расположенным вблизи чего-нибудь. Как мы видели, близость может быть выражена расстоянием между двумя объектами. Однако, мы можем также установить пределы приемлемой близости, расстояния, в пределах которого приемлемо или неприемлемо нахождение двух объектов. В нашем примере, если свалка находится слишком близко к городу, даже хотя бы и с подветренной стороны, некоторым людям придется созерцать неприятный пейзаж. А при удалении более 2000 метров, мы можем считать, что ее не будет видно никому из города. Тогда мы можем установить минимальную приемлемую близость в 2000 метров с тем, чтобы любая свалка располагалась не менее чем за 2000 метров от границы города.

Наш пример со свалкой показал взаимодействие двух пространственных объектов. Однако многие объекты встречаются в гораздо больших количествах: города в стране, дома в городе, животные на природе, природные области в государстве, деревья в лесу, дороги в государстве, притоки реки, даже растения в саду встречаются не по одиночке. Не все они распределены равномерно в пределах этих областей. Каждый набор объектов имеет определенное **пространственное размещение** (pattern). Мы можем заметить, что за особенностями этого пространственного размещения, по-видимому, стоят какие-то процессы, определяющие их. Например, инструкция по посадке томатов может требовать располагать растения на расстоянии 1 метра друг от друга. Следуя ей, мы создадим **регулярное и равномерное** (regular and uniform) распределение растений (Рисунок 2.8). Это регулярное распределение существенно отличается от расположения деревьев в лесу, которые кажутся размещенными **случайно** (random), без очевидного плана. С другой стороны, глядя на расположение городов в разных странах, мы часто можем видеть, что эти населенные пункты располагаются близки озер, океанов и рек. Зная, что водоемы являются

источниками питьевой воды, ценны для отдыха и торговли, мы можем легко догадаться, что свойство городов **группироваться** вблизи таких объектов обусловлено этими нуждами. Сгруппированное расположение (clustered distribution) городов является примером пространственного распределения с высокой **плотностью** (density) объектов, в то время как распределение других объектов, таких как ферм, разбросанных по сельской местности, является примером более **разреженного** распределения (dispersed pattern).

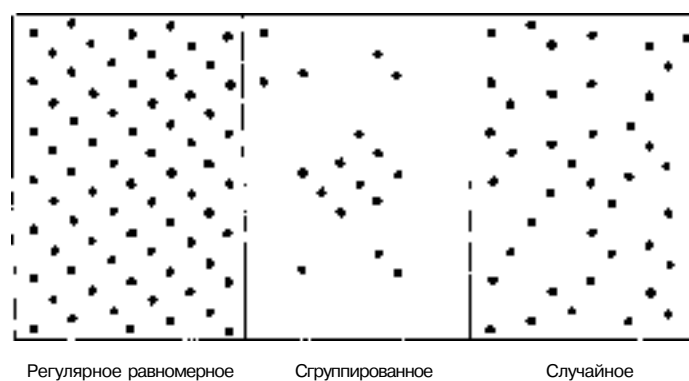


Рисунок 2.8. Картины точечных распределений. Регулярное равномерное, сгруппированное и случайное распределения пространственных объектов.

Продолжая наше путешествие, то обнаруживаем, что некоторые объекты организованы совсем по-другому. Например, мы можем увидеть, что растительность на крутом северном склоне явно отличается от той, что на южной стороне. Другими словами, растительные скопления имеют определенную связь с ориентацией склона. Свойство ориентированности встречается также и в искусственных лесозащитных полосах, которые расположены перпендикулярно преобладающему направлению ветра. Некоторые улицы города образуют сетку перпендикулярных линий, в то время как другие расположены без определенной системы. Можно отметить, что большинство монументов Американской гражданской войны расположены лицом в ту сторону, откуда появился бы враг. В некоторых регионах мира, подвергшихся континентальному оледенению, мы находим гряды камней и глины, называемые конечными моренами, которые ориентированы перпендикулярно направлению движения льда, и цепи валунов вдоль направления движения ледника.

Если мы вновь посетим места, в которых бывали прежде, то обнаружим другие процессы, которые подскажут нам об изменчивости географической

среды. Вернувшись в родной город или поселок после отсутствия в течение нескольких лет, можно обнаружить, что он стал больше, чем перед отъездом. Произошла **диффузия** города на прилегающие земли. Возможно, вы увидите, что прежний деловой центр города стал менее важным для торговли, произошла диффузия магазинов в зоны отдыха на окраинах города. В действительности, процесс диффузии может происходить ежедневно, когда люди из жилых районов крупных городов перемещаются на работу в другие части города. Диффузию можно наблюдать даже на примере распространения идей и технологии геоинформационных систем, когда, поначалу небольшое, число институтов, предлагающих курсы геоинформатики, растет с каждым годом по всему миру.

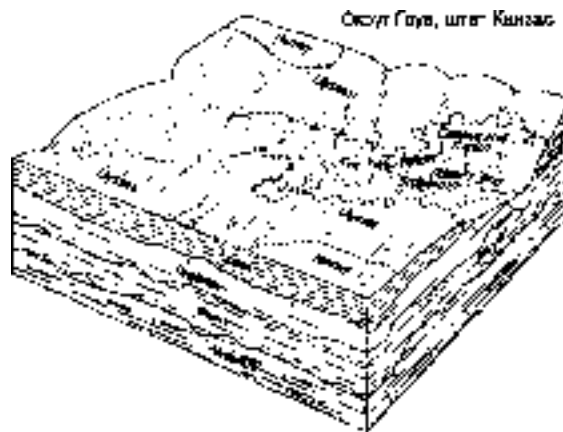


Рисунок 2.9. Отношения между пространственными явлениями. Пространственная корреляция между геологическими формациями и типами почв, образовавшимися из них.

Глядя на все эти пространственные конфигурации, мы задаемся вопросом об отношениях, которые могут иметь место между одним набором явлений или объектов и другим. Этот вопрос был затронут, когда упоминались некоторые причины расположения городов вблизи водоемов. Мы обнаружили, что одно пространственное распределение может быть частично или полностью быть связано с некоторым другим пространственным распределением. Пространственное расположение склонов имеет сильную **связь** (association) с растительностью, которая на них имеется. Теперь мы можем задать вопрос не только об одиночных распределениях, но и о

пространственно коррелированных распределениях (Рисунок 2.9). Мощные возможности современных ГИС позволяют показывать, описывать и численно представлять пространственные связи (spatial associations), что на протяжении долгого времени было основной задачей географов [Sauer, 1925]. Мы осваиваем пространственный язык географии, и теперь, с помощью ГИС, у нас есть возможность применить компьютеры к реализации этих географических идей. Когда нам известен язык, мы начинаем мыслить в пространственных терминах, фильтровать мысли с тем, чтобы выявлять важные пространственные явления, идентифицировать пространственные паттерны и, в конце концов, задавать вопросы для того, чтобы докопаться до объяснения причин взаимодействия распределений.

СБОР ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ

До сих пор в нашем путешествии мы не обращали внимания на то, как мы будем выполнять и фиксировать наблюдения. Однако даже ранние путешественники брали с собой бумагу, карандаш, измерительные приборы и даже громоздкие кинокамеры, когда они появились. Времена изменились, изменилось наше окружение, приборы, которыми мы пользуемся, и, конечно, сами вопросы, которые мы можем задавать. Вследствие этих перемен нам нужен беглый обзор инструментов для нашего путешествия. Конечно, вы познакомитесь с некоторыми из них гораздо лучше, чем с другими, в зависимости от вашей специализации и видов информации, с которыми вы будете работать. Но поскольку данные ГИС получаются из разных источников, было бы неплохо познакомиться с как можно большим числом таковых.

Многие данные все еще получаются в результате наземных наблюдений, не очень-то отличных от тех, что использовались нашими предшественниками. Измерения расстояний с помощью рулетки, все еще полезные для сравнительно малых объектов, заменены в некоторых случаях относительно недорогими лазерными дальномерами (range finders), которые посылают световой луч от наблюдателя до какого-либо препятствия. Другие, такие как качественные (qualitative), или описательные (categorical), данные собираются все еще посредством прямого визуального наблюдения или сбором образцов для последующей идентификации. Эти наблюдения должны выполняться внимательно, прежде чем быть принятыми за истину, поскольку их качество часто зависит от опытности наблюдателя. Этот момент иллюстрируется одним из традиционных методов выполнения исследований растительности с использованием так называемых **деревьев-представителей** (witness trees), оставляемых при вырубке подсельхозугодия. Специалисты предполагали, что эти деревья типичны для существовавшего

леса и могут служить представителям для окружающей территории. Хотя некоторые из таких деревьев действительно представляют прежнюю растительность, многие из них оказываются гораздо менее типичными для данной местности, поскольку их оставляли из-за их значительного размера или удобного расположения.

Абсолютное положение на Земле когда-то определялось относительно положений небесных тел, таких как Полярная звезда. Ручной компас - простое устройство, действие которого основано на наличии у Земли как вращающегося тела двух полюсов - северного и южного. Для локальных измерений также можно сравнительно легко и дешево определять местоположения при помощи простых традиционных геодезических приборов, таких как **мензула** и **кипрегель** (plane-table and alidade). Эти устройства все еще используются в наши дни, когда территория и бюджет ограничены. Каждое из этих устройств подразумевает, что где-то поблизости есть точки с известными координатами, относительно которых и проводятся измерения.

От точки с известными координатами, можно измерять расстояния и углы с помощью процесса, называемого **счислением пути** (dead reckoning), перекрещивать некоторое число линий визирования (line-of-sight) при **триангуляции**, или выбирать известную базовую линию (baseline), от концов которой измеряются расстояния до объектов (**трилатерация**) (Рисунок 2.10).

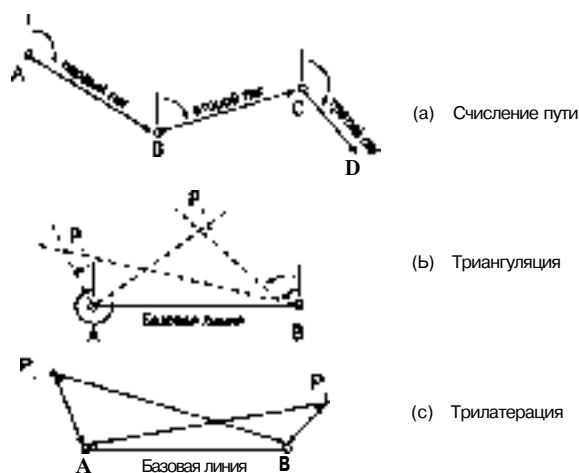


Рисунок 2.10. Геодезические методы.

Некоторое число традиционных приборов теперь модернизированы для гораздо большей точности, легкости использования и считывания результатов на цифровом дисплее. Одним из примеров являются современные цифровые **теодолиты**. Все эти улучшенные инструменты, как и их прежние собратья, имеют ограниченное применение, для больших территорий. С другой стороны, время, которое требуется для съемок этими приборами, значительно перевешивается ценностью высокоточных позиционных данных, которые могут быть важны для таких работ, как определение границ землевладений. А это гарантирует их дальнейшее использование.

Технические новшества улучшили методы, с помощью которых мы можем получать позиционную информацию, особенно для больших участков земли. Сегодня вокруг Земли вращаются спутники, положение которых известно с большой точностью. Эти спутники принимают радиосигнал от наземных управляющих станций с информацией об их местоположении, и передают ее полевому прибору (field unit), который определяет по ним свои координаты, отражающие позицию и высоту приемника. По-видимому, наиболее перспективной и наиболее используемой сегодня такой системой является упомянутая в Главе 1 Глобальная система позиционирования (GPS) NAVSTAR*. (Рисунок 2.11). Точность ее зависит от числа видимых спутников, сервиса и объема информации, модели полевого устройства (GPS-приемника) и методики измерений. Имеющиеся сегодня системы обеспечивают точность определения местоположения от относительно грубых ста метров до 10 см и лучше. При этом не требуется прямой видимости управляющей станции от полевого прибора, однако требуется видимость спутника. Это создает определенные трудности применения таких приборов в местах с ограниченной видимостью спутников, например, в густом лесу, горных ущельях, крупных городах.

Для полевых исследований животных существуют устройства для отслеживания перемещений оленей, птиц, мелких млекопитающих и даже пчел (если устройства достаточно малы). Традиционно такие устройства прикрепляются к животным, и их положение определяется наблюдением за постоянно излучаемым сигналом с помощью полевой станции, которая может быть наземной или размещенной на летящем самолете. Последним развитием этого **радиотелеметрического** (radiotelemetry) способа сбора данных, является интеграция его с GPS, что позволяет наблюдать объекты на гораздо больших территориях и с большей точностью. Поскольку эти технологии продолжают улучшаться в качестве, легкости использования и цене, больше данных лучшего качества будет доступно для ввода в ваши ГИС.

* Существует аналогичная российская система ГЛОНАСС. Сегодня уже имеются ОРБ-приемники, способные работать одновременно с обеими системами. — *прим. ред.*

Рисунок 2.11. Полевой комплект GPS (GPS-приемник).

Когда нашим делом является сбор информации о распределении объектов, растений, животных и даже людей, а не об индивидуальных местоположениях, мы используем другой способ сбора данных, называемый **переписью** (census), техника выполнения которого зависит от природы собираемых данных. Например, мы могли бы использовать непосредственный контакт с целью физически определить точные положения и характеристики отдельных кустов на открытой местности. Но, как подразумевает пример, целью метода является получение информации обо всей популяции объектов в пространстве. Наиболее общим примером, конечно, является перепись населения, проводимая государством. Эти методики направлены на получение как позиционных (locational), так и описательных (attribute) данных о людях с тем, чтобы можно было сделать обобщения о популяциях в выбранных областях или районах. Собираемые сведения часто включают семейное положение, доход, жилищные условия, возраст, пол. Из таких обобщений можно определить, по меньшей мере приблизительно, какие области имеют наименьший подушный годовой доход, становится ли население в целом старше, каково соотношение людей живущих в квартирах и отдельных домах и т.д. Эти результаты, в свою очередь, позволяют органам власти предлагать

пути реагирования на изменяющиеся условия. Другими словами, теперь власти имеют методику планирования, основанную на знании пространственного распределения населения.

Потенциал переписи в описании пространственных отношений внутри населения страны вызвал движение в сторону автоматизации этого процесса. Перепись стала компьютеризованной, тем самым и получая преимущества от компьютеризованной географии, и внося вклад в нее. В главе 4 мы увидим, как Бюро переписи США создало методику обновления данных с тем, чтобы сделать переписную информацию доступной для большинства коммерческих ГИС-продуктов.

Однако, иногда ни наземные измерения, ни перепись не подходят для сбора данных и получения адекватной пространственной информации о больших участках земной поверхности. Это утверждение особенно применимо к природным явлениям, но также верно и для многих антропогенных феноменов. Получение информации в региональном или даже континентальном масштабе может потребовать использования косвенных методов (indirect methods) сбора данных. Эти косвенные методы часто используют датчики (sensing devices), значительно удаленные от исследуемых объектов, и поэтому называются обобщенно **дистанционным зондированием** (remote sensing). Хотя термин часто подразумевает использование в некоторой форме спутникового зондирования, мы будем использовать его более широко, включая сюда и аэрофотосъемку, которая иногда исключается из этого определения вследствие существовавшего различия методов интерпретации данных.

Если в дистанционном зондировании датчик удален от объекта измерения, то в телеметрических методах от датчика удален получатель информации. Такие устройства часто располагаются на стратегических позициях, которые должны представлять характер окружающей местности. Кроме того, датчики могут устанавливаться по всему интересующему региону для того, чтобы получить информацию о как можно большей его части. Автоматическая метеорологическая станция является, наверное, наиболее известным представителем устройства телеметрического сбора данных. Существуют целые сети датчиков для непрерывного или периодического сбора данных о температуре, влажности и других важных параметрах почвы. Чаще всего такие сети подключаются через сети передачи данных к базовой станции, которая получает и хранит информацию либо на бумажной ленте, либо в виде цифровых данных в компьютере. Разработаны и более экзотические устройства для записи траекторий полета насекомых, движения пресмыкающихся, перемещения частиц песка, или для наблюдения за загрязнением воды и атмосферы, сейсмической активностью и, конечно, похитителями драгоценностей. Все вместе, эти устройства могут дать широкую картину явлений, на которые они реагируют.

В отличие от телеметрии использование аэрофотосъемки, как и космической съемки, позволяет собирать информацию о непрерывных изменениях феноменов от места к месту, делая ненужным опираться на наблюдения только в отдельных точках. Этот тип дистанционного зондирования чаще всего использует фотоаппарат аналогичные цифровые устройства на борту самолета или спутника, регистрирующие участки спектра электромагнитных волн. Фотоаппараты бывают различных видов и могут использовать разные виды пленки - от традиционной черно-белой до цветной и спектральной (псевдо-цветной инфракрасной (false-color infrared)) - в зависимости от требуемых данных. Во многих случаях используются специальные комбинации пленок и фильтров для устранения нежелательных участков спектра и выделения областей спектра, более информативных для изучаемых феноменов. Цифровые устройства также могут вести съемку как в одном, так и в нескольких зонах спектра одновременно.

Аэрофотосъемка, опора многих видов пространственного анализа, имеет давнюю традицию использования для оценки и управления лесами и другими природными ресурсами, поскольку фотографии позволяют аналитикам охватывать большие участки земли одним взглядом. Почвоведы используют эти фотографии для распознавания небольших изменений типов почв на больших площадях, а также в качестве основы для почвенных карт. Специалисты по урбанистике используют их для оценки величины населения через подсчет жилых строений при известном среднем числе жителей на одно строение. Геологи давно уже используют аэрофотосъемку в качестве источника информации о пространственном распределении форм рельефа, а также глубинных феноменов, таких как соляные купола и зоны разломов. Военные, конечно, используют аэрофотосъемку в целях разведки. На самом деле, цветная спектральная пленка, сначала названная пленкой обнаружения маскировки, была разработана в значительной степени при участии военных. На самолетах устанавливаются и другие, более экзотические приборы, такие как **радары бокового обзора** (side-looking airborne radar (SLAR)), **сканирующие радиометры** (scanning radiometers), **цифровые видеокамеры и цифровые фотоаппараты**. Таким образом, использование аэрофотосъемки как средства сбора географической информации давно существует и все еще актуально для небольших площадей. Для больших же территорий, таких как целые страны, затраты средств и времени слишком велики. Однако, большие площади могут исследоваться другими методами, многие из которых реализованы с помощью спутников, летающих за сотни километров от обозреваемой земной поверхности, причем некоторые из них используют те же технологии, что сегодня используются на самолетах.

Большое расстояние между чувствительным прибором и его объектом позволяет спутникам обозревать большие площади одновременно. Вдобавок,

поскольку спутниковые приборы дистанционного зондирования обращаются вокруг Земли, они способны собрать информацию почти обо всей планете за небольшую долю того времени, которое потребовалось бы для аэросъемки. Как указывалось, имеется широкий диапазон зондирующих устройств, каждое со своими спектральными, временными и пространственными характеристиками. Некоторые спутники созданы для наблюдений за погодой, другие же могут "видеть" и наземные объекты. Например, спутник SEASAT был разработан главным образом для исследования морских феноменов, таких как волны и айсберги. Спутниковые камеры дальнего инфракрасного диапазона, например, используемые в составе AVHRR на борту спутника NOAA, позволяют геологам обнаруживать горячие точки и предсказывать вулканическую активность. А приборы спутника GOES, находящегося на высокой орбите, позволяют увидеть сразу поверхность целого полушария планеты.

Следует помнить, что данные дистанционного зондирования не являются непосредственными. То, что получается от аэрофотосъемки, радаров и цифровых снимков дистанционного зондирования, больше или меньше *представляет* то, что находится на поверхности. Хотя в них нет, например, типов растительности или видов человеческой деятельности, аналитики могут использовать эти данные в качестве косвенных признаков того, что реально находится на земле. В большинстве случаев эти данные должны быть обработаны специалистами, опытными в их дешифрировании (interpretation), прежде чем категории объектов будут адекватно установлены. Чаще всего в базу данных ГИС вводятся результаты такой классификации, нежели сами необработанные данные. Как мы увидим позднее, возможность человека или машины-интерпретатора правильно идентифицировать объекты в пространстве сильно связана с ценностью таких данных для принятия решений (decision making).

Область спутникового дистанционного зондирования огромна и изменчива, как благодаря внедрению новых систем с новыми чувствительными устройствами, или сенсорами (sensing devices), так и потому, что специалисты изобретают все новые пути их использования. При этом каждая из таких систем видит вещи по-своему. Специалисты по дистанционному зондированию продолжают разрабатывать всё новые применения этих устройств, так что каждый специалист по ГИС должен быть в курсе потенциальных возможностей этой технологии.

ПОПУЛЯЦИИ И СХЕМЫ ОТБОРА

Остается одна проблема перед тем, как мы будем готовы объяснить то, что мы видим в нашем путешествии. Теперь в нашем распоряжении есть

пространственный язык, который дает нам знание о том, где и что искать, когда мы исследуем наше окружение.

И мы знаем об устройствах, которые позволяют нам собирать большие объемы данных с помощью спутников. Но сложность нашей планеты может часто становиться подавляющей просто потому, что существует так много объектов и так много факторов, которые могут быть подвергнуты исследованию. И хотя приборы дистанционного зондирования позволяют нам видеть большие территории одним взглядом, разрешение, при котором они снимают землю, часто ограничивает размеры объектов, которые мы можем увидеть. Некоторые объекты, например, норы животных в степи, находятся далеко за пределами видимости многих приборов. А поскольку такие объекты разбросаны по большой территории, получение детальных аэрофотоснимков оказывается чрезмерно дорогим. Поэтому нам придется выполнять наши наблюдения и оценки на земле. И это возможно, поскольку интересующие нас объекты достаточно многочисленны, чтобы визуально доминировать на ландшафте. Но их слишком много, чтобы мы могли учесть каждый и записать его координаты. Чтобы выяснить, почему эти объекты имеют определенное распределение, нужно прежде всего знать, что некоторое распределение существует, что в идеале выполняется поиском и записью местоположений объектов. Но поскольку мы не можем создать полную перепись всех нор, мы должны отобрать некоторую из них, то есть сделать выборку (sample), для того, чтобы получить выводы обо всей популяции на основе меньшего, представительного подмножества.

Выборки могут производиться разными путями; некоторые из них труднее других, некоторые дают лучшую возможность делать выводы о популяции в целом. Хотя выборки эффективны как для пространственных, так и для непространственных данных, мы ограничимся только пространственными, так как ГИС имеют дело с явно пространственной информацией. Мы выбираем данные двумя главными способами: направленным и ненаправленным отбором (directed and nondirected sampling). Каждый метод определяется как ограничения на получение пространственных данных, так и выводами, которые мы хотим получить о популяции данных при использовании выборок.

Направленная выборка, как подразумевает название, требует принятия решений о том, какие объекты должны быть просмотрены и позднее внесены в список. Другими словами, мы направляем наш отбор на основе нашей возможности брать образцы из изучаемой совокупности объектов. Изучаемая совокупность занимает некоторую область отбора, в пределах которой мы делаем выборку [McGrew and Mongro, 1993]. Вместе, изучаемая совокупность и область отбора составляют базу выборки, которая включает типы интересующих нас объектов, ограниченных определенными

пространственными координатами. В рамках направленного выбора, иногда называемого целевым, мы используем совместно знание исследуемой области и ее изучаемой совокупности, доступности объектов, которые мы желаем исследовать, вероятности получения адекватной информации о каждом индивиде (например, используя только данные опросных форм от людей, которым они были посланы), и исследования конкретных ситуаций с целью демонстрации определенного феномена. Хотя этот метод выборки часто называют "ненаучным", он все же часто необходим. Рассмотрим следующие ситуации.

Вы планируете пространственное исследование типов растительности для территории, которая была расчищена от растительности, использована в сельском хозяйстве, а затем заброшена. Вам известен некоторый большой участок, который прошел через эти этапы, и поэтому вы планируете исследовать его вместо всех участков в вашем регионе или государстве, которые находятся в аналогичных условиях. Ваше исследование является более сосредоточенным, поскольку добраться до всех участков, подвергнутых очистке и забвению, было бы невозможно. Посетив один такой, вы обнаруживаете, что половина его окружена колючей проволокой, и владелец не желает, чтобы вы шатались по его собственности. Площадь вашего исследования еще более ограничивается. Вдобавок вы узнаете, что многие из имеющихся участков недоступны для транспорта. Теперь вам приходится сосредоточить исследование только на регионах в разумной удаленности от дорог. Таким образом, вам пришлось сосредоточиться на небольшом тестовом участке, прошедшем интересующий вас путь, и вам приходится ограничивать даже его из-за проблемы доступа. Такая ситуация типична и она ограничивает стратегию отбора (sampling strategy).

Другая ситуация уже упоминалась в связи с использованием исследований популяций. Если, например, вы желаете определить пространственную распространенность пользователей кабельного телевидения и узнать, какие программы они смотрят, вы применяете обычный метод исследования, состоящий из набора вопросов о том, какие программы смотрят респонденты. Вопросники рассылаются жителям вашего города (целевая область). Однако вам нужно помнить, что некоторые люди не имеют телевизора, а многие имеющие их не подписываются на кабельные программы. Вы же хотите опросить только тех, кто смотрит кабельные программы (ваша изучаемая совокупность), возможно связавшись с кабельными компаниями с целью получить списки их клиентов, желающих принять участие в опросе. Составив список респондентов, вы посылаете каждому опросный лист с просьбой ответить на вопросы и указанием, как вам его вернуть. Поскольку большинство из нас получали такие анкеты, нам известно, что многие потенциальные респонденты их не возвращают. Очень

вероятно, что в вашем случае произойдет то же самое. Что вам осталось, так это направленная выборка, сосредоточенная только на тех пользователях кабельного телевидения, которые вернули вам анкеты.

Можно привести много других примеров, но каждому из вас придется принимать решения на основе собственной ситуации. Хотя ненаправленный, вероятностный отбор (nondirected, probability-based sampling) в общем случае более предпочтителен, поскольку он устраняет систематическую ошибку, смещение (bias) получаемых оценок, иногда этот подход будет невозможен. Перед тем как начать процедуру отбора, попытайтесь определить, возможен ли сбор данных средствами вероятностной процедуры отбора. Только в том случае, когда это невозможно, вы должны обращаться к направленному отбору.

Если у вас есть возможность использования вероятностного пространственного отбора, каждый объект, выбираемый из базы выборки, предполагается имеющим известную вероятность отбора для исследования. Эта вероятность используется для построения процедуры отбора. Иначе говоря, вы используете известную вероятность для установления метода отбора, который обеспечит всем объектам равную вероятность попадания в выборку.

Методы вероятностного отбора могут быть легко разбиты на четыре общие категории: случайный, систематический, стратифицированный и однородный отбор (random, systematic, stratified, homogeneous sampling) (Рисунок 2.12). Конечно, они могут быть скомбинированы для образования гибридного метода организации выборки, если это нужно, однако сейчас мы рассмотрим только простейшие виды, которые вы сможете модифицировать позже при подходящих условиях. Случайный отбор является самым основным методом. Его целью является обеспечение каждому отдельному точечному, линейному, площадному или поверхностному объекту такой же вероятности отбора, как и соседнему. Если пространственные данные, которые вы отбираете, дискретны, такие как деревья, озера, или люди, то вашей целью является наблюдение за некоторыми из них, выбранными случайно. В таких случаях каждый объект получает уникальный номер, скажем от 1 до 1000. С помощью генератора случайных чисел, имеющегося почти во всех компьютерах и многих карманных калькуляторах, или набора таблиц случайных чисел, достаточно легко выбрать часть из них, опять же случайно. Мы могли бы, например, отобрать 100 из 1000 номеров пространственно распределенных объектов для измерения.

Если же данные являются непрерывными, такими как в случае рельефа, атмосферного давления или температуры почвы, мы случайным образом выберем точки, в которых можно измерить эти величины и перенумеруем их,

выбрав точки для исследования как и прежде. В обоих случаях возможен выбор случайных точек, случайных областей, называемых квадратами (они часто используются для определения количества надземной биомассы трав) или пересечений линиями для использования в отборе объектов изучения.

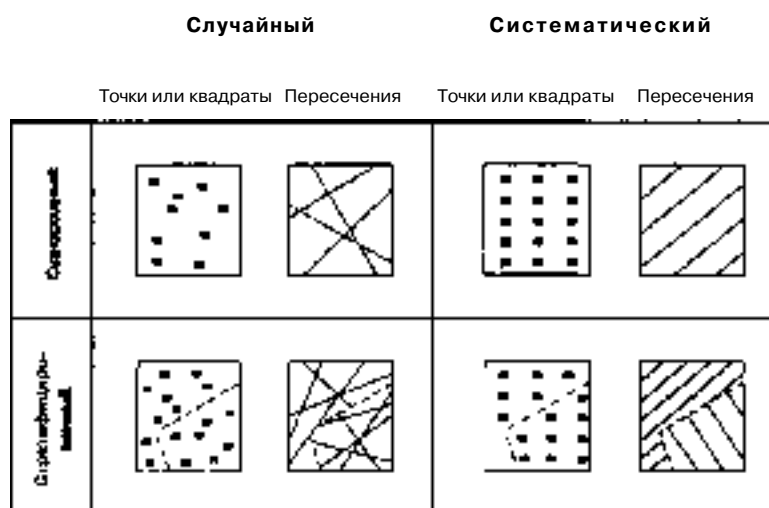


Рисунок 2.12. Методы пространственного отбора. Случайная, систематическая, послойная и однородная схемы отбора.

Систематические схемы действуют почти так же, как и случайные, но сейчас в качестве основы отбора мы используем повторяющийся шаблон вместо случайных чисел. Для точечных данных мы могли бы, например, выбрать каждое десятое дерево, или деревья, расположенные примерно в двадцати метрах друг от друга. Для исследования небольших делянок или квадратов мы выбирали бы их таким же образом - каждый n -ый или через каждые p метров. Аналогично, если мы используем пересечения линий для отбора, популярный метод для исследования растительных ассоциаций, мы могли бы по системе определить, где окажется каждое пересечение, и сделать перепись растительности вдоль каждой такой секущей линии. Или, если мы желаем полностью осмотреть отдельные делянки или квадраты, мы можем опять же выбрать их, используя систематический, повторяющийся шаблон отбора каждого квадрата для исследования.

Стратифицированный пространственный отбор вносит дополнительное измерение выбором малых областей, внутри которых отбираются отдельные ячейки или объекты. Стратифицирование упрощает процесс взятия проб через разделение всей задачи на малые области, которые могут, например, быть исследованы одним человеком или за один день взятия выборок (опробывания). Внутри каждого слоя мы можем решить, какой метод использовать - случайный или систематический. Есть модификация этого метода, в которой мы вначале определяем, сгруппированы объекты исследования, или они рассеяны по всей области исследования. Затем каждая из этих групп может быть выбрана в качестве подобласти исследования, наподобие того, как мы поступали при разбиении на слои всей нашей области исследования. Опять же, мы можем использовать подходы с точками, квадратами или секущими и выбирать систематический или случайный метод опробывания внутри каждой подобласти.

Этот подход имеет определенное преимущество в случаях, когда однородность объектов обусловлена неким процессом. Выбор подобластей для индивидуального изучения может дать нам более детальные сведения об этом процессе, нежели рассмотрение всей области исследования как целого, в случае чего мы подразумеваем, что на всем исследуемом пространстве действующих процессах практически нет вариаций. Однако, этот подход имеет и трудность, состоящую в том, что нам приходится принимать решения о том, какие из областей более представительны для данного процесса, чем другие, что может оказаться ошибочным.

ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫБОРОК

Пространственные данные, полученные в результате пространственного отбора, подвергаются манипуляциям трех типов: характеристики не отобранных местоположений могут быть предсказаны из характеристик отобранных; данные внутри границ региона могут быть агрегированы (так, что им может быть назначен один класс характеристик); данные из одного набора пространственных единиц могут быть преобразованы в другие с иными пространственными очертаниями (configurations) [Muehrcke and Muehrcke, 1991]. Изучая далее геоинформатику, вы обнаружите множество ситуаций, где используется предсказание, поэтому общее понимание проблем предсказания сохранит вам время и усилия в дальнейшем.

Выборочное обследование сокращает время, необходимое на сбор данных о регионе, однако оно оставляет пробелы в нашем знании мест, не вошедших в выборку. С учетом того, что большинство ГИС-программ в значительной степени полагаются на идею областей, нежели точек, мы должны быть способны определить или предсказать недостающие точечные значения. Эта

необходимость обычно возникает, когда мы собираем информацию о поверхностях, используя точечные отсчеты. Чтобы получить представление о том, как выглядит вся поверхность, например поверхность рельефа, мы могли бы выбрать некоторое количество точек для измерения высоты. Когда мы смотрим на топографические карты, как контурные, так и в трехмерном представлении, отсутствующие данные не измеряются, а вместо этого пространственно предсказываются [Muehrcke and Muehrcke, 1992]. В таких случаях существуют два общих типа предсказательных моделей. Интерполяция используется для определения недостающих значений, находящихся в пространстве между известными точками выборки. Предсказание значений за пределами области выборки на основе выявленных внутри нее закономерностей называется экстраполяцией. Интерполяция может быть простой, при предположении, что существует линейная взаимосвязь между известными величинами и неизвестными величинами, заполняющими промежуток. Более сложные методы основываются либо на предположении о нелинейной взаимосвязи между этими величинами, либо на взвешенном расстоянии (weighted distance), когда более близкие точки считаются более значимыми в предсказании недостающих значений, чем более удаленные точки. Модели подбора поверхностей (surface fitting models) включают подстановку полученных в результате наблюдений величин в некоторое подобранное уравнение, решение этого уравнения, и затем нахождение каждого недостающего значения [Muehrcke and Muehrcke, 1992]. Эти модели полезны также и для экстраполяции, поскольку уравнение может быть легко расширено за пределы известных данных. Все эти методы позволяют предсказывать недостающие значения, однако следует помнить, что предсказания – не измерения, и каждое предсказание имеет свой собственный набор проблем и ошибок. Мы рассмотрим эти методы более подробно позднее, при изучении поверхностей.

Возможна ситуация интерполяции или экстраполяции, когда задано некоторое деление на области, и точки выборки лежат не во всех имеющихся областях. Имея их, мы хотим сделать предсказания о точках в других областях, которые не были отобраны,

Допустим, мы определяем плотность деревьев в нескольких малых областях и хотим иметь возможность предсказания плотности в других близлежащих областях. Такая задача обычно требует от нас выполнения трех этапов. Первое, мы подсчитываем средние плотности для каждой области с тем, чтобы исключить влияние на них размера областей. Затем, мы присваиваем каждую величину плотности одной точке внутри каждой из этих областей (обычно некой центральной точке). Тогда, выполнив эти шаги, мы можем вернуться к методам точечной интерполяции для предсказания

средних значений плотности деревьев для каждой пропущенной области.

Еще одно преобразование, которое может относиться к выборкам, должно быть рассмотрено здесь, хотя оно применимо и к полной переписи популяции. Предположим, что вы отбираете дискретные объекты, такие как местоположения животных. Отметив их положения (а в целях простоты мы предположим, что животные особо не двигаются), вы хотите узнать, какую часть территории они обычно занимают. Другими словами, вам нужно узнать их область обитания. Это обычная задача, например, для специалистов, занятых охраной дикой природы, которые используют приборы радиотелеметрии для определения местоположений животных и часто должны иметь дело с теми ГИС, которые плохо приспособлены к работе с точечными данными, но хорошо работают с площадными. Здесь могут быть применены некоторые относительно простые компьютерные методы, а также некоторые статистические подходы, которые мы позже рассмотрим подробнее.

И последнее замечание, касающееся предсказания областей с использованием наложений. Для выполнения таких штучек нам нужна одна вещь, которая упоминалась только вкратце, но будет главной темой следующей главы, а именно - карта. Карта - это основной механизм, которым мы представляем пространство вокруг нас, и в рамках которого ГИС будет работать для его анализа. И в следующей главе мы расширим наш пространственный лексикон и улучшим наш пространственный фильтр, изучая, как мы можем от пространственных данных в общем, концептуальном смысле к пространственным данным в графическом смысле.

Вопросы

1. Почему важно понимать язык географии прежде, чем мы сможем эффективно выполнять географический анализ? Какое влияние оказывает расширенный лексикон пространственных терминов на нашу способность работать с пространственными явлениями и объектами?
2. Каково воздействие масштаба на то, как мы воспринимаем наш мир и как его моделируем? Приведите пример, отличный от того, что дан в тексте, когда изменение масштаба позволяет вам рассматривать объект, имеющий длину и ширину, как точку?
3. Почему так важно вырабатывать лексикон пространственных терминов для ГИС? Какое влияние имеет расширенный пространственный словарь на то, как мы исследуем наше окружение? Как помогает нам язык географии фильтровать данные, получаемые в наших исследованиях?
4. Что такое пространственные представители? Можете ли вы привести некоторые примеры непространственных данных, которым необходимо

присвоить явно пространственные характеристики перед тем, как они смогут быть интегрированы в пространственные рамки ГИС?

5. Что такое дискретные данные? Можете ли вы привести примеры таковых для точечных, линейных, площадных и поверхностных объектов?

6. Что такое непрерывные данные? Приведите примеры таких, особенно по отношению к поверхностным данным.

7. Почему важно понимать шкалы измерения данных при наблюдении и записи атрибутивных характеристик объектов, с которыми мы имеем дело?

8. Приведите конкретные примеры номинальных, порядковых, интервальных данных и данных шкалы отношений для каждого из перечисленных типов объектов: точка, линия, область, поверхность.

9. Зачем нам нужна географическая координатная система и другие системы координат? Что они добавляют к тому, как мы смотрим на наш мир?

10. Какова разница между абсолютным и относительным местоположением? Приведите примеры обоих.

11. К нашему словарному запасу добавились термины ориентация, взаимное расположение, диффузия, распределение, дисперсия и плотность. Как они улучшают наше восприятие нашей земли.

12. Что означает пространственная ассоциация? Как она связана с ГИС?

13. Каково влияние современной технологии на сбор данных? Приведите конкретные примеры.

14. Что добавило дистанционное зондирование к нашему географическому инструментарию и чего не хватает полевым методам сбора данных? Как улучшения в дистанционном зондировании будут влиять на ГИС?

15. Почему мы выбираем направленный отбор вместо вероятностного, если первый считается менее "научным"? Каковы некоторые из условий, вынуждающих нас использовать направленный отбор?

Карта как модель географических данных: язык пространственного мышления



Карта является основным языком географии. Следовательно, она является и основным языком компьютеризированной географии. Эта графическая форма представления пространственных данных состоит из различных координатных систем, проекций, наборов символов, методов упрощения и генерализации. Если вы хорошо знакомы с картами как средством моделирования вашего окружения, вы можете пропустить эту главу, особенно если вы прошли курс использования карт и картографии. Впрочем, и в этом случае может оказаться полезным просмотреть данную главу, чтобы вспомнить картографические методы и все, что они содержат, для корректного анализа и интерпретации. Если же вы не проходили такого курса, или если ваш опыт в картографии минимален, вам следует потратить некоторое время на изучение этого материала. Возможно, вам также пригодятся другие, более подробные книги по картографии или чтению карт в дополнение к кратким описаниям, приведенным здесь. Оценивая степень своего знакомства с картами, помните, что в геоинформатике вам скорее всего встретится гораздо большее разнообразие карт, чем вы могли ожидать исходя из курсов геологии, топографии или почвоведения. Вдобавок к геологическим, топографическим, кадастровым и почвенным картам, используемым в этих дисциплинах, тематическое наполнение покрытий ГИС включает карты растительности, транспорта, распределения животных, коммунальных служб, планы городов, зональные карты, карты землепользования, ландшафтов и снимки дистанционного зондирования. Эти карты могут иметь как вполне привычный вид, так и такие нетрадиционные формы как блок-диаграммы, карты хороплет, карты плотности точек, дасиметрические карты, объемные карты, картодиаграммы, и множество других типов. Если некоторые из этих терминов вам не знакомы, прочтите эту главу, чтобы получить общее представление об этих многочисленных возможностях.

Помните, наше исследование земли посредством ГИС основывается на нашей способности мыслить пространственно. Пространственное мышление требует от нас умения выбирать, наблюдать, измерять, записывать и характеризовать то, что нам встречается. Но реальная ценность объектов в картографической форме представления зависит от решаемых задач, оттого, пытаемся ли мы лишь изобразить карту или анализировать ее в ГИС, сборщики данных мы или пользователи, получены наши данные наземными методами или с помощью дистанционного зондирования, будут ли использоваться архивные карты прежних наблюдений в нашем анализе, и многих других факторов.

Чем больше мы знаем о возможных сочетаниях графических элементов и о том, как с ними обходятся на картографических документах, тем яснее наш географический язык. И, как вы видели, чем шире наш пространственный лексикон, тем более эффективные решения о пространственных феноменах и их распределениях в пространстве мы можем принимать.

Более развитый уровень понимания графических приемов пригодится нам во всех четырех подсистемах ГИС. При вводе существующих карт в геоинформационную систему мы будем знать о влиянии различных уровней генерализации, масштабов, проекций, символизации и т.п. на то, что вводится, и как это вводится. Внутри ГИС мы сможем выявить проблемы, требующие редактирования: например, наличие двух смежных вводимых карт, выполненных в разных проекциях, или слишком большие размеры символов, которые приходится размещать в неправильных местоположениях или в неправильной последовательности. К началу анализа данных мы будем знать о возможности ошибок в некоторых покрытиях, созданных из мелкомасштабных карт. В конце концов, при выводе, мы будем лучше чувствовать, как наилучшим образом представить результаты анализа, поскольку мы будем знакомы с картографическим методом и его критериями дизайна.

В нашем путешествии по пространственной информации мы продолжим изучение способов анализа и представления пространственных феноменов. В Главе 2 мы узнали о том, как выделить пространственные феномены в виде геометрически определенных точек, линий, областей и поверхностей. Мы рассмотрели шкалы измерения данных, в рамках которых могут выражаться характеристики объектов. Далее, мы рассмотрели, как могут формулироваться вопросы о пространственных отношениях объектов, и как эти отношения, прямо или косвенно, могут быть собраны и измерены. Теперь мы узнаем, как пространственные объекты и их отношения могут изображаться в форме, которая позволяет нам лучше видеть эти отношения, и как мы сможем подойти к различным методам анализа.

КАРТА КАК МОДЕЛЬ: ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕАЛЬНОСТИ

Карта является моделью пространственных явлений, абстракцией. Она НЕ является миниатюрной версией реальности, предназначенной показать все детали изучаемой области. Хотя это может звучать довольно очевидным, но мы все иногда игнорируем или забываем этот простой факт. Даже наиболее опытные в общении с картами люди иногда чертыхаются, глядя на карты дорог, которые не показывают мелкие повороты дороги, постоянно надоедающие при езде по ней. Мы достаточно хорошо знаем карты, чтобы признавать, что эти повороты невозможно нарисовать на таком маленьком куске бумаги, и все же забываем об этом. Есть пределы тому, что мы можем изображать на картах. Хотя мы не предполагаем, что пластиковый пилот модели самолета сможет пострелять из пулемета или взлететь со стола, иногда мы считаем, что карта должна быть совершенным отображением действительности. И если мы не ожидаем, что куклы, изображающие людей, будут иметь прыщи, бородавки и волосы на лице (хотя они и становятся все более похожими), то надеемся почему-то обнаружить наш поселок из 18 человек на карте страны, изображенной на листе бумаги формата А3.

Главной причиной нашей переоценки возможностей карт в отображении реальности является то, что они - среди наиболее удачных графических инструментов, созданных для передачи пространственной информации. Карты существуют тысячи лет, и все мы больше или меньше привыкли их видеть. Такая привычность, вместе с компактностью карт и их привлекательным внешним видом, - все это приводит к ощущению непогрешимости, которому трудно не доверять. И это еще одна причина, чтобы мы разобрались в языке карт, уровне представления, способах символизации и методах производства, которые создают карту как продукт.

Карты бывают разных видов и на разные темы. Два основных типа - это карты общегеографические (general reference) и тематические (thematic). Наиболее часто в ГИС нам придется иметь дело с тематическими картами, хотя общегеографические и топографические карты тоже используются для ввода в ГИС, главным образом для того, чтобы обеспечить общегеографическую основу для сложных тематических карт. Хотя по большей части наше обсуждение будет ограничено тематическими картами, многое из представленного в этой главе может быть легко применено и к общегеографическим картам.

ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАДИГМЫ В КАРТОГРАФИИ

Продолжая двигаться к компьютерному картографическому и геоинформационному окружению, мы должны знать, что взгляд людей на карты существенно изменился за последние десятилетия. Эти изменения

внесли некоторый вклад в широкое применение ГИС, связанный с тем, как мы обращаемся с пространственными данными, которые мы вводим в эти системы. Традиционный подход к картам, парадигма сообщения (communication paradigm), подразумевал, что сама карта является конечным продуктом, призванным сообщать о пространственных распределениях через использование символов, классификации и т.д. Это - традиционный взгляд на картографию, но он ограничен, поскольку пользователю карты не доступна через карту исходная, не классифицированная информация. Другими словами, пользователь, имея только конечный продукт, не может перегруппировать данные для получения большей отдачи при изменившихся обстоятельствах или потребностях.

Альтернативный подход к картографии, который поддерживает хранение исходных данных для обеспечения возможности последующей переклассификации, выработался примерно тогда же, когда изготовители карт начали использовать достижения компьютерной техники. При этом подходе, называемом аналитической парадигмой (analytical paradigm) [Tobler, 1959], исходные атрибутивные данные сохраняются на компьютерных носителях и отображаются исходя из нужд пользователя и с использованием пользовательских классификаций. Ранний предшественник компьютерной картографии и самих ГИС, этот метод сегодня стал гораздо более гибким в своем применении, чем свой предшественник. Импульсом к его развитию служит идея, что карта, особенно с применением компьютерной техники, должна позволять как сообщать информацию, так и анализировать ее.

Аналитическая парадигма зародилась при работе с картами площадных объектов, где каждой области сопоставлены свой уникальный цвет и штриховка, соответствующие значениям представляемого ими признака. Такие карты имели недостаток - трудность интерпретации пользователем. В этом отношении они аналогичны недешифрованным космическим снимкам. Однако, с использованием компьютера в качестве устройства хранения и классификации данных, пользователь приобрел возможность получать несколько классификаций данных, каждая из которых может быть тут же увидена.

Пример разноцелевых исследований одной области может оказаться полезным для понимания различных картографических парадигм. Предположим, вы создаете карту национального парка. Первое задание - разработать карту, которая поможет туристам наслаждаться развлечениями и видами, предлагаемыми парком. Вы создаете карту, выделяя озеро, лодочную станцию, кемпинг, летние домики, спасательную станцию, гейзеры, другие природные явления, пешеходные тропы, места для рыбалки, закрытые для посещения участки, харчевни и т.д., показывая дороги, ведущие к каждому объекту (Рисунок 3.1a). Объекты могут быть также

классифицированы для показа, например, качества дорог, видов лодок, используемых на лодочных станциях, и наличия электроснабжения, водопровода и канализации, имеющих в местах разбивки лагеря. Главная цель создания такой карты - показать пространственное распределение интересующих феноменов таким способом, который дает понять, как до каждого можно добраться. Это пример реализации парадигмы сообщения.

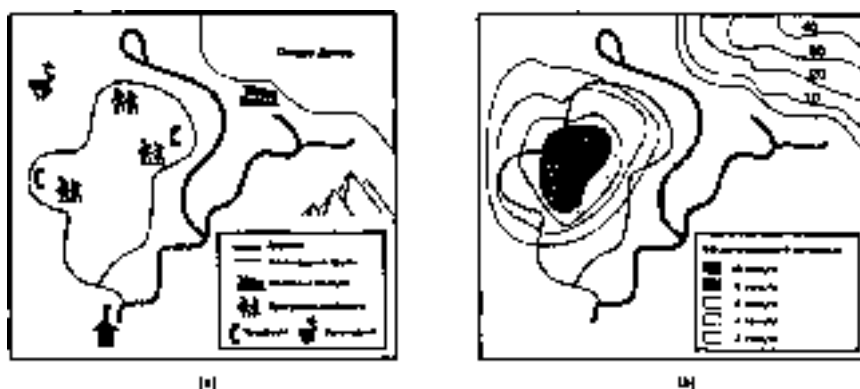


Рисунок 3.1. Изменение картографической парадигмы. Две карты одной области, государственного парка, показывающие использование парадигмы сообщения для отображения пространственных связей (а) и применения аналитической парадигмы для того же региона (б).

Однако, зрителям парка требуется информация для управления объектами и ресурсами, за которые они ответственны. Им может быть нужна такая количественная информация, как средний размер деревьев на лесистых участках или объем сгораемого материала в лесах, численность редких или охраняемых видов в закрытых областях, размеры и распределения по площади свободных от леса участков, необходимых для пастбищных животных. Имея эти данные, посетители парка могут определить, например, как изменяется популяция оленей, можно ли обрезать некоторые деревья для уменьшения угрозы пожара, или где нужно проредить старые деревья для облегчения роста молодых. Многие из таких ситуаций потребуют дополнительной атрибутивной информации об отмеченных видах, больных деревьях или годовых различиях состава видов животных и растений.

Постепенно количество информации, особенно атрибутивной, становится таким большим, что одна карта не может вместить всё необходимое посетителям парка для планирования их мероприятий. Прежде всего, данные должны быть детальными для каждого места. Если, например,

существуют 200 различных типов растительных скоплений, данные должны быть записаны для каждого, но отображение всех этих областей на одной карте сделает информацию трудновоспринимаемой визуально; более того, пришлось бы создавать многие карты для каждого показателя в каждой области. Главной функцией этих картографических представлений является анализ, а не просто просмотр пространственных распределений (Рисунок 3Ль), и поэтому парадигма сообщения в данном случае неадекватна, она должна быть дополнена возможностями, которые имеются в аналитической парадигме геоинформатики.

МАСШТАБ КАРТЫ

Независимо от того, какую парадигму мы выбираем, когда мы рассматриваем воплощение нашего пространственного представления в виде карты, мы всегда должны помнить, что карты - это упрощение действительности. Хотя кажется привлекательным представить себе карту, которая покрывает нашу область исследования во всех наблюдаемых подробностях, такой подход потребовал бы от нас пройти пешком по всем закоулкам нашей планеты. Главная цель любой тематической карты - показать важные сведения для большого региона без отвлечения внимания на неуместные или избыточные подробности. Степень упрощения определяется, главным образом, уровнем детализации, который нам требуется для исследования нашей области. Если мы рассматриваем очень маленькую область, такую как одно поле (скажем, 20 га), не требуется упрощать реальность в такой же степени, как и для области в 1000 кв.км.

Масштаб (scale) (Рисунок 3.2) — термин, часто используемый для обозначения степени уменьшения на картах. Наиболее легко он может быть выражен как отношение длины некоторого отрезка на карте к длине того же отрезка на земле. Например, легенда карты может сообщать, что одному сантиметру на карте соответствуют 500 м на земле. Масштаб, выраженный словами "в одном сантиметре 500 метров" называется вербальным масштабом (verbal scale). Этот распространенный способ выражения масштаба имеет преимущество легкого понимания большинством пользователей карт. Другим распространенным представлением является численный масштаб (representational fraction (RF)), когда расстояние на карте и расстояние на земле даются в одних единицах измерения, как дробь, устраняя тем самым необходимость упоминать единицы измерения. Численный масштаб обычно предпочитаем опытными пользователями карт, поскольку он устраняет путаницу с единицами измерения. Специалисту по ГИС особо следует помнить о необходимости устанавливать, какой из этих двух способов выражения масштаба используется. Многие из вас несомненно порадуются,

услышав от сотрудника местного органа власти или другой правительственной организации, предлагающей карты (или аэрофотоснимки) масштаба "один к шестистам". Вы предполагаете увидеть карты численного масштаба 1:600 — очень детальные. Однако, вы услышали сокращенный вариант вербального масштаба, и ваш собеседник имел ввиду карты с вербальным масштабом "в 1 дюйме 600 футов", что на самом деле соответствует численному масштабу 1:7200.

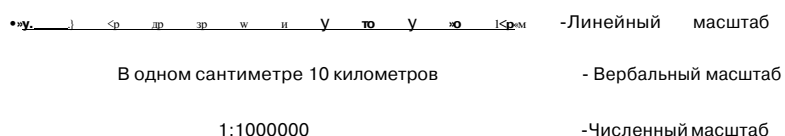


Рисунок 3.2. Способы выражения масштаба карты. Три наиболее распространенных способа выражения масштаба: вербальный, линейный и численный.

Линейный масштаб (graphic scale), также показанный на Рисунке 3.2 - еще один из основных методов выражения масштаба; здесь действительные расстояния на земле показываются прямо на карте. На карте могут быть показаны и реальные площади, но это встречается гораздо реже. Манипуляции с картами в ГИС с большой вероятностью влекут за собой многие изменения масштаба выходных документов, в зависимости от требований пользователя. Во время ввода карты на нее может быть помещена масштабная линейка, и при изменении масштаба на выходе будет изменяться и сама линейка.

Начав работать с ГИС, вы обнаружите, что большинство программ очень легко выполняют изменения масштаба. И конечно, масштаб входных данных может отличаться от масштаба отображения результатов. Способность программного обеспечения как угодно преобразовывать масштаб карты может привести к чрезмерному доверию к карте, что может в дальнейшем вызвать некоторые проблемы. Как вы увидите в Главе 5, достоверность результатов анализа существенно зависит от качества данных, вводимых в систему. Эта надежность, в свою очередь, зависит в большой степени от масштаба вводимых карт. Помните, что на мелкомасштабной карте, скажем, 1:100000, линия толщиной 1 мм покрывает на земле 100000 мм, то есть 100 м. А это примерно длина футбольного поля. Когда при последующем выводе масштаб в ГИС изменится, скажем до 1:1000, будет также нарисована линия толщиной в 1 мм, создавая впечатление, что она с хорошей точностью представляет реальность. На самом деле, ее положение далеко не так точно.

Может быть полезным и другой пример, иллюстрирующий воздействие масштаба на анализ. Некто, не очень осведомленный в картах, дает вам карту

сорока восьми смежных штатов США (без Аляски и Гавайев), изображенную на листе бумаги размером с трехдюймовую дискету. Этому человеку нужно увеличить карту до гораздо большего размера, скажем до квадратного метра, для того, чтобы можно было измерить площадь каждого штата и использовать эти данные для определения плотности населения в каждом штате. Будет ли увеличение производиться при ксерокопировании, или через введение в ГИС для вычисления площади, результат будет одним. Результаты от деления количества жителей каждого штата на соответствующую площадь, полученную с очень большой погрешностью, скорее всего будут бесполезны (Рисунок 3.3). Отсюда следует простое практическое правило: всегда лучше уменьшать карту после анализа, чем увеличивать ее для анализа. Оно применимо в равной степени и к компьютерным системам и к ручным методам.

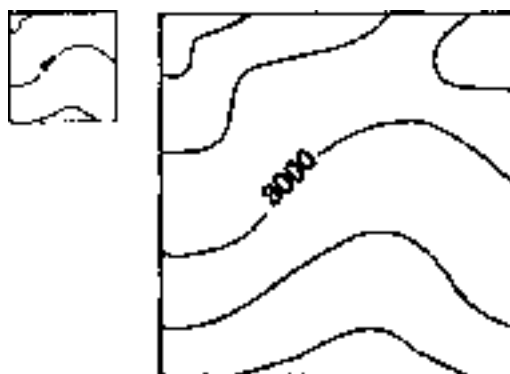


Рисунок 3.3. Влияние масштаба на точность. Участок карты очень мелкого масштаба, увеличенный до большого масштаба. Линии стали толще и демонстрируют высокую степень генерализации; площади не точны; измерения и анализ практически невозможны.

ДРУГИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАРТ

Карты, как изображения мира, который мы ими моделируем, показывают как положения объектов в пространстве и их форму, так и качественные и количественные их характеристики. Эти взаимосвязанные геометрические объекты и атрибуты (entities and attributes) необходимы для картографического документа. Но независимо от того, какие объекты реального мира представляются этими точками, линиями, площадями или поверхностями, они не могут выступать в качестве миниатюризации действительности из-за

ограничений масштаба. Вместо этого мы должны хранить их в памяти компьютера, а затем, при отображении, использовать какой-либо набор символов для их представления. Символы, в свою очередь, должны иметь ключ к их пониманию, называемый легендой карты (map legend). Легенда фактически соединяет геометрические объекты с их атрибутами, после чего каждый из них может быть воспринят в качестве представления реального объекта с его количественными характеристиками. Таким образом читатель карты может представить себе, что же в действительности наблюдалось при сборе исходных данных различными методами, о которых мы уже говорили.

Как вы помните из Главы 2, характеристики объектов могут выражаться с использованием различных шкал измерения. С каждым различным типом пространственных данных и каждой шкалой измерения данных связывается определенный набор символов. Мы рассмотрим различные типы пространственных данных и возможности их изображения на карте, виды символов, которые могут их представлять, и то, как картографическое представление ограничивает возможности их использования для ввода в геоинформационную систему.

КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ

Хотя при рассмотрении с близкого расстояния Земля выглядит относительно плоской, мы все знаем, что она имеет приблизительно сферическую форму. Карты, как мы видели, - сокращение реальности, они придуманы для того, чтобы представлять не только объекты на ее поверхности, но и форму Земли. Глобус - традиционный способ отображения формы Земли. Хотя глобусы в целом передают форму Земли и показывают пространственные очертания объектов размером с континент, их довольно трудно носить в кармане, даже при очень мелком масштабе (даже при 1:100'000'000). Большинство тематических карт, с которыми нам приходится сталкиваться на практике, в географическом анализе, имеют значительно более крупный масштаб, где-то от 1:100'000 до 1:1000, в зависимости от уровня детализации. Глобус такого размера было бы трудно и дорого делать и еще более трудно переносить или разворачивать на столе дигитайзера (digitizing table) для ввода в ГИС. Поэтому картографы разработали набор методов, называемых **картографическими проекциями** (map projections), которые предназначены для изображения с приемлемой точностью сферической Земли на плоском носителе. В буквальном смысле, процесс создания проекции представляется как помещение источника света внутри прозрачного глобуса, на котором размещаются непрозрачные земные объекты, и проецирование их контуров на двухмерную поверхность, окружающую глобус.

Возможны разные виды проецирования при окружении глобуса цилиндром, конусом и даже помещении возле него плоского листа бумаги. Каждый из этих методов, как первоначально представлялось, создает так называемое семейство проекций (projection family). Поэтому существуют семейство планарных (planar) проекций, семейство цилиндрических (cylindrical) проекций и семейство конических (conical) проекций (Рисунок 3.4). Существует еще четвертое семейство проекций, называемых азимутальными (azimuthal), они основаны на идее проецирования параллельными лучами света на плоский материал; мы их рассмотрим чуть позже. Сегодня процесс проецирования сферической поверхности на плоский носитель выполняется с использованием методов геометрии и тригонометрии, которые воспроизводят физический процесс проецирования света через глобус.

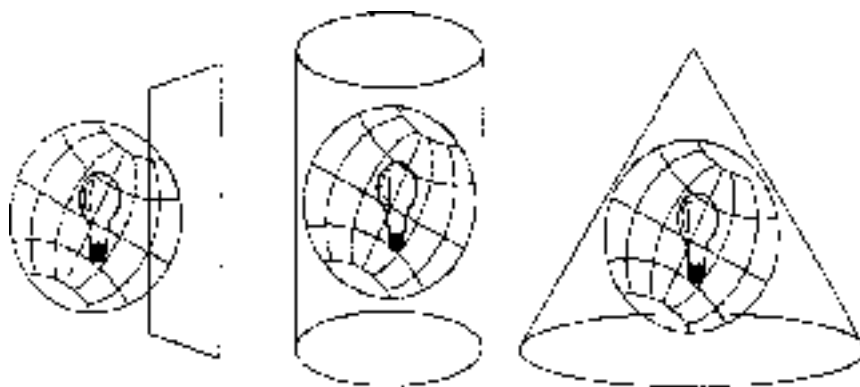


Рисунок 3.4. Три семейства картографических проекций. Они могут создаваться с использованием: а) плоских поверхностей, б) цилиндров, в) конусов.

Картографы разработали и другие проекции для лучшего представления Земли на плоском материале. К сожалению, многие из тех в географическом сообществе, кто не является картографом, по большей части пренебрегали этим важным аспектом представления пространства. Причины этому кроются в истории и философии географии. Но с распространением спутникового дистанционного зондирования и географических информационных систем этим вопросом нельзя пренебрегать и дальше. Он тем более значим сегодня, поскольку существует потребность в минимизации искажающих эффектов проекций при представлении пространственных феноменов, плюс широкий спектр картографической информации, с которой географу каждый день приходится иметь дело за компьютером. Эти вопросы оказывают воздействие

на все подсистемы ГИС и должны быть хорошо поняты, дабы ограничить их негативное влияние.

Проекция - не абсолютно точные представления географического пространства. Каждая создает свой набор типов и величин искажений на карте. Важные характеристики карт, которые должны сохраняться для точных аналитических операций, часто определяют выбор той или иной проекции. Эти характеристики включают углы (или формы), расстояния, направления, площади объектов. При выполнении проекции невозможно сохранить все эти характеристики одновременно. Мы рассмотрим каждую из них в отдельности, но сначала нам нужно установить некоторую полезную терминологию, помогающую нам понимать изменения характеристик в процессе проецирования.

Упрощенно, процесс проецирования представляется двумя этапами: вначале преобразуют земной шар в промежуточный глобус (reference globe) в зависимости от выбранного масштаба; затем этот глобус проецируется на плоскую поверхность [Robinson et al, 1995]. Численный масштаб первого преобразования называется главным, или общим, масштабом (principal scale), он равен отношению радиуса промежуточного глобуса к радиусу земного шара. Таким образом мы имеем численный масштаб, постоянный по всей поверхности этого глобуса, поскольку его форма повторяет форму земного шара.

Перед тем, как сделать второй шаг, отметим, что масштабный коэффициент (scale factor), называемый также относительным масштабом, определяемый как частное деления местного масштаба (actual scale) на общий масштаб, по определению равен единице по всей поверхности промежуточного глобуса. Когда же мы переходим от его сферической поверхности к двумерной карте, относительный масштаб обязательно изменится, поскольку плоская и сферическая поверхности не совместимы. Следовательно, масштабный коэффициент будет разным в разных точках карты [Robinson et al., 1995]. Нам нужно постоянно помнить об изменяющемся масштабном коэффициенте, когда мы рассматриваем различные виды искажений, возникающих при проецировании.

На поверхности глобуса направления сторон света всегда отстоят от соседних на 90°. То есть, например, между севером и востоком всегда прямой угол. Это соотношение углов может сохраняться и на картографической проекции. Проекция, сохраняющая это свойство углового соответствия (angular conformity), называется конформными, или равноугольными (conformal, orthomorphic), картографическими проекциями. Конформные проекции позволяют нам математически организовать сжатия и растяжения на карте так, чтобы масштабный коэффициент не зависел от направления в каждой ее точке. При этом масштабный коэффициент не будет равен

единице в каждой точке карты, а параллели и меридианы в полученной карте всегда будут проходить под прямыми углами друг к другу, как они и были на глобусе, однако площади объектов будут искажены [Robinson et al., 1995]. Запомните, что сохранение углов труднодостижимо для больших участков земной поверхности и этого разумно добиваться лишь для малых участков.

Конформные проекции искажают площади, что делает измерения площадей на карте некорректными. Но мы можем сохранить площади, используя **равновеликие, или равноплощадные, проекции** (equal area or equivalent projections), в которых произведение масштабных коэффициентов по главным направлениям горизонта равно единице [Robinson et al., 1995]. Это условие гарантирует, что если вы, например, считаете площади квадратных объектов на карте, то произведение их двух сторон даст тот же результат, что и при подсчете на промежуточном глобусе. Это обусловлено тем, что произведение масштабных коэффициентов по этим двум направлениям равно единице. Однако, при достижении этой идентичности мы обнаруживаем, что масштабный коэффициент будет разным по разным направлениям для всех точек карты, кроме точек, лежащих на особых линиях проекции. Другими словами, сохраняя площади, мы искажаем углы. Такого фундаментального соотношения этих двух параметров для проецированных карт - нельзя одновременно сохранять и площади и углы.

Если целью проецирования карты является измерение расстояний, то нам следует выбрать проекцию, сохраняющую расстояния. Такие проекции, называемые **равнопромежуточными, или эквидистантными** (equidistant projections), требуют сохранения масштаба карты постоянным; он должен быть таким же, как и главный масштаб промежуточного глобуса [Robinson et al., 1995]. Существуют два способа добиться этого. Первый сохраняет масштабный коэффициент равным единице вдоль одной или более параллельных линий, называемых **стандартными параллелями** (standard parallels). Расстояния, измеренные вдоль этих линий, будут соответствовать реальным. Другой подход заключается в сохранении единичного масштабного коэффициента вдоль всех направлений **из** одной точки, либо из двух. Расстояния, измеренные от таких точек по любому направлению, будут точно представлять реальные. Но для любых других точек это не будет соблюдаться. Как вы понимаете, здесь очень важен выбор таких точек. Обычно выбирается та точка, от которой производится большинство измерений.

Когда карты используются для навигации, наибольший интерес представляет сохранение направлений. Сохранение истинных направлений ограничено сохранением дуг окружностей больших кругов, которые определяют кратчайшее расстояние между двумя точками на поверхности Земли. Обычно нашей целью является отображение маршрутов этих больших

кругов как прямых линий. Есть два основных способа сделать это. Первый используется для малых областей, в которых большие круги отображаются практически прямыми линиями между всеми точками области. Однако, если вы пересекаете с ними меридиан, то угол пересечения будет неправильным. Как ограниченная площадь, так и неточность углов пересечения меридианов и больших кругов, существенно ограничивают использование этой проекции для данных целей. Альтернативный вариант, называемый азимутальной проекцией, более широко используется для сохранения направлений. Как и в случае эквидистантной проекции мы выбираем одну или две точки, из которых будут сохраняться направления. В этом случае прямые линии, проведенные из этих точек, будут соответствовать истинным направлениям. Опять же, направления из любых других точек не будут соответствовать реальности.

Позднее мы обсудим проблему смешивания разных проекций внутри одной геоинформационной системы, особенно при вводе, но пока нам нужны некоторые практические правила для определения того, какие из множества картографических проекций нам подошли бы в зависимости от видов выполняемого анализа. Если анализ требует отслеживания движения или изменения направлений движения объектов, например, при использовании телеметрии для регистрации положений каждого члена стада северных оленей в разное время, то наиболее подходящей будет конформная проекция. Этот вид проекций также больше всего подходит для производства навигационных карт и когда важна угловая ориентация, как часто бывает с метеорологическими или топографическими данными. Эта группа проекций включает проекции **Меркатора, поперечную Меркатора, коническую конформную Ламберта и конформную стереографическую.**

Общегеографические и учебные карты чаще всего требуют использования равновеликих проекций, но наш интерес — анализ. Как говорит название, такие карты больше всего подходят, когда среди вычислений преобладают вычисления площади. Например, если вы заняты расчетом изменения соотношений разных видов растительного покрытия земли со временем, или если вы исследуете некоторую местность на предмет достаточной площади для размещения торгового комплекса, то равновеликие проекции подойдут лучше других.

Рассматривая использование равновеликих проекций, вам необходимо учитывать размер интересующей территории, а также величину и распределение угловых искажений. Небольшие участки отображаются с гораздо меньшими угловыми искажениями при использовании равновеликих проекций, что может быть полезно, когда важны и площади и формы. С другой стороны, чем больше площадь изучаемой территории, тем более точны ее измерения при использовании равновеликой проекции, по сравнению с

проекциями других типов. Для среднемасштабных карт наиболее часто встречаются равновеликая проекция Альберта и равновеликая проекция Ламберта.

Проекты, в которых требуется определение кратчайших маршрутов, особенно на длинные дистанции, нуждаются в азимутальных проекциях, поскольку в них возможно изображение больших кругов как прямых линий. Эти проекции чаще всего используются на картах воздушного сообщения, радиопеленгации, слежения за спутниками и картографирования других небесных тел [Robinson et al., 1995]. Эти проекции стали популярны лишь недавно, но их использование будет расти с расширением использования ГИС в этих областях. Наиболее часто вам будут встречаться такие азимутальные проекции как **равновеликая Ламберта, стереографическая, азимутальная эквидистантная, ортографическая и гномоническая** проекции. Отметим, что некоторые из них сохраняют как направления, так и площади. Это свойство может оказаться полезным для анализа крупных атмосферных явлений, таких как дымовые следы вулкана, которым свойственно двигаться по маршруту большого круга по мере рассеивания в атмосфере и движения по общим правилам циркуляции на Земле.

Есть много проекций для выбора — гораздо больше, чем перечислено здесь. Некоторые специальные проекции особенно подходят для отображения всей Земли или очень больших ее участков. Другие позволяют лучше координировать крупные картографические программы, такие как создание топографических карт целого континента, которое выполняется небольшими порциями. Список велик. Как вы увидите позднее, выбор проекции — один из основных процессов создания ГИС. Вам следует потратить время на выбор хорошего справочника по картографическим проекциям, с особым вниманием к тому, какие параметры каждая из них сохраняет. С нашей точки зрения могут оказаться полезными две книги: [Nyerges and Jankowski, 1989] и хорошо известный справочник [Snyder, 1988; есть более современное издание].

СИСТЕМЫ КООРДИНАТ ДЛЯ КАРТОГРАФИИ

Система координат необходима для определения расстояний и направлений на земле. Географическая система координат, использующая широту и долготу, хороша для определения положений объектов, расположенных на сферической поверхности Земли или промежуточном глобусе (reference globe). Поскольку чаще всего мы будем иметь дело с двухмерными картами, спроецированными с этого глобуса, нам потребуется одна или несколько систем координат, соответствующих различным проекциям. Такие системы координат на плоскости называются

картографическими (геодезическими) прямоугольными системами координат, они позволяют нам точно указывать положение объектов на плоских картах.

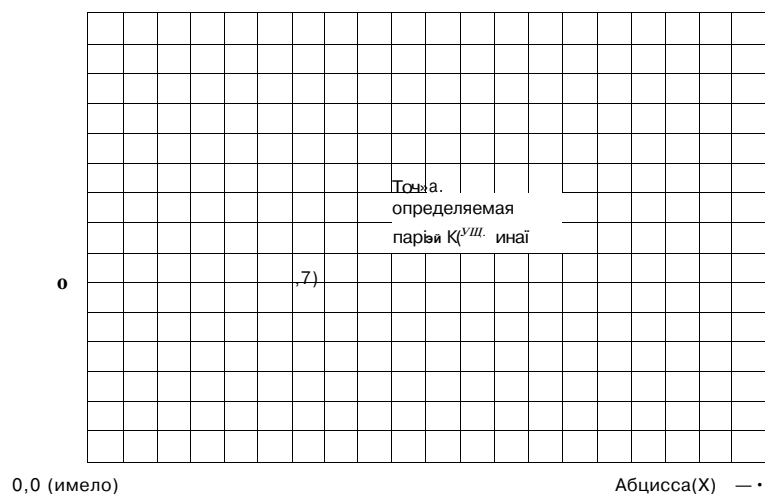


Рисунок 3.5. Декартова система координат. Классическая система прямоугольных координат. Каждая точка определяется парой величин — координатой X (абсциссой) и координатой Y (ординатой).

Основная система прямоугольных координат знакома вам по работе с графиками и числовыми осями. Она состоит из двух линий - абсциссы и ординаты. Абсцисса - горизонтальная линия, содержащая равномерно распределенные числа начиная с 0, называемого началом координат, и продолжающаяся так далеко в двух направлениях, насколько это нам нужно для измерения расстояний (Рисунок 3.5). Величины называются X-координатами, они положительны справа от 0 и отрицательны слева. Вторая линия, ордината, обеспечивает нам движение по вертикали от той же начальной точки в положительном или отрицательном направлении. Вместе они позволяют нам определять местоположение любой точки или объекта указанием величин X и Y. Как вы увидите позднее, дигитайзеры (digitizers), устройства, используемые для ввода координат в ГИС, основаны на той же простой декартовой системе координат (Cartesian coordinate system).

По традиции, первой называют координату X, второй - Y. Когда карта ориентирована севером вверх, как обычно, X-координата называется отсчетом на восток (easting), поскольку он соответствует расстоянию от

начальной точки в восточном направлении. Аналогично, Y-координата называется отсчетом на север (northing), поскольку он соответствует расстоянию на север от начальной точки*. Как вы можете заметить, нет западного или южного указаний. Вместо этого начальную точку размещают на карте так, чтобы все значения были положительны, или, иначе говоря, чтобы все точки оказались в северо-восточном квадранте системы координат. Это позволяет нам читать координаты сначала вправо, затем вверх от начальной точки. В некоторых случаях размер территории может потребовать от нас введения смещенных (ненулевых) начал координат (false origins), чтобы обеспечить для каждого участка земли достаточно точное представление на плоской поверхности.

Как указывалось, численные значения плоских координат обычно не используются в анализе мелкомасштабных карт из-за сложного характера искажений. Для таких карт требуется компенсация искажений, созданных при проецировании.

Несмотря на большое количество имеющихся проекций, подавляющее большинство систем координат на плоскости пытаются достичь равноугольности использованием только равноугольных картографических проекций, обычно поперечной Меркатора, полярной стереографической и равноугольной конической Ламберта. Хотя, так бывает не всегда. Например, если область вашего интереса находится вблизи экватора, более полезной может оказаться проекция Меркатора [Robinson et al., 1995].

В США используются пять основных координатных систем, одни из которых основаны на свойствах картографических проекций, другие - на исторических методах деления земли. Если вы работаете с картами других стран, вам нужно установить, каковы проекции, набор координат и другие характеристики координатных систем в этих странах. Во многих странах используются те или другие из перечисленных ниже типов, но перед вводом в ГИС от вас потребуется знакомство с их положениями начал координат и территориями, на которых они используются.

Пожалуй, наиболее широко распространенной в ГИС системой проекций и координат является универсальная поперечная Меркатора (universal transverse Mercator (UTM)) (Рисунок 3.6). Она используется в большинстве работ с дистанционным зондированием, подготовке топографических карт, построении баз данных природных ресурсов, так как она обеспечивает точные измерения в метрической системе, принятой в большинстве стран и научным сообществом в целом. В ней основной единицей измерения длины является метр**.

* Как уже упоминалось, в России распространена система координат 1942 г. для проекции Гаусса-Крюгера, в которой ось X указывает на север, а ось Y - на восток.

** Это замечание актуально прежде всего для США, где до сих пор преобладают старые английские меры (дюймы, футы, ярды, мили и т.д.), причем эти меры по разному соотносятся

иТМ делит земную поверхность на 60 пронумерованных вертикальных зон шириной по шесть градусов долготы, каждая из которых проходит от 80-го градуса южной широты до 84-го градуса северной широты. Чтобы все координаты были положительными, в иТМ есть два начала ординат: одно - на экваторе (для северного полушария), другое - на 80-й параллели южной широты (используется для южного полушария). Эти зоны пронумерованы начиная от 180-градусного меридиана в восточном направлении. Земная поверхность делится также на ряды по 8 градусов широты каждый, за исключением самого северного, который составляет 12 градусов, позволяя тем самым покрыть всю сушу северного полушария.

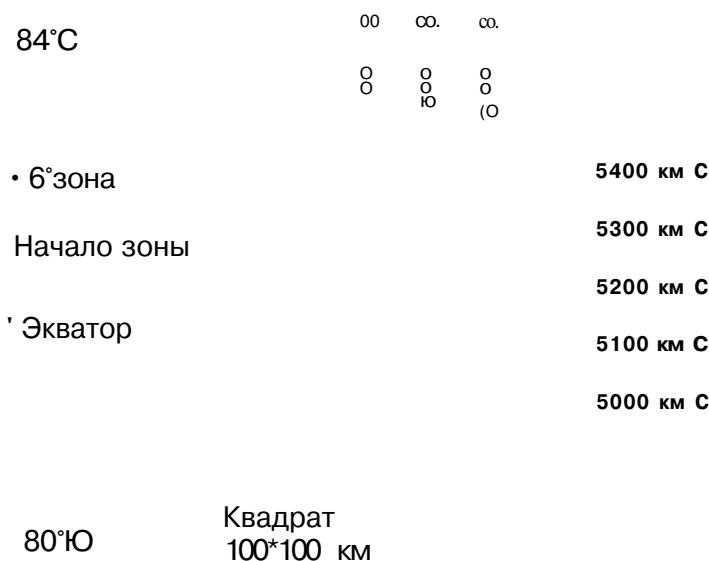


Рисунок 3.6. Универсальная поперечная координатная система Меркатора (1ЛГМ).

с метром в зависимости от области применения (различаются, например, мили: морская и сухопутная, футы: простой, американский геодезический, модифицированный американский, Кларка, индийский, и т.д.). — прим. перев.

Каждая секция, образованная пересечением зоны и ряда, обозначается комбинацией числа и буквы (как и раньше, читаем вправо-вверх), поэтому мы можем выделить довольно малые участки земного шара. За исключением самого северного ряда, каждая из таких секций имеет сторону около 100 км, поэтому, для измерений с точностью до одного метра достаточно использовать отсчеты на север и восток из пяти десятичных знаков.

Как следует из названия, UTM использует поперечную проекцию Меркатора. Для каждой из 60-ти зон по долготе применяется отдельная реализация проекции с целью уменьшения искажений. Начало координат помещается в центре каждой зоны, на пересечении центрального меридиана зоны с экватором, причем нулевое значение по абсциссе смещено от него на 3 градуса к западу. Масштабный коэффициент 0.99960 не изменяется в направлении юг-север. Однако, он меняется в направлении запад-восток, но даже на самом краю шестиградусной зоны он практически тот же -1.00158. Эта почти полная эквивалентность иллюстрирует малость искажений, свойственную UTM, которая обеспечивает точности, приближающиеся к одному метру отклонения на каждые 2500 м расстояния [Robinson et al, 1995].

Для полярных регионов, лежащих за пределами территории, покрытой координатной системой UTM, но с такой же точностью, используется универсальная полярная стереографическая (**universal polar Stereographic (UPS)**) проекция. Эта система делит полярные регионы на концентрические зоны, затем режет каждую на две половины по меридианам 0 и 180 градусов. Эти половины зон по-разному обозначаются для северного и южного полушарий. В северном полушарии западная половина обозначается как зона Y, восточная — как зона Z. В южном полушарии западная половина обозначается как зона A, восточная — B. Как и в случае с UTM, отсчеты даются на восток и север вплоть до 2000 км. И так же, как в UTM, зоны могут быть поделены на квадраты по 100 км, каждый - со своей собственной реализацией проекции, обеспечивая точность примерно до одного метра на 2500 м. Совместно UTM и UPS обеспечивают покрытие всего земного шара с очень малыми искажениями и весьма точными измерениями.

КАРТОГРАФИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

Помимо определения масштаба, проекции и системы координат, ГИС-аналитик должен знать и об основных этапах процесса изготовления карты, особенно с точки зрения изменения парадигмы от одного лишь сообщения к сообщению и анализу. Имеется четыре основных этапа в картографическом процессе: сбор данных, компиляция данных, создание карты, ее тиражирование. Мы рассматривали сбор данных как первый наш шаг в формализации концептуальной модели пространства. А в Главе 14 мы

займемся производством и тиражированием как процессами, присущими фазе выхода документов из ГИС. Но фаза компиляции данных в картографическом процессе должна быть тщательно рассмотрена здесь, перед тем, как мы рассмотрим структуры данных в Главе 4 и ввод данных в Главе 5.

По традиции процесс картографической компиляции данных включает в себя выбор или разработку базовой карты (base map), на которой размещаются собранные данные. Для представления точек, линий, площадей и поверхностей используются наборы символов, каждый из которых может сдвигаться относительно своего точного положения, чтобы дать место другим на ограниченной поверхности карты. Для группирования данных статистическими методами используются процессы предварительного отбора и сортировки. В рамках парадигмы сообщения группирование чаще всего выполнялось как отдельный шаг или набор операций до начала процесса создания собственно карты. С продвижением аналитической парадигмы группирование стало выполняться в рамках ГИС с применением методов статистики и управления базами данных. Однако циклическая природа функционирования ГИС (см. Главу 13) маскирует группирование как легко опознаваемую часть картографического процесса. Тем не менее, многие карты, включаемые в базу данных ГИС, создавались при традиционной парадигме сообщения. И как мы уже видели, процесс компиляции может не сохранять исходные данные, поскольку создаются классификации, основанные на первоначальных критериях разработки карты, оставляя ГИС-аналитика без полного набора атрибутивных данных, которые можно было бы ввести в ГИС.

КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ СИМВОЛЫ

В последнем разделе мы обсудим проблемы, связанные с компьютерным представлением данных, особенно те, что связаны с процессом ввода существующих картографических документов. Но вначале более полезным будет краткий обзор некоторых базовых концепций компиляции данных, которые и создают эти картографические документы. Эти концепции пригодятся и позже, когда мы займемся выводом документов из ГИС, поскольку тогда мы вернемся к картографической компоновке в рамках компьютеризированной среды.

Как мы уже видели, карты не являются точными уменьшенными копиями реальности, а ее представлением. Мы видели, что географические объекты оказываются точками, линиями, областями и поверхностями, и мы видели также, что их характеристики могут быть описаны с применением четырех различных шкал измерений. Когда мы переходим к картографическому

изображению, нам нужно представлять все эти объекты независимо от шкалы измерений тщательным отбором, классификацией и символизацией так, чтобы результаты физически уместились бы на выделенной площади и пользователь смог бы понять, что здесь представлено.

Ранее мы использовали Рисунок 2.4 для иллюстрации связи между типами пространственных данных и их шкалами измерения [Muehrcke and Muehrcke, 1992]. Как вы можете помнить, у нас есть некоторые наборы символов, соответствующих точкам, линиям, областям и поверхностям на всех шкалах измерения. Рисунок 2.4 объединял последние две шкалы как интервал/отношение, поскольку для них набор символов обычно один, вместо того, чтобы рассматривать их отдельно. Это важно отметить, так как это создает еще один уровень представления. Если мы не знаем, как данные первоначально собирались, мы не знаем, являются ли они интервальными или порядковыми. Символы этого не показывают. Мы можем выполнить операции шкалы отношений на наборе данных, который не имеет абсолютной начальной точки отсчета, а результаты такого анализа могут оказаться бессмысленными.

Следует заметить также, что поверхности могут изображаться с помощью линий. Это может внести некоторую путаницу, по двум причинам. Первая: новичкам обычно свойственно ошибочно принимать линии за одномерные объекты, а не способ отображения поверхностей. Это легко преодолевается постепенным знакомством со свойствами карт и символов на все большем количестве картографических документов. Вторая проблема состоит в принятии самих линий за точные представления значений высот точек (см. Главу 2). Как мы видели, линии - это оценки или предположения о точных значениях высоты, сделанные в результате интерполяции. Хотя эти линии могут быть хорошими приближениями высот, изучающему геоинформатику следует помнить об их предположительной природе, особенно если они используются при вводе в ГИС. Единственными не предположительными значениями высот являются те, что были действительно измерены, что показывается отметками высот на топографических картах. Как вы позднее увидите, большинство коммерческих ГИС имеют свои собственные интерполяционные возможности. И уже вашим делом будет решать, вводить ли только местоположения известных точек, или сами линии, зная характеристики и надежность применяемых методов интерполяции (см. Главу 5).

Использование линий для представления поверхностей - только один пример из многих по **изменению пространственной мерности**, которое может происходить в результате представления информации при помощи символов. Рисунок 1.1 показывает различные примеры соотношений мерности объектов и изображающих их символов, которые могут

присутствовать на карте. Здравое рассуждение всегда необходимо при решении, является ли геометрия и мерность символа точным представлением объекта. Например, если для изображения точечного объекта используется площадной символ, вам нужно помнить, что несмотря на его двухмерность, вводиться в компьютер или иначе регистрироваться должна лишь одна точка.

То же самое можно сказать и о шкалах измерения. Символы, такие как кружки градуированного диаметра, используемые для точечных объектов, часто изменяются для достижения определенного визуального эффекта [Robinson et al., 1995]. Такое изменение размера символа не прямо пропорционально изменению значения данных, оно рассчитано скорее на визуальное восприятие пропорциональности зрителем. Такие манипуляции обычны в картографии, поэтому специалисту по ГИС следует тщательно рассмотреть карту перед тем, как выполнять кодирование данных на основе изменений символов. Как всегда, если есть доступ к исходным данным карты, атрибуты должны браться из них, а не из их графического представления.

Главным различием между парадигмами сообщения и аналитической является манипуляция с данными до создания карты в целях классификации. Поскольку одна тематическая карта служит одной цели, обычно процесс классификации происходит лишь однажды, а исходные данные пользователю карты уже не доступны. Рассмотрим случай *choropleth* или *value-by-area* карт. В случае парадигмы сообщения мы хотим сгруппировать области в осмысленные и визуально привлекательные агрегации. Многочисленные методы группирования (агрегирования) таких областей вместе называются выбором **интервалов классификации** (*class interval selection*).

Среди этих методов есть несколько достойных внимания групп. К первой группе методов мы отнесем такие, в которых весь диапазон значений разбивается на некоторое число равных интервалов.

Вторая группа методов классификации использует переменные интервалы. Они создают несколько более сложные для восприятия карты, но могут быть очень полезны для выделения определенных экстремальных значений или подчеркивания вариаций величины. Переменные интервалы могут быть систематическими, включая арифметические, логарифмические и другие ряды; или они могут быть несистематическими, с объединением данных в естественные группы, которые и являются критерием выбора интервалов классификации.

Третью группу методов составляют такие, в которых в каждую категорию попадает одно и то же количество объектов (интервалы **равного** наполнения). Эти методы можно рассматривать как особую группу среди методов переменных интервалов.

Каждый из этих методов имеет свои особенности. Одни производят

хорошо сбалансированную карту (см. Главу 14), другие более просты, третьи обеспечивают наличие данных в каждом классе.

Все эти методы выбора интервалов классификации могут применяться по отношению к точечным, линейным и площадным символам для отображения всех типов пространственных данных. Возьмем для примера использование интервалов между горизонталями на топографических картах. Выбор этих интервалов - в такой же степени метод выбора интервалов классификации, как и группировка областей для choropleth карт. Подобным же образом, создание дискретного набора точечных символов для отображения различий значения атрибута является методом выбора интервалов классификации, поскольку известно, что человеческий глаз не способен заметить очень малые отличия в размере

Все эти методы выбора интервалов создают картографические документы, которые в большей или меньшей степени скрывают исходные данные и при неудачном выборе могут исказить картины исходных распределений. Нам нужно помнить об этих особенностях, когда мы готовим вывод документов из ГИС. С другой стороны, если мы намереваемся использовать эти классифицированные карты для ввода в базис данных ГИС, мы должны быть очень осторожны при выполнении анализа с этими в значительной степени обработанными данными.

Конечно, символизация и классификация - не единственные методы картографической компиляции, о которых нам нужно знать. Среди наиболее важных процессов компиляции, с которыми придется встретиться специалисту по ГИС, находится графическое упрощение. Производимое этим процессом сокращение объема данных следует учитывать при вводе карт в ГИС, оно также оказывает влияние на результаты последующих измерений и анализа.

Упрощение удаляет некоторые нежелательные объекты, сглаживает, агрегирует или иначе модифицирует объекты на карте. Мы встречали пример этого в предшествующем рассмотрении изменений мерности. Конечной целью упрощения является обеспечение читабельности картографического документа. Здесь используются два основных метода: удаление и сглаживание объектов. Рассмотрим их по отдельности.

При удалении объектов мы выполняем функцию, которая очень похожа на сам процесс сбора пространственных данных (Рисунок 3.9) [Muehrcke and Muehrcke, 1992]. Наши наблюдения проходят через наш "географический фильтр", оказывающий влияние на решения о том, что мы зафиксируем, а что - проигнорируем. Важность объектов определяется еще до начала сбора данных и определяется главным образом его целями. В действительности, отбор объектов для рассмотрения будет неявным эквивалентом процесса удаления объектов с карты, поскольку только

зарегистрированные во время сбора данных объекты будут помещены в базу данных картографического документа. Конечно, в некоторых случаях не-регистрация объектов происходит из-за того, что мы не можем их наблюдать в полевых условиях с имеющимся инструментарием. Возможность регистрации объектов является также функцией состояния научного знания и регистрирующей техники на момент сбора данных. Например, изменения в растительных и животных видах влияют на результаты переписи; местоположения млекопитающих, которые раньше не могли быть зафиксированы конкретно, теперь могут регистрироваться с помощью радиотелеметрии; мы не могли собирать широкомасштабную информацию об изменениях населения и социальноэкономических показателях до начала общенациональной переписи. Чувствительность к факторам окружающей среды и их взаимодействиям определяет наше представление о них, что, в свою очередь, определяет то, что мы выбираем для исследования и дальнейшего нанесения на карту, а что устраним.

Острова	• .. Реки -	Города	Горы	
■ ■ ■ ^		• • # • в • •	^ ^ ^ ^	Крупный масштаб
È» ш W Ш	Я	• • • •		Мелкий масштаб

Рисунок 3.9. Изменение масштаба и исчезновение объектов. Сравнение точечных, линейных, площадных и поверхностных объектов, видимых на крупномасштабной карте и исчезающих на мелкомасштабной.

В отличие от пассивного, обусловленного возможностями сбора данных, активное удаление объектов может использоваться как при сборе данных, так и при создании карты, а также при разработке картографической базы данных. Схемы отбора (sampling schemes), которые мы прежде рассматривали, являются ярким примером устранения больших частей информации об объектах, которая могла бы быть собрана. Мы также проводим активное удаление объектов на карте или в самой цифровой базе данных перед завершением создания карты. Здесь как ограничитель действует

скорее карта, нежели человек, собирающий информацию. Мелкие населенные пункты часто не показываются на картах плотно заселенных областей, однако населенные пункты такого же размера могут появляться на картах областей с низкой плотностью населения. Аналогично, мы можем удалять некоторые мелкие или менее значительные притоки рек, озера или острова во время картографического процесса из-за недостатка места на карте. Эта генерализация может быть такой простой, как исключение определенной части объектов, например, каждого второго; или она может включать набор правил (например, исключение населенных пунктов с количеством жителей меньше определенного числа, удаление наиболее мелких притоков в речной сети). Какой бы набор методов ни применялся, результатом будет менее детальная карта. Очевидно, что если в геоинформационную систему вводятся данные, прошедшие процедуру упрощения, вы получите картографическую БД с отсутствием некоторых данных.



Рисунок 3.10. Изменение масштаба и сглаживание. Заметьте, как объекты упрощаются до сохранения только наиболее представительных характеристик.

Другой полезный метод упрощения называется сглаживанием (Рисунок 3.10). Этот процесс превращает детализированные геометрические объекты в менее детализированные. Подобно шаржам на известные личности, важные геометрические характеристики сохраняются в виде упрощенных геометрических форм. На картах, показывающих прибрежные районы, границы, извилистые реки или острова, мы можем упрощать линии, представляющие эти нерегулярные объекты, так, чтобы их существование

было обозначено, но их пространственная детализация ограничена с тем, чтобы их все-таки можно было показать на карте. Ввод таких карт в ГИС приводит к менее чем удовлетворительным результатам измерений длин, форм, площадей и других геометрических характеристик. Но поскольку результаты геоинформационного анализа часто представляются в картографическом виде, мы можем счесть эти две формы упрощения полезными при создании конечного результата нашего анализа.

УСЛОВНОСТЬ КАРТ И БАЗЫ ДАННЫХ ГИС

Масштаб карты ограничивает объем данных, которые могут быть представлены на одном картографическом документе. Именно масштаб определяет степень генерализации объектов и их смещения относительно точного положения для обеспечения читабельности карты [Robinson et al., 1995]. Это необходимо учитывать при перенесении собрания картографических документов с их информационным содержанием, масштабами, типами отображения и символизации, в соответствующее компьютерное представление, компьютерную БД.

Данные картографического документа, то есть символы, представляющие объекты, являются условным представлением реальности. Их размер и размещение часто являются приближенными, менее точными, чем точность устройств компьютерного ввода в определении их характеристик. Следовательно, переходя от карты к цифровой базе данных, мы должны решать, какой именно участок точечного, линейного или площадного символа должен использоваться для определения координат представляемого им объекта. Если, например, положение точечного символа физически смещено от истинного положения, чтобы дать место для другого символа, то при вводе в ГИС мы получим точные координаты символа, которое на самом деле не соответствуют точному положению объекта. Вдобавок, сам символ занимает какую-то площадь, нам нужно будет решить, является ли, например, центр символа наиболее точным положением.

С другой стороны, если мы создаем географическую базу данных, скажем, с помощью геодезических приборов, то сталкиваемся с противоположной проблемой. Точность такого инструмента может быть порядка нескольких сантиметров и даже миллиметров, но компьютерное представление зачастую не может фиксировать эту информацию с такой же точностью.

Хотя каждым из этих вопросов можно заниматься по отдельности, при их взаимодействии во время создания БД ГИС возникают более сложные проблемы. Вот характерный пример. Специалист по живой природе создал базу данных, показывающую связь между положениями дорог и гнездовий птиц, населяющих территории вокруг этих дорог. Создание покрытия

дорожной сети в составе БД ГИС на основе существующих имеющихся топографических карт USGS масштаба 1:24'000 оказалось самым простым и доступным решением.

Естественно, что на карте не были отмечены местоположения отдельных гнезд, в данном случае норных сов, поэтому они регистрировались с использованием GPS с разрешением 1 метр. Когда же два покрытия были одновременно отображены, положения нор, которые находились в пределах 10 метров от дорог, оказались смещены, по меньшей мере, на 100 метров от этих дорог. Таким образом, это расхождение демонстрирует проблему возможной несовместимости данных из источников различной точности, которая в данном случае привела к неудаче с анализом взаимосвязи расположения дорог и гнезд норных сов.

Та же проблема возникает при создании картографической БД из карт разных масштабов. Как мы уже видели, на картах очень мелкого масштаба символы занимают гораздо большие площади поверхности земли, чем на крупномасштабных картах с такими же символами. Поэтому масштабы вводимых карт должны быть по возможности близки.

ОСОБЕННОСТИ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ КАРТ

Вскоре после начала работы с ГИС вы встретите множество видов карт, представляющих огромное разнообразие возможных тем. Многие виды карт распространены вследствие их доступности, низкой цены и общей полезности для геоинформационных проектов. Поскольку многие приложения ГИС включают пространственные данные, связанные с природными ресурсами, возможно, вследствие исторических корней ГИС, большинство из этих часто используемых типов карт связаны с природной средой. Это не значит, что только карты природного окружения имеют специфические проблемы. Скорее, именно потому, что они так популярны, вам нужно знать о проблемах, с которыми вы встретитесь, используя эти карты. Кроме того, многие из проблем, свойственных этим картам, могут встречаться при работе с картами других типов.

Почвенные карты

Почвенные карты - среди наиболее легкодоступных карт во всем мире, и, конечно, в США. Картографирование почв США приобрело большое значение после засушливых 1930-х годов, когда поверхностный слой почвы был уничтожен на сотнях миль плодородных пашен и пастбищ, особенно на Великих равнинах. Тогда были предприняты усилия по картографированию сельскохозяйственных земель по всей стране для

снабжения информацией как индивидуальных фермеров, так и федеральных агентств, ответственных за сохранение этих угодий. В результате почвенные карты повсеместно распространены и часто оказываются в базах данных ГИС.

Почвенные карты создаются в результате наземных измерений и отбора профилей почвы (вертикальных сечений почвы, извлекаемых при бурении). Чаще всего типы почв обозначаются полигонами, заполненными визуальными различиями краями, или штриховками, нанесенными на аэрофотоснимки исследуемой области, обычно в масштабе приблизительно 1:20'000. Тип почвы полигона определяется анализом одного или более кернов, выбранных в его пределах. Большинство полученных таким образом почвенных карт представлены прямо на копиях аэрофотоснимков, хотя некоторые округа имеют версии без снимков в качестве фона. Каждый тип почвы идентифицируется кодом, который связан с табличными данными для этого типа. Наличие этой системы существенно облегчает создание почвенных баз данных.

Хотя эти карты имеют очевидные преимущества готовности и доступности, большого пространственного покрытия и легко получаемых атрибутивных данных, они представляют несколько серьезных проблем для ввода и анализа в ГИС. Во-первых, поскольку карты обычно рисуются прямо на нетрансформированных аэрофотоснимках, на точности положений границ полигонов сильное влияние оказывают вертикальные перемещения самолета с фотокамерой, снижение точности по краям фотографий и искажения положений объектов, вызванные перепадами высот [Avery, 1973]. Короче говоря, все проблемы, связанные с использованием аэрофотоснимков в качестве средств для создания карт, применимы и к почвенным картам. Конечно, поскольку аэрофотоснимки снимаются непосредственно с самолета, пролетающего над земной поверхностью, нет и определенной проекции для этих карт, что затрудняет точные измерения. Вдобавок, так как нет определенной проекции, на этих картах отсутствует и координатная сетка. Все эти условия затрудняют обеспечение совмещения точек на других картах вашей ГИС с соответствующими точками на почвенных картах. Таким образом, удачность любой попытки связать объекты любой карты с объектами на почвенных картах будет в значительной степени зависеть от требуемой точности. Бывает даже трудно ввести эти карты в ГИС, не имея определенной координатной системы и картографической проекции. Некоторые ГИС-продукты не будут работать, если не определить их явно. Дело осложняется еще и тем, что сами почвы, сильно варьирующиеся от места к месту, в природе не встречаются как полигоны с четкими границами. Вместо этого, как многие другие природные феномены, почвы образуют непрерывно изменяющийся континуум.

Проведение резких границ между областями различных типов почв является изменением мерности, которое также снижает ценность существующих почвенных карт для анализа.

Некоторые из упомянутых выше проблем могут быть ослаблены, чтобы почвенные карты внесли свой вклад в геоинформационный анализ. Один из методов коррекции включает устранение искажений, обусловленных рельефом, которые особенно велики при больших перепадах высот. Здесь применяются математические методы, использующие цифровую модель рельефа для геометрической коррекции аэрофотоснимков, в результате которой получаются так называемые ортофотоснимки (orthophoto). Такие геометрически скорректированные снимки более точны, чем их некорректированные собратья, но на них все равно еще нет проекций или координатных сеток. Для малых областей можно пренебречь сферичностью земной поверхности, рассматривая эти изображения как планы. Для помещения вашего снимка в ГИС вместе с другими картами для достижения их пространственного совмещения, вы должны будете выбрать отдельные объекты, которые встречаются на этом снимке и на одной или нескольких картах, которые будут включены в БД ГИС. С помощью таких опорных точек (control points) вы можете собрать данные для выполнения ряда математических преобразований, имитирующих прибор для переноса аэрофотоснимков на проецированные карты, который выполняет повороты и растяжения снимка с тем, чтобы он состыковался с другими картами в вашей базе данных.

Ни один из методов коррекции не устраняет полностью все упомянутые проблемы, но они позволяют использовать аэрофотоснимки, и, в частности, изображенные на них почвенные карты, если вы достаточно осторожны и помните о недостатках этих карт в представлении почв вообще.

Зоологические карты

Существует вид карт, которому уделяют слишком мало внимания в географическом сообществе, несмотря на частое их использование среди зоологов и специалистов по охране дикой природы. Речь идет о зоологических картах, которые бывают двух общих типов - карты площадных и точечных распределений. Критерии выбора того или другого типа карт для картографирования местоположений животных плохо разработаны, оставляя специалиста по ГИС перед выбором среди широкого спектра методов отбора данных. Конечно, главной проблемой здесь является подвижность животных, их точное положение меняется каждую минуту. Радиотелеметрия часто используется для отбора местоположений млекопитающих, давая довольно точные положения в выбранные интервалы

времени. С другой стороны, для картографирования местоположений птиц используются визуальные наблюдения с некоторого расстояния, и даже аудиозаписи звучания птиц. Хотя существуют стандартные методы записи таких данных для научных исследований, возникает проблема, когда мы пытаемся зафиксировать точечное положение объекта, неопределенность положения которого может составлять десятки метров.

Карты ареалов, использующие площадные символы для отображения области распространения определенного животного, иногда компилируются из информации, собираемой десятки лет многими людьми, а иногда данные собираются одним человеком за один сезон, месяц и даже день. При построении карт ареалов, как во многих других ситуациях, требуется агрегировать точечные местоположения для создания областей (площадных символов). Для решения этой задачи могут применяться простые методы компьютерной графики, такие как построение наименьшей выпуклой оболочки вокруг имеющихся точек (мы рассмотрим его подробнее в дальнейшем), однако формально построенные с помощью этих методов полигоны необязательно отражают реальное группирование животных, которое биолог назвал бы ареалом. Вместо этого, для отображения областей на основе точек с большей пользой могут использоваться другие методы, основанные на математике, интуиции и, возможно, некоторой "ловкости рук" [Рарпорт, 1982]. Какой бы вы ни выбрали, вам нужно будет знать о поведении животных или иных точечных объектов.

Изображения дистанционного зондирования

Данные дистанционного зондирования (ДДЗ) все шире используются для ввода в базы данных геоинформационных систем, особенно там, где требуется анализ больших территорий или анализ изменений на поверхности Земли. Датчики, или сенсоры, дистанционного зондирования, используемые для наблюдения наземных объектов, могут воспринимать различные участки электромагнитного спектра, как в видимом диапазоне, так и вне его. Они обеспечивают повторную съемку тех же участков поверхности Земли через некоторый интервал времени, а также могут создавать стерео изображения. Каждая система ДЗ уникальна и характеризуется своими особенностями. Но независимо от типа используемых чувствительных элементов, сенсоры передают изображения в виде прямоугольной матрицы пикселей (от англ. "picture elements"). Размер порции земной поверхности, покрываемой одним пикселем, называется пространственным разрешением, и чем меньше размер пиксела - тем выше пространственное разрешение. В зависимости от назначения, изображения дистанционного зондирования могут иметь размер пиксела от нескольких сантиметров до нескольких километров.

Количество электромагнитной энергии, попадающее в один пиксел, преобразуется в число и в двоичном виде передается на землю. Число двоичных разрядов (битов), которыми кодируется каждый пиксел, называется радиометрическим разрешением, и чем больше битов используется на каждый пиксел - тем выше радиометрическое разрешение. Для каждого пиксела определяются несколько отсчетов - по одному на каждый участок (зону) спектра. Поскольку каждая система ДЗ работает в определенных участках спектра электромагнитных волн, чтобы выбрать подходящий сенсор, нужно точно знать не только требуемые значения пространственного и радиометрического разрешений, но и то, в каких участках спектра отражаются интересующие вас явления. Детальную информацию по функционированию и возможностям этих систем можно найти в книгах, посвященных дистанционному зондированию [Lillesand and Kieffer, 1995].

Среди наиболее трудных задач, связанных с использованием ДДЗ, находятся геометрическая коррекция и извлечение полезной информации из снимков (дешифрирование). Рассмотрим эти два вопроса по отдельности.

Для пользователя ГИС проблемы, возникающие при использовании устройств дистанционного зондирования, двояки. Во-первых, квантование пространства на прямоугольные пикселы добавляет еще один уровень упрощения наземных объектов. Объекты, которые существенно меньше размера пикселов, не могут быть обнаружены (случай недостаточного разрешения), однако их присутствие влияет на количество излучения, которое попадает на сенсор, создавая проблему так называемых смешанных пикселов. Смешанные пикселы часто могут использоваться для обнаружения групп объектов, которые существенно отличаются от своего окружения по спектральным характеристикам, но размеры которых оказываются меньше пространственного разрешения сенсора. Практически всегда пикселы содержат большее или меньшее число различных объектов, - вопрос лишь в том, как такое смешение влияет на наш анализ. Когда на снимке оказывается территория с относительно небольшой долей мелких "инородных" объектов, можно принять, что такие объекты меньше разрешающей способности не влияют на результаты анализа. Но в случае, например, городской среды, снимки низкого разрешения могут существенно исказить результаты дешифрирования, так как в отдельных пикселах будут смешиваться многие существенно разные объекты, и после суммирования их характеристик мы можем получить что-то совсем другое, отличное от всего того, что внесло вклад в значения пиксела. Здесь мы подходим ко второй проблеме использования ДДЗ.

Второй проблемой использования ДДЗ является то, что исходные данные, получаемые со спутника, мало о чем говорят, пока они не подвергнуты

обработке - дешифрированию. Процедуры обработки делятся на две группы: процедуры улучшения читаемости снимков (enhancement) и процедуры классификации (categorization). Назначение первых - облегчение восприятия изображения человеком-аналитиком. Сюда входят такие действия как изменение яркости и контрастности всего изображения или отдельных его частей, сглаживание (в основном для удаления шума, создающего эффект съемки через снегопад), подчеркивание контуров и мелких деталей.

Классификация, используемая по отношению к ДДЗ, подобна всем другим видам классификации в ГИС тем, что она вносит дополнительное упрощение данных в конечный продукт. Она переводит данные из шкалы отношений в более грубые шкалы измерения данных - интервальную, порядковую и номинальную. Тем не менее, аналитическая парадигма требует обеспечения доступности исходных данных для пользователя, чтобы он имел возможность извлекать из них максимум информации. Поэтому недешифрованные снимки также все чаще становятся частью БД ГИС, особенно связанных с экологией, контролем состояния растительности и других.

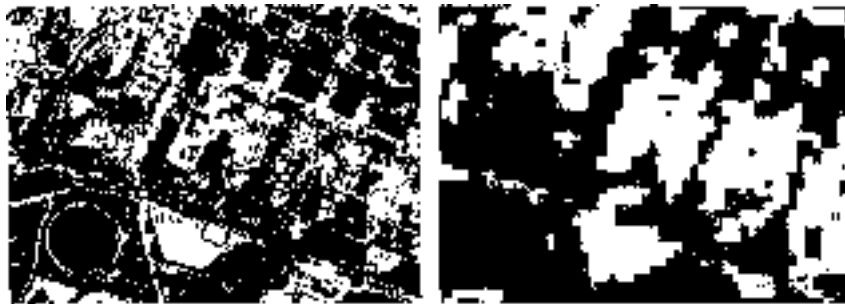


Рисунок 3.12. Квантование географического пространства. Квантование участка земной поверхности в виде прямоугольных пикселей для снимков с различным разрешением.

Все методы классификации, применяемые в дистанционном зондировании, имеют один результат: группирование пикселей по категориям, которым могут быть присвоены названия.

Используются три основных вида классификации: автономная, по эталонам и интерактивная. В первом случае для определения интервалов классификации используются специальные алгоритмы, обеспечивающие те или иные условия распределения пикселей по классам, одни из них требуют от пользователя

ввести только число классов, другие действуют полностью самостоятельно. Во втором случае оператор выбирает набор заранее установленных эталонов, определяемых, например, по характеристикам указанных пользователем областей снимка, после чего программа автоматически классифицирует все пиксели снимка. В третьем случае пользователь указывает программе несколько пикселей (может быть даже только один), которые должны представлять выделяемый объект, после чего программа отыскивает и показывает все другие соседние пиксели с подобными значениями. Все методы классификации в большей или меньшей степени автоматизированы, но даже автономные методы классификации требуют от пользователя некоторого представления о том, что изображено на снимке, не говоря уже об интерактивных.

Проблема при использовании ДДЗ в ГИС состоит еще в том, что полученные категории могут плохо соотноситься с теми, что создавались при ручной интерпретации аэрофотоснимков, прежних карт растительности и других картографических покрытий, с которыми их придется сравнивать в среде геоинформационной системы. Эта несовместимость особенно заметна, когда ДДЗ используются для обновления карт. Существуют также трудности сравнения снимков одной территории с одного спутника, сделанных в разное время при разных погодных условиях. Для большинства из этих проблем имеются относительно простые решения, если для сравнений используются исходные данные, а не их классифицированные версии.

Упомянем и другие проблемы использования ДДЗ. Изменение атмосферных условий, например, появление облаков над особенно важными участками области изучения, или различия в прозрачности дымки в воздухе, могут иметь огромное влияние на качество изображений и их пригодность к картографированию. Вдобавок, поскольку и спутник и Земля постоянно движутся, нужно как-то корректировать возникающие от этого геометрические и временные искажения. Все эти проблемы будут еще упомянуты в Главе 15, где мы будем рассматривать проектирование ГИС.

Несмотря на относительную сложность использования ДДЗ в ГИС, эти две когда-то совершенно отдельные технологии сегодня все больше интегрируются. Низкая стоимость изображений единицы площади и возможность быстрого создания актуальных карт - преимущества, которые сильно перевешивают только что рассмотренные проблемы. К тому же, сообщество пользователей ДДЗ разрабатывает всё более совершенные методы обработки изображений, а многие его члены вовлечены также и в работу с ГИС. Такая тенденция может значительно помочь обеим областям исследования.

Карты растительности

Сегодня для создания карт растительности для больших площадей широко используется спутниковое дистанционное зондирование, наряду с традиционным подходом, состоящим из комбинации аэрофотосъемки и полевых работ. Существуют многие потенциально ценные карты растительности, среди которых особый интерес для исследования изменений растительности со временем могут представлять карты, созданные за предшествующие десятилетия. Среди этих карт имеются три распространенные категории, как они были установлены в 1940-х-50-х годах [Kuchler, 1956].

Одни карты растительности основаны исключительно на классификации видов (флористические карты растительности), в то время как другие классифицируют типы растительных сообществ [Kuchler, 1949], третьи используют различные комбинации этих методов [Kuchler, 1955]. В результате широкого разнообразия таких комбинаций возник странный набор сильно отличающихся карт растительности, затрудняющий сравнения с современными картами. Даже сегодня, несмотря на установленные соглашения [Kuchler and Zonneveld, 1988], существует огромное различие в методах отбора и классификации, используемых для картографирования растительности.

Как и большинство других картографических документов, созданных в рамках традиционной парадигмы сообщения, карты растительности обусловлены интеллектуальным фильтром, действующим при создании этих документов, основанным в значительной степени на предполагаемой цели использования этих карт [Kuchler, 1956]. Это создает определенные трудности включения карт растительности в качестве части картографической базы данных, особенно если нет полного объяснения метода классификации. В свою очередь, современные карты растительности, вводимые в ГИС для сравнения с картографическими документами прошлого, должны быть основаны на совместимой системе классификации. В идеале должны быть доступны данные полевых наблюдений, чтобы пользователь ГИС мог восстановить исходную базу данных на основе этих материалов [DeMers, 1991]. Жизненный опыт подводит к тому, что эти данные должны сохраняться для тех, кто может счесть их полезными для своего картографического проекта. Мы вернемся к этой теме при обсуждении проектирования ГИС в Главе 15.

Временные ряды карт

Как говорилось при обсуждении карт растительности, временные ряды карт всех видов потенциально полезны для пространственно-временного

анализа территорий [Hodgson and Alexander, 1990; Hunter et al, 1990; Vrana, 1989]. Однако этот потенциал ослабляется тем, что в разные годы использовались разные инструменты сбора данных, назначения карт были несколько разными, изменялись системы классификации и, как мы видели, набор базовых знаний создает ограничения достоверности карт, которые создавались при его актуальности.

В конечном итоге наиболее важен вопрос достоверности. Если, например, временные ряды карт используются для определения изменений границ, то следует проверить точность размещения границ, а также внутренней классификации очерченного региона. Если сравниваются сами классификации, то должны быть разработаны правила сравнения различных классификаций. И еще нам нужно помнить, особенно когда мы имеем дело с такими картами, что изменения в картографическом представлении, оказавшие большое влияние на эти карты, как и на любые другие карты, могут воздействовать и на наш географический анализ.

Вопросы

1. Какое влияние оказывает развитость графического мышления на нашу способность работать в качестве специалиста по ГИС?
2. Что такое парадигма сообщения? Какова ее главная цель? Как она влияет на идеологию построения и использования ГИС? Приведите пример ее использования для традиционных карт.
3. Что такое аналитическая парадигма? Чем она отличается от парадигмы сообщения? Приведите пример ее использования в картографии. Как эта парадигма влияет на ГИС?
4. Каковы основные способы обозначения масштаба на карте? Опишите их. Каковы относительные преимущества каждого вида сообщения масштаба при использовании в ГИС?
5. Каковы потенциальные проблемы ввода в БД ГИС карт разных масштабов? Как они могут повлиять на анализ и измерения?
6. Каково назначение легенды карты? Как легенда карты показывает связи между объектами и атрибутами?
7. Что такое картографические проекции? Каково их назначение? Каковы три основных семейства картографических проекций?
8. Какие основные геометрические характеристики изменяются при использовании картографических проекций? Какие виды проекции лучше всего подходят для сохранения каждой из этих характеристик?
9. Основываясь на ответе на предыдущий вопрос, предложите некоторые основные решения, которые вам нужно будет принять при выборе проекций для различных видов географического анализа.

10. Опишите координатную сетку **иТМ**. Каковы ее преимущества и недостатки при использовании в ГИС?

11. Какое влияние оказывает выбор интервалов классификации на ввод карт в ГИС и дальнейший анализ?

12. Как влияет размер картографических символов на точность карт? Что вы можете сказать о взаимном влиянии двух или более символов?

13. Какова разница между целенаправленным и пассивным упрощением? Как упрощение влияет на использование существующих карт для создания БД ГИС?

14. На что вам следует обратить внимание по отношению к картам почв, растительности, ДДЗ и **временных рядов карт** при их применении в ГИС?

15. Как могут использоваться ДДЗ для ввода в ГИС без необходимости в классификации?

Картографические и геоинформационные структуры данных



До сих пор мы рассматривали географию только в ее традиционных формах, как ориентированных на полевые исследования, или как картографически представленные и в дальнейшем анализируемые через картографические измерения или отдельные пространственно-аналитические и статистические методы. Вместе эти традиции внесли свой вклад в понимание того, как функционируют распределенные по поверхности Земли объекты. С развитием компьютерной техники, географы начали экспериментировать с автоматизированными методами исследований. Эти методы включают и анализ картографического представления объектов и пространственный анализ без применения карт. Трудно, или даже невозможно, отделить любой из этих методов исследования от развития геоинформационных систем. Да это и ни к чему. И те и другие являются частью большего инструментария компьютерной географии.

Одни коммерческие ГИС-продукты имеют прямую связь с множеством статистических программ, что позволяет выполнять анализ характеристик объектов отдельно от самой карты. Другие используют специальные форматы данных для передачи данных карты в отдельные статистические или аналитические программы для самостоятельного анализа. В обоих случаях цель одна - дать аналитику доступ к широчайшему набору методов исследования пространственных данных. Эта интеграция компьютерных методов укрепляется по мере развития данной отрасли и расширения знакомства пользователей с компьютерной географией. Как специалистам по геоинформатике вам следует приветствовать эти перемены и поощрять все новые комбинации, например, геостатистические программы, программы специального моделирования и т.п.

Для эффективного выполнения нашей работы нам необходимо понимание структурного строения ГИС. Каждая система имеет свои собственные уникальные структуры, методы представления и способы анализа пространственных данных. К счастью, они могут быть сгруппированы в относительно небольшое число основных типов структур данных, каждый из которых используется теми или иными системами.

Поскольку за время своей карьеры вы скорее всего будете работать с разными системами, вам нужно познакомиться со всеми основными типами. У вас будет достаточно возможностей сконцентрироваться на конкретной системе, с которой вы будете чаще всего работать, уже в процессе самой работы.

Представление пространственных данных - еще один формализм, подобный тем, что мы рассматривали при переходе от реальных земных объектов к ограниченному набору геометрических примитивов, называемых точками, линиями, областями и поверхностями. Разница всего лишь в том, как мы представляем их внутри компьютера таким образом, чтобы мы могли их редактировать, измерять, анализировать и выводить в какой-либо удобной форме. В этой главе мы рассмотрим некоторые основные структуры компьютерных файлов. Затем мы перейдем к структурам баз данных, которые обеспечивают организацию, поиск и анализ больших объемов данных. Мы рассмотрим основные концепции, связанные с представлением пространства и его объектов с помощью графических структур данных. Затем мы выработаем детальные модели данных, которые позволяют связать множественные наборы картографических данных с их атрибутами для образования завершенной БД ГИС.

По мере чтения главы вы будете знакомиться с этими структурами в порядке роста их сложности. Не пожалейте время на понимание простых типов структур данных прежде чем переходить к более сложным моделям данных ГИС. Если в вашем распоряжении имеется несколько геоинформационных программ, вам следует определить, какие структуры данных каждая из них использует и как они работают. Исследуя эти программы, задайте себе вопрос, каковы возможные преимущества одного типа перед другим. Какие из них лучше подходят для экономии дисковой памяти? Какие более точны в пространственном отношении? Какие лучше всего представляют точки, линии, области или поверхности? Каковы преимущества каждой системы с точки зрения географических вопросов, которые вы могли бы задать? Ответы на эти вопросы окажутся полезными вам как аналитикам (т.е. пользователям ГИС) и неоценимыми, если ваша карьера будет связана с разработкой систем для потенциальных пользователей ГИС.

ИДЕЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

Перед тем как приступить к новому уровню представления реальности, который позволяет компьютеру оперировать с пространственными данными, будет неплохо вспомнить, как мы перешли от реальной Земли к более отвлеченным представлениям, которыми мы можем оперировать в уме. Когда мы путешествуем по изучаемой области, пешком или используя

устройства дистанционного зондирования, мы начинаем процесс отвлечения с простейшего представления наблюдаемого как групп точек, линий, областей и поверхностей. Этот процесс, как вы помните, преломляется через вопросы, которые мы задаем, и то, как мы собираемся на них отвечать. Мы принимаем решения о том, какие объекты принять во внимание, а какие - проигнорировать. Затем мы выбираем метод сбора данных, будь то полная перепись или какой-либо выборочный метод. Некоторым объектам мы присваиваем имена, другие измеряются на более высоких шкалах (т.е. порядковой, интервальной и отношений).

Собрав данные, мы принимаем решение о представлении их в графической форме. Мы сравниваем и группируем данные, выбираем проекцию и систему координат и т.д. В некоторых случаях, особенно при отсутствии ГИС, мы создаем карту непосредственно из этих данных, и только позднее вводим их картографическую базу данных для использования в ГИС. Сегодня данные чаще вводятся прямо в ГИС, образуя географическую базу данных, основанную на прямых наблюдениях.

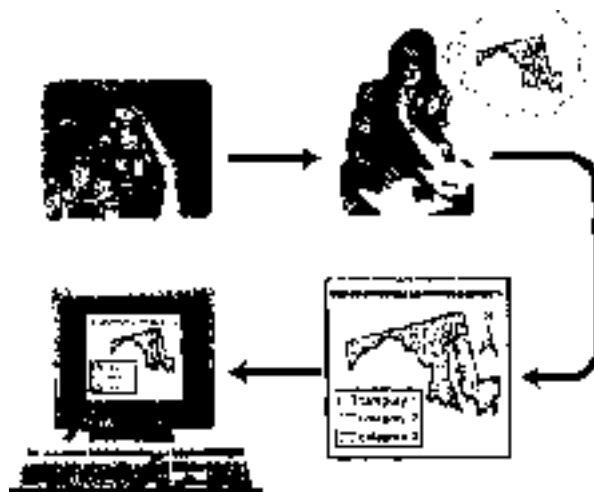


Рисунок 4.1. Преобразование географического пространства в базу данных ГИС. Диаграмма показывает изменение уровня представления от реального мира к представлению картографа, картографическому представлению и, в конце концов, к компьютерному представлению.

Упомянутые процессы включают вначале обзор окружения и решение о том, какое его концептуальное представление необходимо, и дальнейшее его абстрагирование либо в форме карты, либо в некой форме для прямого ввода в ГИС (Рисунок 4.1). При этом компьютер вынуждает нас к определенному взгляду на наши данные. Компьютеры не мыслят как мы это понимаем, не оперируют они непосредственно и с визуальными или графическими объектами, как мы бы изображали их на листе бумаги. Вместо этого к компьютерам нужно обращаться на каком-либо языке программирования вроде Фортрана, Си или Паскаля.

Когда мы сформировали наше представление о пространстве и пространственных отношениях, мы можем организовать наши данные таким образом, чтобы в этом был какой-то смысл. Некоторое время карта была графическим языком, который мы использовали для визуализации пространства и его объектов. Но наш графический язык имеет определенно другую структуру, нежели то, что имеется в компьютере. Возьмите в качестве простого примера процесс исследования карты для определения отношений между озером внутри острова, покрытого деревьями на севере, и с чистым пляжем на юге.

Словесное описание мгновенно порождает визуальный образ, а карта легко понимается с небольшими явными указаниями. Мы ясно видим, что озеро находится "внутри" острова, что остров "окружен" океаном, что деревья занимают его северную часть, а пляж – южную. Опять же, нам не требуется явных инструкций, чтобы обнаружить эти факты. Но компьютер ничего не знает об озерах, островах, лесах, пляжах или направлениях. Мы должны создать формальный язык, который позволит компьютеру использовать его цифровое (из нулей и единиц) видение мира для определения пространственной протяженности каждого объекта, его положения в какой-либо координатной системе, различения смежных объектов и опознавать и сортировать объекты по ориентации, размеру, положению и т.д. Это похоже на попытку объяснить кому-то в мельчайших подробностях выполнение задачи посещения магазинов. Должна быть включена каждая деталь, от поворота дверной ручки, до управления автомобилем, определения маршрута по улицам, обнаружения магазина и выбора покупки. Такие вещи, требующие аналогового мышления для их выполнения, очень просты для нас, но очень трудны для компьютера.

К счастью, мы, изучая геоинформатику, не собираемся начинать с нуля в объяснении всех деталей представления и операций с географическими объектами в пространственном контексте. Но чтобы разобраться с ГИС, нам нужно познакомиться с некоторыми основными приемами, придуманными другими для того, чтобы компьютеры делали все это. Мы начнем с элементарного уровня компьютерных структур, но не с машинного уровня.

Вместо этого мы начнем с рассмотрения традиционных структур компьютерных файлов, обеспечивающих хранение, упорядочивание и поиск элементов данных. Потом мы перейдем к более высокому уровню организации данных в компьютере, называемому базами данных, которые состоят из комбинаций файловых структур для поддержки более сложных методов управления данными. Затем мы рассмотрим способ явного представления географического пространства в форме графических структур данных, и в конце концов расширим его для включения множественных графических слоев данных и их атрибутивных БД в то, что мы называем ГИС.

ОСНОВНЫЕ СТРУКТУРЫ КОМПЬЮТЕРНЫХ ФАЙЛОВ

Если вы уже проходили курс компьютерной грамотности или программирования, то среди первых вещей, с которыми вы познакомились, были простые структуры компьютерных файлов. Файлы - всего лишь простая система учета, позволяющая компьютеру отслеживать записи данных, которые вы в него вводите, и получать эти записи в любом удобном вам порядке. То же самое для ГИС. Одна из важнейших функций ГИС - хранение объектов и их атрибутов таким образом, который позволяет нам выбирать, например, для отображения, любую комбинацию этих объектов. Это требует от компьютера способности хранить, отыскивать и выбирать записи, устанавливать перекрестные ссылки. Другими словами, каждый графический объект должен храниться в явном виде, вместе со своими атрибутами, так, чтобы мы могли выбирать нужную их комбинацию за приемлемое время. Это подобно списку имен, адресов и номеров телефонов с перекрестными ссылками.

Неупорядоченные файлы

Простейшей структурой файла является неупорядоченный массив записей. В нашем примере с именами и адресами это аналогично созданию отдельной карточки для каждого имени в картотеке, причем вместо того, чтобы организовывать имена в некотором определенном порядке, вы помещаете карточки в картотеку в последовательности их ввода (Рисунок 4.2). Единственным преимуществом такой структуры файла является то, что для добавления новой записи нужно просто поместить ее в конец файла, позади всех других записей.

Очевидно, что все введенные карточки имеются в картотеке и вы можете отыскать любое имя, но отсутствие упорядоченности делает поиск довольно длительным. Если вам приходилось создавать картотеку, то вы наверняка попытались бы сделать это как-то иначе, особенно если количество карточек велико.

Рисунок 4.2. Неупорядоченный файл. Иллюстрация структуры файла как неупорядоченной картотеки.

Допустим, ваша база данных содержит 200'000 записей. Если файл неупорядочен, то вам, возможно, потребуется просмотреть все 200'000 записей, чтобы найти нужную. Если, например, для выборки одной карточки требуется одна секунда, то поиск займет (в среднем) $(n+1)/2$ операций [Burrough, 1983], то есть почти 28 часов для поиска одной записи. Кажется, нам нужно провести какие-то организационные мероприятия для повышения эффективности поиска.

Последовательно упорядоченные файлы

Как вы знаете, большинство картотек, как, например, телефонные справочники, упорядочены по алфавиту (Рисунок 4.3). Этот метод использует сравнение каждой новой записи с имеющимися для определения того, где ее место. Такие последовательно упорядоченные файлы (ordered sequential files) могут использовать буквы алфавита, как в нашем примере с картотеккой, или числа, которые тоже имеют определенную последовательность. Обычной стратегией поиска здесь является так называемый поиск делением пополам (или дихотомия). Поиск начинается

разделением всего массива записей на две половины и выборкой записи в середине. Если она оказывается той, что нужна, то процедура поиска закончена. Если искомая запись находится прежде выбранной, то мы выполняем ту же операцию с первой половиной, если после - со второй.



Рисунок 4.3. Последовательно упорядоченный файл. Иллюстрация структуры файла как упорядоченной картотеки. В данном случае сортировка производится с использованием алфавита.

Таким образом, программе не требуется просматривать большую часть файла. Среднее количество операций в этой стратегии определяется как $10n^2(p+1)$. В нашем прежнем примере время поиска сокращается до немногим более двух часов вместо прежних 28-ми.

Конечно, любой компьютер, которому требуется целая секунда для выполнения одной операции, скорее всего не подойдет для ГИС. Но пропорциональный выигрыш во времени из данного примера вполне очевиден. Однако, скорость поиска не достигается бесплатно, поскольку теперь каждая новая запись должна вставляться в соответствующее место последовательности, иначе ваш файл быстро превратится в неупорядоченный, который уже потребует последовательного перебора записей.

Индексированные файлы

В обоих предыдущих примерах записи идентифицировались и сравнивались по ключевому атрибуту - слову или числу. Стратегия поиска была основана на значениях самих ключевых атрибутов. Элементы, которые вы ищете в ГИС, это главным образом точки, линии и области. Однако вряд ли вы будете искать их по присвоенным им номерам. Другими словами, вы не будете запрашивать ГИС отобразить линию номер 3001 (ее порядковый номер при вводе в систему). Каждому объекту даются некие описательные атрибуты (характеристики), поэтому чаще всего ищутся элементы с определенным набором атрибутов. Так, например, вы могли бы попросить ГИС отыскать для отображения и анализа все земельные участки в отличном состоянии. Или вы могли бы выбрать участки в плохом состоянии, причем такие, у которых уклон меньше 25%.

Каждому объекту может быть приписано большое количество атрибутов, но мы физически не можем отсортировать записи в файле одновременно более чем одним способом. И если для того атрибута, по которому мы отсортировали массив записей, мы можем применить быстрый поиск делением пополам, то для всех других атрибутов нам придется выполнять утомительный последовательный поиск. Нам нужен какой-то выход, ведь мы же не можем пересортировывать файл для каждого запроса! Решение для этого существует - внешний индекс. Строится он вот как: из исходного файла в новый файл копируются значения одного атрибута для всех записей вместе с положениями этих записей. То есть каждая запись в новом файле состоит из значения атрибута и адреса записи в исходном файле, из которой это значение было взято. Затем нужно упорядочить записи нового файла в соответствии со значениями атрибута. Теперь, чтобы найти запись с заданным значением атрибута, мы можем в новом файле использовать поиск делением пополам. Найдя нужные записи в индексном файле, мы получим адреса записей исходного файла, по которым можем получить все атрибуты объектов. Таким образом, для поиска в основном файле используется дополнительный индексный файл, который называется внешним индексом, а сам исходный файл, таким образом, стал индексированным.

Очевидно, что мы можем выносить в индексный файл несколько атрибутов, чтобы организовывать поиск сразу по значениям этих нескольких атрибутов.

Использование внешнего индекса имеет три условия. Во-первых, вам нужно знать заранее критерии, по которым будет производиться поиск: для каждого критерия строится свой индексный файл. Во-вторых, ссылки на все добавления в исходный файл должны помещаться в соответствующие места индексных файлов, чтобы не нарушать их упорядоченность. В-третьих, если вы по какой-либо причине не предусмотрите некоторый критерий

поиска, то вам придется использовать последовательный перебор для получения нужной информации. Мы еще коснемся этой темы в Главе 15, посвященной проектированию.

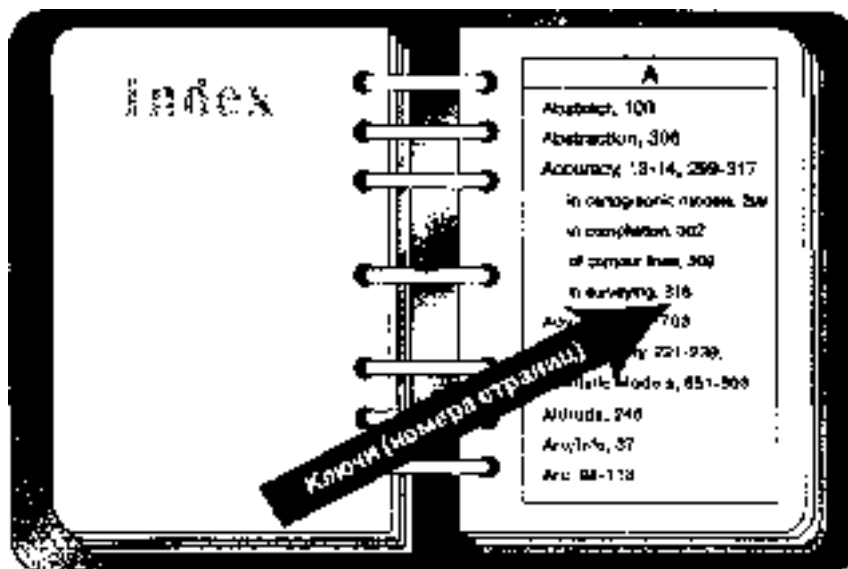


Рисунок 4.4. Индексированная структура данных. В качестве примера индексированного файла - указатель книги, который показывает, как найти информацию в большем файле с помощью ключевой характеристики.

СТРУКТУРЫ БАЗ ДАННЫХ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ

Мы редко ограничиваемся одним файлом, обычно мы собираем и используем многие файлы. Организованный набор взаимосвязанных файлов данных называется базой данных. Сложность работы со множественными файлами в базе данных требует более совершенного управления, реализуемого системой управления базой данных (СУБД). Хотя постоянно создаются всё новые реализации структур баз данных, существует всего три основных типа, с которыми вам нужно познакомиться, это иерархическая (древовидная), сетевая и реляционная (табличная) структуры баз данных. Рассмотрим их по отдельности.

Номер квадрата	Свойства				
	Кол-во видов	Уклон,°	Направление	Ишос, %	Состояние
1	15	8	С-СЗ	И	Хорошее
2	9	27	С	35	Плохое
3	21	5	СВ	<5	Отличное
	11	10	Ю	20	Посредственное
5	6	18	ЮЗ	15	Плохое
в	18	7	СЗ	10	Хорошее

Состояние	Номер квадрата
Плохое	2,5
Посредственное	4
Хорошее	1,6
Отличное	3

Рисунок 4.5. Индексированный файл. Файл данных (а) и индексный файл по ключу "Состояние" (б).

Иерархическая структура данных

Во многих случаях существует взаимосвязь между данными, называемая отношением "один ко многим" [Вшто1^п, 1983]. Это отношение подразумевает, что каждый элементданных имеет прямую связь с некоторым числом так называемых "потомков", и, конечно каждый такой потомок, в свою очередь, может иметь связь со своими потомками и т.д. Как следует из названия, предки и потомки напрямую связаны между собой, что делает доступ к данным простым и эффективным (Рисунок 4.6). Такая система хорошо иллюстрируется иерархической системой классификации растений и животных, называемой таксономией.

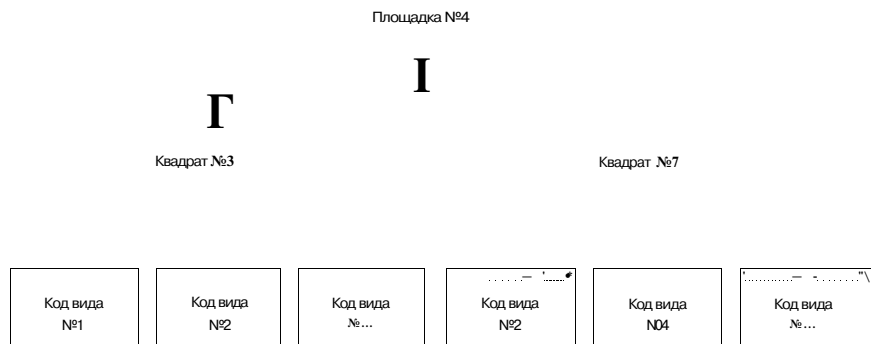


Рисунок 4.6. Иерархическая структура БД. Показано ветвление от предков к потомкам на основе ключевых атрибутов.

Например, животные делятся на позвоночные и беспозвоночные. В свою

очередь, позвоночные имеют подмножество, называемое млекопитающими. Млекопитающие могут быть далее разделены на подгруппы. Структура становится похожей на генеалогическое дерево, и в действительности таксономисты используют почти такую же графическую форму для представления отношений между видами. Главной характеристикой иерархической структуры, иллюстрируемой таксономическим деревом, является прямая взаимосвязь между одной ветвью и другой. Ветвление основано на формальных ключевых признаках, которые определяют продвижение по этой структуре от одной ветви к другой.

Как вы могли догадаться, если ваша информация о ключевом признаке недостаточна, то вы не сможете продвигаться по дереву. В действительности, природа иерархической системы требует явного определения каждого, отношения для того, чтобы создать саму структуру и ее правила ветвления. Главным преимуществом такой системы является то, что в ней очень легко искать, поскольку она хорошо определена и может относительно легко расширяться добавлением новых ветвей и формулированием новых правил ветвления. Но если ваше изначальное описание структуры неполно или если вы хотите двигаться по ней на основе корректного критерия, который не включен в структуру, то поиск становится невозможным. Для создания иерархической структуры совершенно необходимо знание всех возможных вопросов, которые могут задаваться, поскольку эти вопросы используются как основа для разработки правил ветвления или ключей.

Наверняка многие из вас сталкивались с компьютерной системой библиографического поиска. Такие системы имитируют способы поиска книг и статей, который люди использовали до внедрения компьютеров. Мы можем искать отталкиваясь от темы, имени автора, названия и даже по диапазону номеров в каталоге, ограничивающем нас частью библиотечного фонда.

Системы, которые могут выполнять поиск по множественным критериям и с применением булевых операций отражают обе потребности легкой разработки иерархии - хорошо определенные критерии и ограниченное число типов запросов. Но представьте себе, что вам попалась хорошая книга по геоинформатике в северо-западном углу пятого этажа главной библиотеки института. Вы не помните номер по каталогу, но хотели бы найти и другие книги, находящиеся рядом с упомянутой. Конечно, вы не будете просить библиографическую систему отыскать все книги в северо-западном углу пятого этажа главной библиотеки. Метод может быть и сработает в конце концов, но на практике вам нужно знать побольше о книгах в вашей предметной области.

Ситуации подобного недостаточно определенного запроса не так уж редки при работе с информацией в ГИС. Одна из наиболее трудных вещей

- предвосхитить все возможные запросы пользователя. В конце концов, БД ГИС обычно содержит множество типов информации и разных тематических карт. Одной из самых интересных особенностей ГИС является то, что вы можете попытаться выполнить поиск или исследовать взаимосвязи, которые не предполагались до реализации системы. К сожалению, иерархическая структура не очень подходит для этого из-за ее жесткой ключевой структуры.

Помимо этого сурового ограничения иерархическая структура часто порождает большие индексные файлы. Это требует дополнительных затрат памяти для хранения данных и иногда вносит свой вклад также и в рост времени доступа.

Сетевые структуры

Как мы видели, возможности быстрого поиска, выполняемого в иерархической структуре данных, определяются структурой самого дерева. Атрибутивные и геометрические данные могут храниться в разных местах, что потребует установления большого числа связей между графической и атрибутивной частями БД. В таком случае потенциальное число ветвлений и связанных с ними ключей иерархической структуры может стать очень большим. Такая неуклюжесть возникает главным образом потому, что иерархическая структура данных больше всего подходит, когда между элементами данных требуется устанавливать связи "один к одному" или "один ко многим".

Сетевые БД ГИС используют отношение "многие ко многим", при котором один элемент может иметь многие атрибуты, при этом каждый атрибут связан явно со многими элементами. Например, исследуемый участок может иметь много квадратов, с каждым из которых может быть связаны несколько животных и растительных видов, при том, что каждый вид может присутствовать в более чем одном квадрате. Для реализации таких отношений вместе с каждым элементом данных может быть связана специальная переменная, называемая указателем (pointer), которая направляет нас ко всем другим элементам данных, связанным с этим (Рисунок 4.7). Вместо того, чтобы ограничиваться древовидной структурой связей, каждый отдельный элемент данных может быть прямо связан с любым местом базы данных, без введения отношения "предок-потомок". Указатели - обычное явление в языках программирования вроде Си и Си++, и некоторое знание их поможет вам в понимании того, как именно эти приемы реализуются. Для наших целей будет достаточно графической иллюстрации. Рисунок 4.7 показывает два квадрата (№3 и №7) исследовательской площадки №4. Обратите внимание на то, как указатели используются для связи отдельных квадратов с представляющими их видами.

Указатели обеспечивают и обратную связь от видов к квадратам, в которых они находятся.

Сетевые структуры обычно рассматриваются как усовершенствование иерархических структур, поскольку они менее жесткие и могут представлять отношение "многие ко многим". Поэтому они допускают гораздо большую гибкость поиска, нежели иерархические структуры. Также в отличие от иерархических структур они уменьшают избыточность данных. Их главным недостатком является то, что в крупных БД ГИС количество указателей может стать очень большим, требуя значительной затрат памяти. Вдобавок, хотя связи между элементами данных более гибкие, они все же должны быть явно определены с помощью указателей. Многочисленные возможные связи могут превратиться в весьма запутанную сеть, приводя часто к путанице, потерянными и ошибочным связям. Новички часто оказываются подавлены этими условиями, но опытные пользователи могут достичь высокой эффективности с такими системами и часто предпочитают их перед другими.

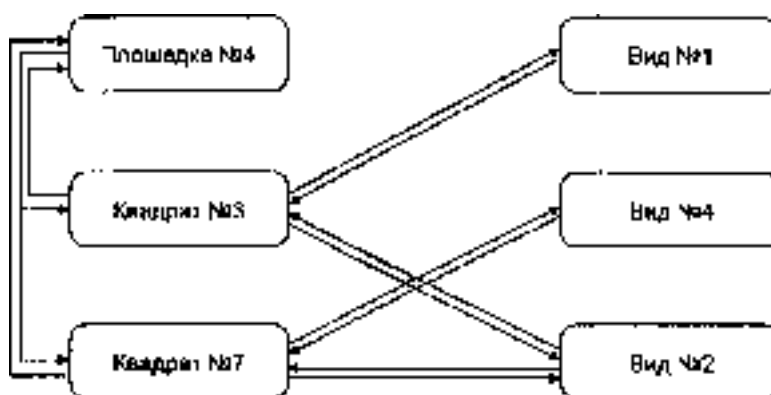


Рисунок 4.7. Сетевая структура БД. Эта структура позволяет пользователю перемещаться от одного элемента данных к другому через цепочку указателей, которые выражают взаимоотношения между элементами данных.

Реляционные базы данных

Недостатков большого количества указателей можно избежать используя еще одну структуру баз данных - реляционную. В ней данные хранятся как упорядоченные записи или строки значений атрибутов. Атрибуты объектов группируются в отдельных строках в виде так называемых отношений (relations), поскольку они сохраняют свои положения в каждой строке и определенно связаны друг с другом (Рисунок 4.8) [Healey, 1991]. Каждая

колонка содержит значения одного атрибута для всего набора объектов. Например, может быть колонка с номерами квадратов (один атрибут). В другой колонке может быть дополнительная информация, относящаяся к сборщику данных, в третьей - дата сбора данных, в четвертой - номер площадки. Атрибуты объектов могут также объединяться в другие, связанные, таблицы.

Таблица наблюдений

Номер наблюдения	Номер квадрата	Сборщик данных	Дата	Номер вида
1	4	Смит	10.06.98	3
2	1	Джонс	1.07.96	4
3	2			
4				

Таблица видов

Номер вида	Название вида	ТИП
1	Сопотугша іішта	СенораШй
2	ІЧдопотугтех гичмш	БресіаШІ

Таблица квадратов

Номер квадрата	Номер площадки	Широта	Долгота
1	2	зб.го^	106.ЛОЛУ
2	2	35.40^	Ю6.ЮЧУ
3			

Рисунок 4.8. Реляционная структура БД.

Реляционные системы основаны на наборе математических принципов, называемых реляционной алгеброй или алгеброй отношений [Штап, 1982], устанавливающей правила проектирования и функционирования таких систем. Поскольку реляционная алгебра основывается на теории множеств, каждая таблица отношений функционирует как множество, и первое правило гласит, что таблица не может иметь строку, которая полностью совпадает с какой-либо другой строкой. Поскольку каждая из строк уникальна, одна или несколько колонок могут использоваться для определения критерия поиска. Так, примером использования одной колонки для определения критерия поиска может быть выбор уникального личного номера социального страхования, номера телефона, домашнего адреса и других, имеющихся в других колонках той же таблицы при выборе

определенного имени из первой колонки. Такой критерий поиска называется **первичным ключом** (primary key) для поиска значений в других колонках базы данных [Date, 1986]. Всякая строка таблицы должна иметь уникальное значение в колонке первичного ключа, в противном случае **мы** не сможем однозначно идентифицировать объекты по первичному ключу.

Реляционные системы ценны тем, что позволяют нам собирать данные в достаточно простые таблицы, при этом задачи организации данных также просты. При необходимости мы можем стыковать строки из одной таблицы с соответствующими строками из другой таблицы, используя связующий механизм, называемый **реляционным соединением** (relational join). Поскольку реляционные системы преобладают в ГИС и поскольку для ГИС созданы довольно большие базы данных, этот процесс широко распространен, и вам нужно повнимательнее его рассмотреть. Любое количество таблиц может быть "связано". Соединение происходит по равенству значений колонки первичного ключа одной таблицы с другой колонкой второй таблицы. Колонка второй таблицы, с которой связан первичный ключ, называется **внешним ключом** (foreign key). Опять же, значения связанных строк предполагаются находящимися в тех же позициях для гарантии соответствия. Эта связь означает, что все колонки второй таблицы привязаны к колонкам первой таблицы. Благодаря этому каждая таблица может быть наиболее простой, облегчая управление данными. Вы можете привязать сюда третью таблицу, взяв колонку второй таблицы, которая будет использоваться как первичный ключ к соответствующей ключевой колонке (теперь называемой **внешним ключом**) третьей таблицы. Процесс может продолжаться присоединением все новых простых таблиц для проведения довольно сложного поиска, причем набор таблиц остается очень простым и легко поддерживаемым. Этот подход устраняет путаницу, присущую разработке баз данных с использованием сетевых систем.

Чтобы мы могли устанавливать реляционные соединения, каждая таблица должна иметь хотя бы одну общую колонку с другой таблицей, с которой мы желаем установить такое соединение. Эта избыточность - как раз то, что прежде всего и обеспечивает реляционное соединение. Однако, по возможности, избыточность следует уменьшать. Для определения вида, который ваши таблицы должны иметь, установлен набор правил, называемых **нормальными формами** (normal forms) [Codd, 1970]. Мы рассмотрим три основные нормальные формы; существуют некоторые дополнения, но это уже скорее усовершенствования, чем собственно нормальные формы [Fagin, 1979].

Первая нормальная форма утверждает, что таблица должна состоять из строк и колонок и, поскольку колонки будут использоваться в качестве ключей поиска, в каждой из них на каждой строке должно находиться только

одно значение. Представьте себе, как трудно было бы искать информацию по названию, если бы колонка названия имела по несколько значений в каждой строке.

Вторая нормальная форма требует, чтобы каждая колонка, не являющаяся первичным ключом, полностью зависела от первичного ключа. Это упрощает таблицы и уменьшает избыточность ограничением, что каждая строка данных может быть найдена только через ее первичный ключ. Если вы хотите найти заданную строку, используя другие отношения, то вы можете использовать реляционное соединение вместо того, чтобы дублировать колонки в разных таблицах.

Третья нормальная форма, связанная со второй, требует, чтобы колонки, которые не являются первичным ключом, "зависели" от первичного ключа, в то время, как первичный ключ не зависит от какого-либо не первичного ключа. Другими словами, вы должны использовать первичный ключ для поиска значений в других колонках, но вам не нужно использовать другие колонки для поиска значений в колонке первичного ключа. Цель, опять же, - уменьшение избыточности, использование наименьшего числа колонок.

Правила нормальных форм были суммированы Кентом [Kent, 1983]. Эти правила весьма полезны и должны строго выполняться. Сказав это, все же приходится признать, что всегда существуют обстоятельства, когда такое выполнение будет невозможно или существенно снизит производительность системы [Nealey, 1991].

ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТОВ И ИХ АТТРИБУТОВ

До сих пор мы занимались структурами данных, которые имеют мало общего с графическим представлением картографических или географических объектов. Хотя все три упомянутые системы могут использоваться для управления графикой, они мало что говорят нам о том, как сама графика будет представляться в ГИС. Мы знаем, что человеческий разум способен создавать графическое представление пространства и объектов в нем. Это представление в действительности довольно сложное, как вы увидите, когда мы попытаемся перейти к компьютерной реализации графических приемов. Главная трудность состоит в том, что наше графическое восприятие включает набор подразумеваемых отношений между элементами, расположенными на бумаге. Одни линии соединяются с другими линиями, и вместе они образуют области или многоугольники. Связь линий друг с другом в пространстве выражается посредством углов и расстояний. Одни линии замкнуты, другие - нет. Одни многоугольники имеют соседей, другие - изолированы. Список возможных

взаимоотношений, которые могут содержаться в чертеже, практически бесконечен. Нам нужно найти способ представления каждого объекта и каждого отношения в виде набора явных правил, которые помогут компьютеру "понять", что все эти точки, линии и области представляют нечто на земле, что они находятся в определенных местах пространства и что эти места также связаны с другими объектами в пространстве. Мы можем даже захотеть объяснить компьютеру, что многоугольник имеет непосредственного соседа слева, и этот сосед может иметь с ним общие точки и линии. В общем, нам нужно создать язык пространственных отношений.

Существуют два основных метода представления географического пространства. Первый метод использует квантование (quantization), или разбиение пространства на множество элементов, каждый из которых представляет малую, но вполне определенную часть земной поверхности. Этот растровый (raster) метод может использовать элементы любой подходящей геометрической формы при условии, что они могут быть соединены для образования сплошной поверхности, представляющей все пространство изучаемой области.

Хотя возможны многие формы элементов растра, например, треугольная или шестиугольная, обычно проще использовать прямоугольники, а еще лучше - квадраты, которые называются ячейками (grid cells). В растровых моделях ячейки одинаковы по размеру, но это не является обязательным требованием для разбиения пространства на элементы, которое не выполняется в не очень широко используемом подходе, называемом квадродеревом. В данном разделе мы рассмотрим модели, в которых все ячейки - одинакового размера, и представляют такое же количество географического пространства, как любые другие.

Растровые структуры данных не обеспечивают точной информации о местоположении, поскольку географическое пространство поделено на дискретные ячейки конечного размера. Вместо точных координат точек мы имеем отдельные ячейки растра, в которых эти точки находятся (Рисунок 4.9). Это еще одна форма изменения пространственной мерности, которая состоит в том, что мы изображаем объект, не имеющий измерений (точку), с помощью объекта (ячейки), имеющего длину и ширину. Линии, то есть одномерные объекты, изображаются как цепочки соединенных ячеек. Опять же, здесь имеет место изменение пространственной мерности от одномерных объектов к двумерным структурам. Каждая точка линии представляется ячейкой растра, и каждая точка линии должна находиться где-то внутри одной из ячеек растра. Легко увидеть, что эта структура данных изображает линии ступенчатым образом (Рисунок 4.9). Этот ступенчатый вид также обнаруживается при изображении областей с помощью ячеек растра (Рисунок 4.9).

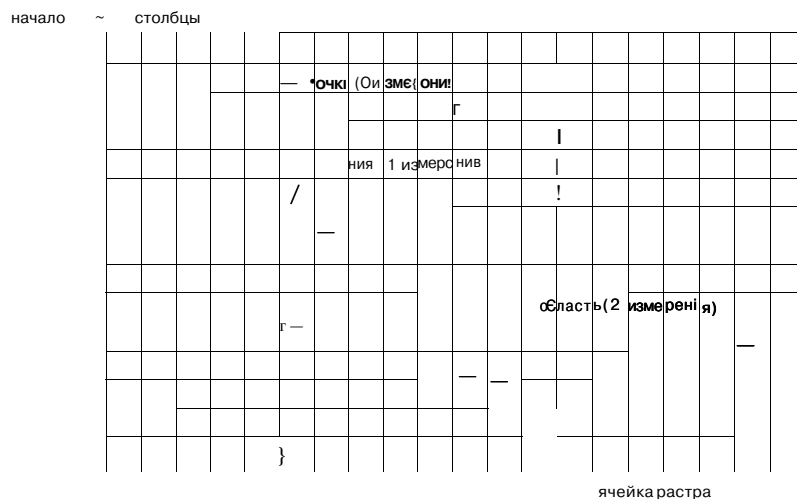


Рисунок 4.9. Растровое представление графики. Рисунок показывает точки, линии и области как объекты квантованного географического пространства. Растровые структуры не содержат точной координатной информации для таких объектов.

В растровых системах есть два способа включения атрибутивной информации об объектах. Простейшим является присваивание значения атрибута (например, класса растительного покрытия) каждой ячейке раstra. Распределяя эти значения, мы в конечном итоге позволяем позициям значений атрибутов играть роль местоположений объектов. Например, если числом 10 мы представляем водную поверхность, и записываем его в левую верхнюю ячейку раstra, то по умолчанию эта ячейка является участком земной поверхности, представляющим воду. Таким образом мы можем каждой ячейке на данной карте присвоить только одно значение атрибута. Альтернативный подход, а на самом деле, - расширение только что описанного, состоит в связывании каждой ячейки раstra с базой данных, так что любое число атрибутов может быть присвоено каждой ячейке раstra. Этот подход становится все более преобладающим, так как он уменьшает объем хранимых данных и может обеспечивать связь с другими структурами данных, которые также используют СУБД для хранения и поиска данных.

Хотя абсолютное местоположение не является явной частью растровой структуры данных, оно подразумевается относительным положением ячеек. Таким образом, линия представляется ячейками в определенных положениях

относительно друг друга; области представляются смежными ячейками. Как вы могли догадаться, чем больше размер ячейки, тем большую площадь земли она покрывает, то есть, тем ниже (грубее) разрешение (resolution) растра, и тем меньше точность положений точек, линий и областей, представленных данной структурой.

Ячейки растра примыкают друг к другу для покрытия всей области. Благодаря этому мы можем использовать номера ячеек по вертикали и горизонтали в качестве координат, а также можем сопоставить с этими номерами обычные декартовы координаты (см. Главу 3). Как мы уже видели, системы прямоугольных координат используют картографические проекции для приблизительного изображения трехмерной формы участка земли. Ячеечное представление может иметь встроенную координатную систему, которая лучше аппроксимирует абсолютное положение, чем декартовы координаты. Например, пикселы изображений дистанционного зондирования (см. Главу 3) создаются в некоторой проекции, и для измерений на растре может помещена более точная координатная сетка. Однако в общем случае точные измерения на любой растровой структуре затруднены. Поэтому когда требуются точные измерения, растровые структуры используются реже, чем другие типы.

Растровые структуры данных могут показаться плохими из-за отсутствия точной информации о местоположении. На самом деле верно обратное. Растровые структуры имеют много преимуществ перед другими. В частности, они относительно легко понимаются как метод представления пространства. Возможно, некоторые из вас видели распечатки изображений героев мультфильмов на календарях, отпечатанных на АЦПУ и столь распространенных в 60-х и 70-х годах. Если нет, то вы уж наверняка знакомы с телевидением, которое использует то же растровое представление изображений. Немногие из нас имеют трудности в опознавании актеров по их изображениям на экране телевизора, даже несмотря на то, что все представлено набором точек (пикселов). В действительности, родство между пикселом, используемым в дистанционном зондировании, и ячейкой, используемой в ГИС, обеспечивает легкий перенос спутниковых изображений в ГИС, основанные на растре, не требуя каких-либо изменений. Это - еще одно преимущество растровых структур данных перед другими. Еще одной замечательной характеристикой растровых систем является то, что, как вы увидите в Главе 12, многие функции, особенно связанные с операциями с поверхностями и наложением (overlay), легко выполняются на этом типе структур данных.

Среди главных недостатков растровой структуры данных - уже упоминавшаяся проблема низкой пространственной точности, которая уменьшает достоверность измерения площадей и расстояний, и

необходимость большого объема памяти, обусловленная тем, что каждая ячейка растра хранится как отдельная числовая величина. Последняя проблема сегодня не так серьезна, как прежде, благодаря огромному росту емкости внешних запоминающих устройств компьютеров. Кроме того, как вы увидите позднее в этой главе, существуют методы уменьшения необходимого для хранения объема памяти, использующие упаковку групп ячеек растра в более компактные формы. Хотя объем памяти и не является теперь главным ограничением в использовании растровых структур, даже самые быстрые компьютеры могут быть загружены до состояния черепашого хода вычислениями высокой сложности, выполняемыми на больших изображениях.

Второй метод представления географического пространства, называемый векторным (vector), позволяет задавать точные пространственные координаты явным образом. Здесь подразумевается, что географическое пространство является непрерывным, а не квантованным на дискретные ячейки. Это достигается приписыванием точкам пары координат (X и Y) координатного пространства, линиям - связной последовательности пар координат их вершин, областям - замкнутой последовательности соединенных линий, начальная и конечная точки которой совпадают (Рисунок 4.10).

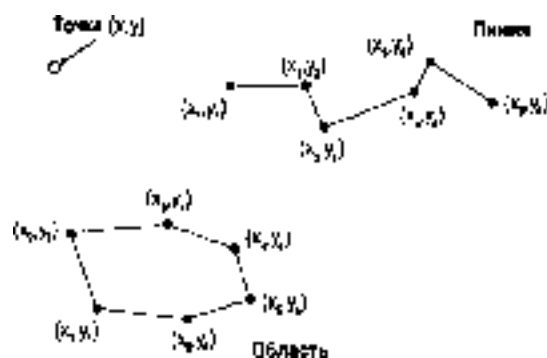


Рисунок 4.10. Векторное представление графики. Рисунок показывает точки как отдельные пары координат, линии - как группы пар координат, области - как соединенные линии с началом и концом в одной точке.

Векторная структура данных показывает только геометрию картографических объектов. Чтобы придать ей полезность карты, мы связываем геометрические данные с соответствующими атрибутивными данными, хранящимися в отдельном файле или в базе данных. Благодаря

этому контурное изображение объектов становится больше похожим на карту. В растровой структуре мы записывали значение атрибута в каждую ячейку, в векторном же представлении мы используем совсем другой подход, храня в явном виде собственно графические примитивы без атрибутов и полагаясь на связь с отдельной атрибутивной базой данных.

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

Хотя некоторые линии существуют самостоятельно и имеют определенную атрибутивную информацию, другие, более сложные наборы линий, называемые сетями, содержат также дополнительную информацию о пространственных отношениях этих линий. Например, дорожная сеть содержит не только информацию о типе дороги и ей подобную, она показывает также возможное направление движения. Эта информация должна быть присвоена каждому отрезку, чтобы сообщить пользователю, что движение может продолжаться вдоль каждого отрезка до изменения атрибутов, возможно, до того момента, когда двухсторонняя улица станет односторонней. Другие коды, связывающие эти отрезки, могут включать информацию об узлах, которые их соединяют. Узел, например, может иметь знак останова, светофор или знак запрета разворота. Все эти дополнительные атрибуты должны быть определены по всей сети, чтобы компьютер знал присущие реальности отношения, которые этой сетью моделируются. Такая явная информация о связности (connectivity) и пространственных отношениях называется топологией (topology). Мы вернемся к этой теме, когда будем рассматривать векторные *модели* данных, которые мы можем создать на основе базовой векторной *структуры* данных.

Площадные объекты могут быть представлены в векторной структуре данных аналогично линейным. Соединяя отрезки линии в замкнутую петлю, в которой первая пара координат первого отрезка является одновременно и последней парой координат последнего отрезка, мы создаем область, или полигон (polygon)*. Как с точками и линиями, так и с полигонами связывается файл, содержащий атрибуты этих объектов.

*То же, что *многоугольник* в геометрии — прим. перев.

Вообще говоря, картографы предпочитают векторные структуры данных перед растровыми из-за их сходства с графическими структурами, чаще всего связываемыми с бумажными картами. За некоторыми исключениями, картографические документы, создаваемые на основе векторных структур данных, сильно напоминают нарисованные от руки карты. Только лишь вывод карт не является главной целью ГИС, но способность измерять и анализировать картографически организованные данные. А для этого необходим какой-то способ комбинирования графических объектов с их атрибутами. Мы упомянули в этой связи использование отдельных файлов с атрибутами и баз данных. Структуры данных должны разрабатываться так, чтобы обеспечивать эту связь, явно или косвенно. Кроме того, существуют многие другие характеристики графических структур, важные с точки зрения анализа карт. Мы должны перейти от простых структур данных к тому, что часто называют моделями данных, которые больше похожи на карты в смысле способности участвовать в анализе. Мы рассмотрим некоторые их типы, как для растровых, так и для векторных структур.

МНОГОСЛОЙНЫЕ МОДЕЛИ ДАННЫХ ГИС

В то время, как растровые и векторные структуры данных дают нам средства отображения отдельных пространственных феноменов на отдельных картах, все же существует необходимость разработки более сложных подходов, называемых моделями данных, для включения в базу данных взаимоотношений объектов, связывания объектов и их атрибутов, обеспечения совместного анализа нескольких слоев карты.

Вначале мы рассмотрим растровые модели, затем - векторные. После этого мы сделаем еще один шаг и рассмотрим способы комбинирования этих моделей данных в системы, в данном случае - геоинформационные системы.

Растровые модели

Как говорилось в начале нашего обсуждения растровых структур данных, каждая ячейка в простейшей такой структуре связана с одним значением атрибута. Для создания растровой тематической карты мы собираем данные об определенной теме в форме двумерного массива ячеек, где каждая ячейка представляет атрибут отдельной темы. Такой двумерный массив называется покрытием (coverage). Мы можем использовать покрытия для представления различных типов тематических данных (землепользование, растительность, тип почвы, поверхностная геология, гидрология и т.д.). Кроме того, этот подход позволяет нам фокусировать внимание на объектах, распределениях и взаимосвязях тем без ненужной путаницы. Поскольку чаще всего мы

интересуемся взаимосвязями одной темы, скажем, типа почвы, с другими, то создаем отдельное покрытие для каждой дополнительной темы. Тогда мы можем сложить эти покрытия наподобие слоеного пирога, в которой сочетание всех тем может адекватно моделировать все необходимые характеристики области изучения. Если мы интересуемся только природными феноменами, то каждый важный компонент физической географии будет представлен отдельно, а вместе они дадут нам полный, многоаспектный вид изучаемой области.

Существует несколько способов хранения и адресации значений отдельных ячеек раstra, их атрибутов, названий покрытий и легенд. Среди первых попыток можно упомянуть подход под названием **GRID/LUNR/MAGI** [Burrough, 1983] (Рисунок 4.11a); все ранние растровые ГИС использовали именно его. В этой модели каждая ячейка содержит все атрибуты вроде вертикального столбика значений, где каждое значение относится к отдельной теме. Так, значение атрибута типа почвы в позиции $X=10$, $Y=10$ будет находиться рядом со значением атрибута типа растительности в той же позиции $X=10$, $Y=10$. Вы могли бы представить это себе как геологический керн, в котором каждый тип породы лежит поверх следующего, и для того, чтобы получить картину всей области исследования, нужно сложить вместе данные многих кернов. Преимуществом, конечно, является то, что относительно легко выполняется вычислительное сравнение многих тем или покрытий для каждой ячейки раstra. Но в то же время, неудобно сравнивать группы ячеек одного покрытия с группами ячеек другого покрытия, поскольку каждая ячейка должна адресоваться индивидуально.

Подумайте хорошенько о том, что бы вы хотели изменить в этом подходе. Возможно, вы подумали о шахматной доске с ее черными и белыми квадратами. Если каждый из таких квадратов представляет тип ландшафта (например, черный - суша, белый - водная поверхность), то мы создали простое покрытие. Но как атрибуты нашего ландшафтного покрытия соединены физически? Мы можем взять в руки всю доску, поскольку она - физически связанная структура. Аналогичным образом, тематическая карта представляет все разнообразные значения темы как единый связный объект. Вполне естественно сходство между доской как единого целого для игры и карты как единого целого для хранения пространственной информации.

В действительности, с небольшим изменением аналогии с шахматной доской, мы можем рассмотреть вторую модель растровых данных, которую назовем моделью данных **IMGRID** (Рисунок 4.11b) потому, что она использовалась в ранней ГИС с таким названием [Burrough, 1983]. Здесь мы примем, что белые ячейки это "вода", а черные - "не вода". Мы упростили тему нашей шахматной карты до хранения одного простого атрибута, а не

целой темы. В этом случае нам нет необходимости хранить широкий спектр значений для каждого покрытия. Вместо этого мы можем использовать числа 1 (белые квадраты) для обозначения присутствия воды и 0 (черные квадраты) - для обозначения ее отсутствия. А как бы мы представили тематическую карту землепользования, содержащую, скажем, четыре категории - зоны отдыха, сельского хозяйства, промышленности и жилья? Каждый из этих атрибутов должен быть выделен как самостоятельный слой. Один слой содержал бы признак только сельского хозяйства, 1 и 0 для него означали бы соответственно наличие и отсутствие такой деятельности в каждой ячейке раstra. Аналогично представляются отдых, промышленность и жилье, причем прямо адресуется теперь каждый признак, а не ячейки раstra, как было в модели данных ОЯГО/ШЫК/МА01. В конечном итоге, слои можно сложить "вертикально" для получения единой карты.

Система 1М<ЖШ имеет два основных преимущества. Во-первых, мы имеем непрерывную структуру, которая больше напоминает карту. То есть, мы храним двумерные массивы чисел для разных слоев, а не массив столбиков. Во-вторых, мы уменьшили диапазон значений для каждого слоя до одного двоичного разряда. Это упростит наши вычисления и устранил необходимость в сложной легенде карты. На самом деле, поскольку каждый признак однозначно идентифицирован одним битом, мы можем не ограничиваться одним атрибутом для каждой ячейки раstra, и это третье преимущество. Например, в некоторой ячейке раstra мы можем иметь частично зоны сельского хозяйства и отдыха. Поскольку каждый из этих атрибутов землепользования хранится в отдельном слое, мы можем показать, что оба вида землепользования имеют место в пределах пространства этой ячейки раstra. Конечно, мы можем встретить трудности, создавая объединенное тематическое покрытие, если внутри некоторых ячеек присутствуют несколько признаков. Чтобы избежать этой проблемы, нам нужно обеспечить, чтобы каждая ячейка имела одно значение для каждого показателя.

Модель Ш в Я Ш выглядит более понятной с точки зрения картографического представления. Более того, она дает преимущество для компьютера в использовании слоя как прямо адресуемого объекта.

Ее ограничения происходят в основном из-за проблемы взрывного роста количества элементов данных. Представьте на минуту, что вы имеете базу данных из 50-ти тем (что вполне возможно). Допустим, что в среднем имеется 10 категорий в каждой теме. Каждая тема должна быть разделена на бинарные (из нулей и единиц) слои, по одному на каждую категорию. Итого, для представления этой вполне умеренной базы данных вам потребуется $10 \times 50 = 500$ слоев. Хотя программное обеспечение и позволяет управлять таким большим "хозяйством", нам нужен более эффективный способ представления нашей базы данных, такой, который не создает так много

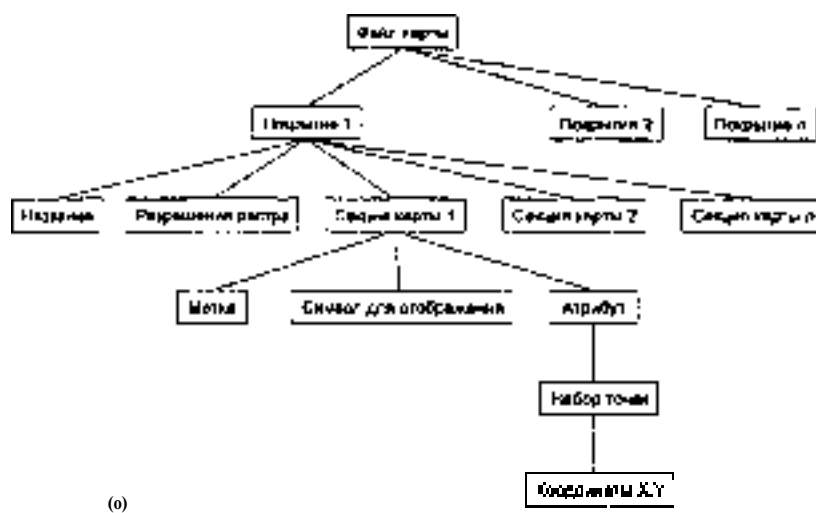
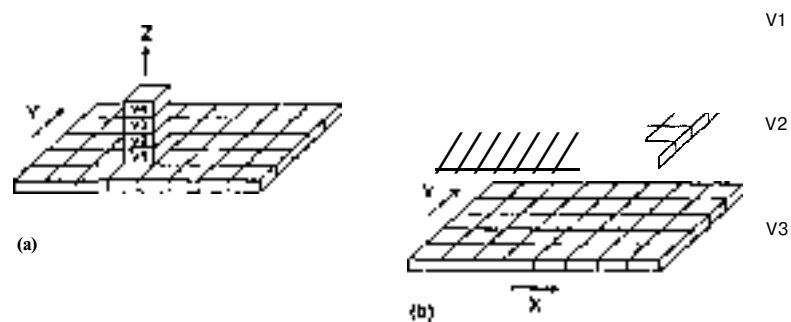


Рисунок 4.11. Три растровые модели данных для множественных покрытий:
а) Модель GRID/LUNR/MAGI; б) Модель IMGRID; в) Модель MAP.

элементов данных, которыми нужно управлять. Рассматривая далее этот подход, представьте себе, как много значений придется модифицировать и записывать для создания каждой новой темы.

Наша третья растровая модель, которую мы назовем MAP по названию системы Пакета анализа карт (Map Analysis Package, MAP) [Burrough, 1983], разработанной Д. Томлин для своей докторской диссертации, формально объединяет преимущества двух предыдущих моделей. В этой модели данных (Рисунок 4.11с) каждое тематическое покрытие записывается и выбирается отдельно по имени карты или названию, что достигается записью каждого показателя (картографической секции) темы покрытия как отдельного числового кода или метки, которая может быть доступна отдельно при выборке покрытия. Метка соответствует части легенды, и с ней связан собственный приписанный ей символ. Таким образом, легко выполняются операции над отдельными ячейками раstra и группами похожих ячеек, а результат изменений величины требует перезаписи только одного числа на картографическую секцию, упрощая тем самым вычисления. Главное преимущество метода MAP состоит в том, что он обеспечивает легкую манипуляцию значениями атрибутов и наборами ячеек раstra в отношении "многие к одному".

Модель данных MAP - одна из наиболее используемых растровых моделей на рынке ГИС. Ее можно найти во многих формах, от ее изначальной версии на больших машинах до вариантов для Macintosh и PC и современных рабочих станций под управлением UNIX. Гибкость и легкость использования сделали ее легкодоступным средством для обучения геоинформатике, она может использоваться в дополнительных модулях коммерческих ГИС-пакетов и даже как основа для полнофункциональных растровых ГИС.

В то время как растровые ГИС традиционно разрабатывались для представления одиночных атрибутов, хранимых индивидуально для каждой ячейки раstra, некоторые из них достигли состояния использования прямых связей с существующими СУБД. Такие расширения растровой модели данных позволили также установить прямую связь с ГИС, использующими векторную структуру графических данных. Поскольку такие интегрированные растрово-векторные системы включают модули, которые преобразуют информацию из растровой формы в векторную и обратно, пользователь может использовать достоинства обеих структур данных. Процесс преобразования часто прозрачен, так что пользователю даже не нужно беспокоиться об исходной структуре данных.

Эта возможность особенно важна, поскольку она усиливает взаимодействие между программным обеспечением традиционной обработки цифровых изображений и геоинформационными системами.

Сегодня уже многие программные системы имеют оба набора функций, и еще больше таких систем появится в будущем. Благодаря еще и взаимодействию с существующими статистическими пакетами мы быстро приближаемся к системам, которые работают с множеством пространственных и непространственных аналитических методов, а в результате - к периоду расцвета компьютерной географии.

Методы сжатия растровых данных

Перед тем как закончить обсуждение растровых моделей данных, мы должны рассмотреть четыре метода хранения растровых данных, которым свойственна существенная экономия дискового пространства. Методы сжатия растровых данных работают внутри подсистемы хранения и редактирования ГИС, но они могут вызываться и напрямую на этапе ввода информации в ГИС. Мы вернемся к этим методам в следующей главе при рассмотрении ввода данных. Подходы, освещаемые в этой главе, проиллюстрированы на Рисунке 4.12.

Первый метод сжатия растровых (и не только растровых) данных называется групповым кодированием. Когда-то растровые данные вводились в ГИС с помощью пронумерованной прозрачной сетки, которая накладывалась на кодируемую карту. Каждая ячейка имела численное значение, соответствующее данным карты, которые вводились (обычно с клавиатуры) в компьютер. Например, для карты размером 200 x 200 ячеек потребуются ввести 40'000 чисел. Если ваш преподаватель сейчас услышит ваше хихиканье, не удивляйтесь, обнаружив себя за этим занятием в качестве упражнения по истории ГИС или урока скромности. На самом деле, вы можете попробовать его как-нибудь, если у вас есть доступ к какой-либо растровой ГИС. Начав вводить, вы быстро обнаружите повторения данных, которые могут быть использованы для уменьшения работы. Конкретнее, в каждом ряду существуют длинные цепочки одинаковых чисел. Подумайте, сколько времени вы сэкономите на одной строке, если бы могли сказать компьютеру, что, например, с позиции 8 по позицию 56 идут одни единицы, а с 57-й позиции до конца ряда идут двойки. В действительности, вы могли бы также сохранить немало объема памяти, записывая только начальную и конечную позицию для каждой цепочки и значение, которое в ней присутствует. В этом и состоит идея группового кодирования.

Конечно, этот метод действует в пределах одной строки раstra. Что, если бы вы могли сказать компьютеру начать с отдельной ячейки со значением 1, затем перейти в определенном направлении, скажем вертикально, на 27 ячеек и тогда изменить значение. Это позволило бы кодировать цепочки в любом направлении. Но принцип может быть расширен и дальше. Допустим,

Групповое кодирование:

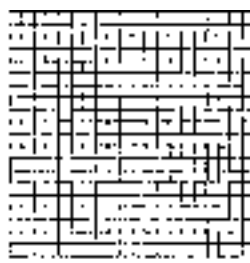
Ввод	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ...
..номер ряда	1 1 1 1 2 2 2 2 2 6
1~4)2 9 6 26	Результаты ввода

значение / * номер конечного столбца группы атрибута

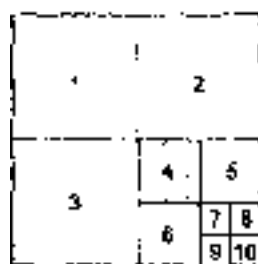
(a)



(b)



(c)



(d)

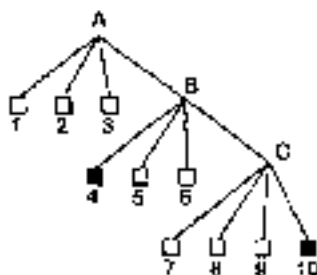


Рисунок 4.12. Методы сжатия растровых данных, а) групповое кодирование, б) блочное кодирование, в) цепочечное кодирование, г) квадродерево.

что вы видите большую группу ячеек раstra, представляющую некоторую область. Если вы начнете с одного угла, задав его координаты и значение ячейки, затем перейдете по главным направлениям (вниз, вверх, вправо, влево) вдоль области, записав число, представляющее направление, и еще одно, равное количеству ячеек, на которое вы переместились, то для записи области потребуется всего лишь несколько чисел. Таким образом, вы бы сохранили еще больше места на диске и, конечно, времени ручного ввода. Этот метод называется цепочечным кодированием (raster chain codes), он буквально прокладывает цепь ячеек раstra вдоль границы каждой области. В общем, вы указываете координаты (X,Y) начала, значение ячеек для всей области, а затем вектора направлений, показывающие, куда двигаться дальше, где повернуть и как далеко идти. Обычно векторы описываются количеством ячеек и направлением в виде чисел 0,1,2,3, соответствующих движению вверх, вниз, вправо и влево.

Есть еще два подхода к сжатию растровой информации, оба ориентированы на квадратные матрицы. Первый, называемый блочным кодированием (block codes), является модификацией группового кодирования. Вместо указания начальной и конечной точек и значения ячеек, мы выбираем квадратную группу ячеек раstra и назначаем начальную точку, скажем, центр или угол, берем значение ячейки и сообщаем компьютеру ширину квадрата ячеек. Как видите, это, в сущности, двухмерное групповое кодирование. Таким образом может быть записана каждая квадратная группа ячеек, включая и отдельные ячейки, с минимальным количеством чисел. Конечно, если ваше покрытие имеет очень мало больших квадратных групп ячеек, этот метод не даст значительного выигрыша в объеме памяти. Но в таком случае и групповое кодирование может быть неэффективно, когда есть мало длинных цепочек одной величины. Но все же большинство тематических карт имеют достаточно большое количество таких групп, и блочное кодирование поэтому очень эффективно.

Квадродерево (Quadtree), последний рассматриваемый нами метод сжатия растровых данных, несколько сложнее, и ваш преподаватель может посчитать ненужным его освещать. Все же существует по меньшей мере одна коммерческая система компании Tydac под названием SPANS и одна экспериментальная система под названием Quilt [Shaffer, Samet, and Nelson, 1987], которые основаны на этой схеме. Как и блочное кодирование, квадратодерево основано на квадратных группах ячеек раstra, но в данном случае вся карта последовательно делится на квадраты с одинаковым значением атрибута внутри. Вначале квадрат размером со всю карту делится на четыре квадранта (СЗ, СВ, ЮЗ, ЮВ). Если один из них однороден (т.е. содержит ячейки с одним и тем же значением), то этот квадрант записывается

и больше не участвует в делении. Каждый оставшийся квадрант опять делится на четыре квадранта, опять СЗ, СВ, ЮЗ, ЮВ. Опять каждый квадрант проверяется на однородность. Все однородные квадранты записываются, и каждый из оставшихся делится далее и проверяется, пока вся карта не будет записана как множество квадратных групп ячеек, каждая с одинаковым значением атрибута внутри. Мельчайшим квадратом является одна ячейка раstra [Вштог^п, 1983].

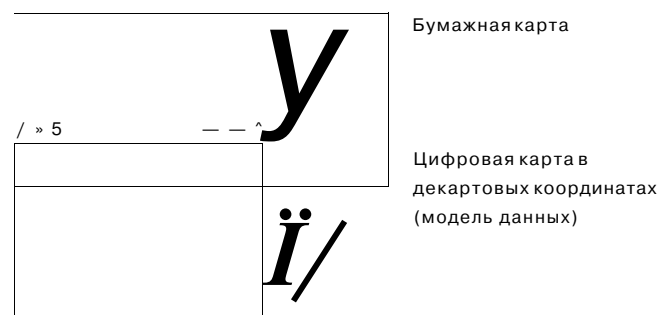
Системы, основанные на квадродереве, называются системами с переменным разрешением, так как они могут оперировать на любом уровне деления квадродерева. Пользователи могут решать, какой уровень разрешения нужен для их расчетов. Кроме того, благодаря высокой степени компрессии данных этого метода, в одной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

Наибольшей трудностью для квадродерева является метод разделения ячеек раstra на регионы, В блочном кодировании решение принимается целиком на основе существования квадратных групп однородности независимо от того, где они находятся на карте. В квадродереве деление на квадранты фиксировано, поэтому некоторые однородные регионы оказываются разбитыми на несколько квадрантов. Это приводит к некоторым трудностям при анализе формы и распределения, которые приходится преодолевать достаточно сложными вычислительными методами, выходящими за рамки данной книги. ГИС, использующие квадродерево, функционируют на рабочих станциях и РС в среде разных операционных систем. Такие программы используются по всему миру и предлагают некоторые интересные возможности, особенно для тех, кто работает с очень большими базами данных.

Векторные модели данных

Как мы уже видели, векторные структуры данных дают представление географического пространства более интуитивно понятным способом и очевидно больше напоминают хорошо известные бумажные карты. Вы также помните, что они представляют пространственное положение объектов явным образом, храня атрибуты чаще всего в отдельном файле для последующего доступа. Существуют несколько способов объединения векторных структур данных в векторную модель данных, позволяющую нам исследовать взаимосвязи между показателями внутри одного покрытия или между разными покрытиями. Мы рассмотрим их на примере трех основных типов: спагетти-модели, топологической модели и кодирования цепочек векторов. Хотя существуют и другие типы, и многие варианты каждого типа, этих должно вам хватить для обзора того, что имеется для векторных ГИС.

Простейшей векторной структурой данных является спагетти-модель [Оа^егтопо!, 1982] (Рисунок4.13), которая по сути переводит "один в один" графическое изображение карты. Возможно, она представляется большинством из нас как наиболее естественная или наиболее логичная, в основном потому, что карта реализуется как умозрительная модель. Хотя название звучит несколько странно, оно на самом деле весьма точно по сути. Если представить себе покрытие каждого графического объекта нашей бумажной карты кусочком (одним или несколькими) макарон, то вы получите достаточно точное изображение того, как эта модель работает. Каждый кусочек действует как один примитив: очень короткие—для точек, более длинные - для отрезков прямых, наборы отрезков, соединенных концами, - для границ областей. Каждый примитив - одна логическая запись в компьютере, записанная как строки переменной длины пар координат (X, Y).



Структура данных

Объект	Номер	Положение
Точка	5	одна пара координат (x,y)
Линия	16	набор пар координат (x,y)
Область	25	набор пар координат (x,y), первая и последняя совпадают

Рисунок 4.13. Спагетти-модель векторных данных. Нет явной топологической информации, модель - прямой перевод графического изображения.

В этой модели соседние области должны иметь разные цепочки спагетти для общих сторон. То есть, не существует областей, для которых какая-либо цепочка спагетти была бы общей. Каждая сторона каждой области имеет

свой уникальный набор линий и пар координат. Хотя, конечно, общие стороны областей, даже будучи записанными отдельно в компьютере, должны иметь одинаковые наборы координат.

Поскольку спагетти-модель выглядит как перевод "один к одному" аналоговой карты, пространственные отношения между объектами (топология), например, такие, как положение смежных областей, - подразумеваются, а не записываются в компьютер в явном виде. И все отношения между всеми объектами должны вычисляться независимо. Результатом отсутствия такого явного описания топологии является огромная дополнительная вычислительная нагрузка, которая затрудняет измерения и анализ. Но так как спагетти-модель очень сильно напоминает бумажную карту, она является эффективным методом картографического отображения и все еще часто используется в компьютеризированной картографии, где анализ не является главной целью. Кроме того, это представление оказывается весьма близким к языку управления многих плоттеров, что упрощает преобразование и повышает его эффективность. Отрисовка на плоттере данных спагетти-модели обычно довольно быстрая по сравнению с другими.

В отличие от спагетти-модели, топологические модели [Dangermond, 1982] (Рисунок 4.14), как это следует из названия, содержат топологическую информацию в явном виде. Для поддержки продвинутых аналитических методов нужно внести в компьютер как можно больше явной топологической информации. Подобно тому, как математический сопроцессор объединяет многие специализированные математические операции, так и топологическая модель данных объединяет решения некоторых из наиболее часто используемых в географическом анализе функций. Это обеспечивается включением в структуру данных информации о смежности для устранения необходимости определения ее при выполнении многих операций. Топологическая информация описывается набором узлов и дуг. Узел (node) - больше, чем просто точка, обычно это пересечение двух или более дуг, и его номер используется для ссылки на любую дугу, которой он принадлежит. Каждая дуга (arc) начинается и заканчивается либо в точке пересечения с другой дугой, либо в узле, не принадлежащем другим дугам. Дуги образуются последовательностями отрезков, соединенных промежуточными (формообразующими) точками. В этом случае каждая линия имеет два набора чисел: пары координат промежуточных точек и номера узлов. Кроме того, каждая дуга имеет свой идентификационный номер, который используется для указания того, какие узлы представляет ее начало и конец.

Области, ограниченные дугами, также имеют идентифицирующие их коды, которые используются для определения их отношений с дугами. Далее, каждая дуга содержит явную информацию о номерах областей слева и справа

от нее, что позволяет находить смежные области. Эта особенность данной модели позволяет компьютеру знать действительные отношения между графическими объектами. Другими словами, мы имеем векторную модель данных, которая лучше отражает то, как мы, пользователи карт, определяем пространственные взаимоотношения, записанные в традиционном картографическом документе.

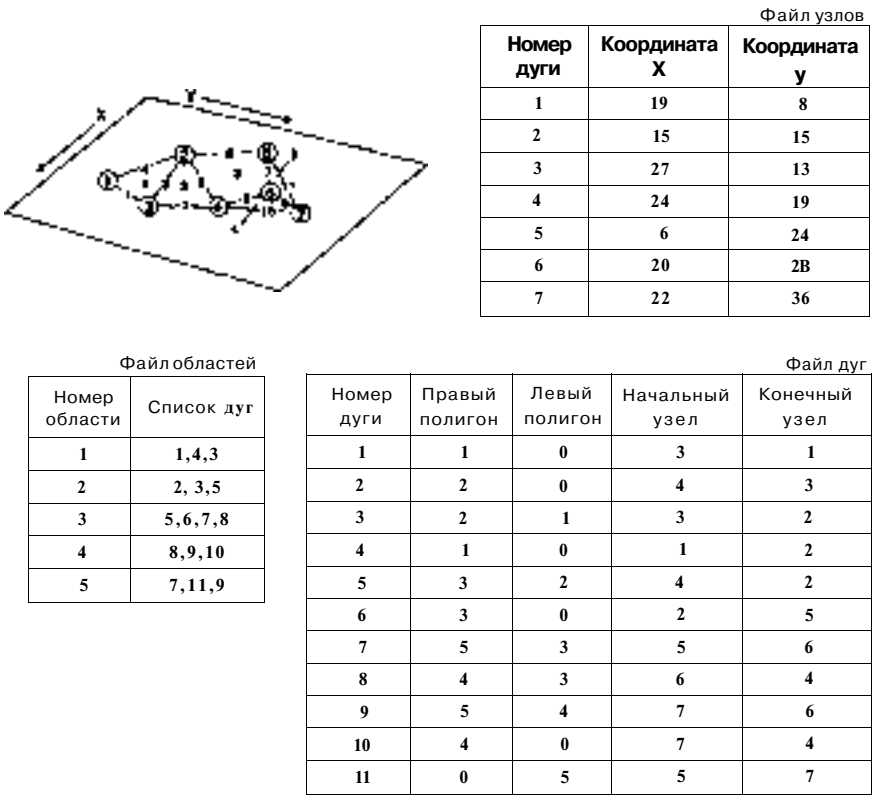


Рисунок 4.14. Топологическая векторная модель данных. Обратите внимание на включение явной информации о соединении узлов, дуг и областей.

Разработаны и применяются несколько топологических моделей данных. Все они немного различаются, и мы посмотрим на некоторые наиболее

общие из них с тем, чтобы выяснить, как можно их реализовать. Возможно, наиболее известной является модель GBF/DIME (geographic base file/dual independent map encoding), созданная Бюро переписи США для хранения в компьютере уличной сети, используемой при переписях, проходящих каждые десять лет [U.S. Department of Commerce, Bureau of the Census, 1969] (Рисунок 4.15а). В ней дуги используются для представления улиц, рек, рельсовых путей и т.д. [Peuquet, 1984]. В этой топологической структуре данных каждая дуга заканчивается при смене направления или при пересечении с другой дугой (то есть, не используются промежуточные точки), а узлы идентифицируются кодами. Вдобавок к базовой топологической модели, GBF/DIME присваивает дугам коды направлений в форме пар Начальный узел - Конечный узел. Этот подход упрощает проверку потери узлов (см. Главу 6) при редактировании. Если, например, вы хотите посмотреть, не потерял ли контур полигона какие-либо дуги, просто проверьте совпадение начального узла каждой дуги с конечным узлом предыдущей дуги. Если где-то обнаружится несовпадение, то это значит, что какая-то дуга потеряна [Peuquet, 1984].

Дополнительным полезным свойством системы GBF/DIME является то, что для каждой дуги явно определены почтовые адреса и координаты UTM, что обеспечивает доступ к адресам через координаты. Однако, эту модель данных преследует та же проблема, что и базовую топологическую модель и, конечно, спагетти-модель тоже. Поскольку нет определенного порядка, в котором отрезки встречаются в системе, то чтобы найти какой-то конкретный отрезок, программа должна выполнить утомительный последовательный поиск по всей базе данных. А это самый медленный из возможных способов поиска. Более того, GBF/DIME основана на идее теории графов, где не важна формальная линия, соединяющей любые две точки. Поэтому сторона многоугольника, используемая для обозначения извилистой границы реки, будет записана не как кривая линия, а как прямая между двумя точками, а результирующая модель не будет иметь графической точности, к которой мы привыкли, общаясь с бумажными картами.

Некоторые проблемы GBF/DIME были устранены с разработкой другой системы, TIGER (topological[^] integrated geographic encoding and referencing system) [Marx, 1986], созданной для использования в переписи США 1990 года (Рисунок 4.15б). В этой системе точки, линии и области могут адресоваться явно, поэтому участки переписи могут выбираться прямо по номеру участка, а не через информацию о смежности, содержащуюся в связях. Кроме того, так как эта модель не полагается не только на теорию графов, объекты реального мира, такие как извилистые реки и нерегулярная береговая линия отображаются графически более точно [Clarke, 1990]. Поэтому файлы TIGER полезны также и для исследований, не связанных с

переписью.

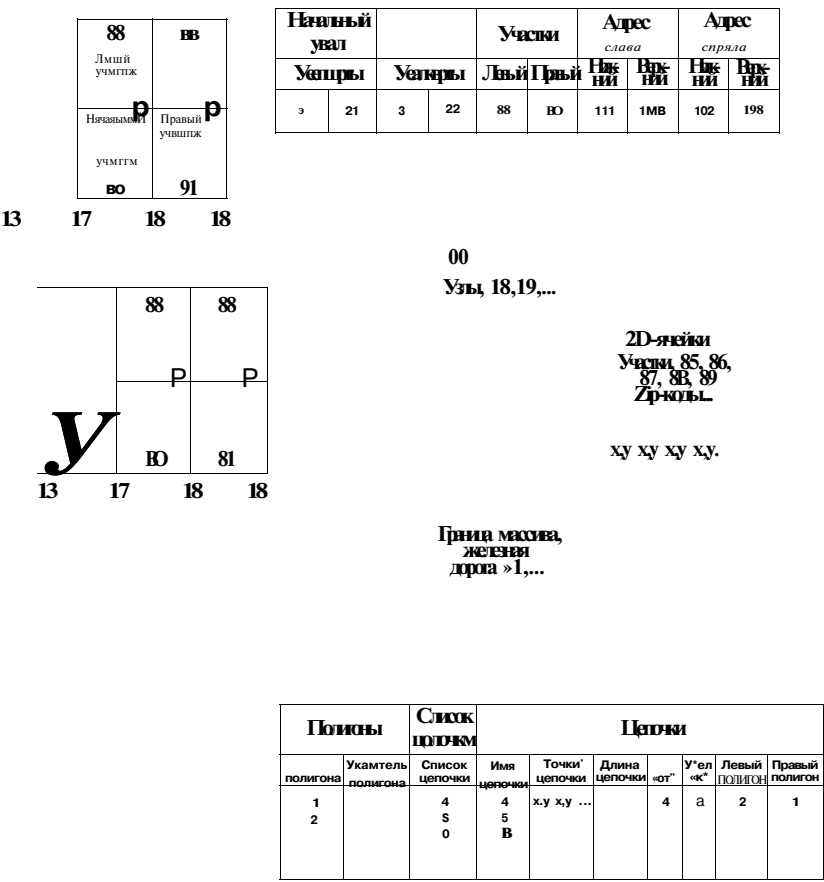


Рисунок 4.15. Топологические модели данных. Примеры топологических векторных моделей данных: а) GBF/DIME, б) TIGER, в) POLYVRT.

Еще одна модель, разработанная Пьюкером и Крисмэном [Peucker and Chrisman, 1975], и реализованная позже в Гарвардской лаборатории компьютерной графики [Peuquet, 1984], называется POLYVRT (POLYgon

conVerTer) (Рисунок 4.15с). Как и TIGER, она устраняет неэффективность хранения и поиска, присущую базовой топологической модели, отдельным хранением каждого типа объектов (точки, линии, области). Эти отдельные объекты затем связываются в иерархическую структуру данных, где точки через указатели связаны с линиями, а линии - с областями. Каждый набор отрезков, называемый в данной модели цепочкой, начинается и заканчивается в определенных узлах (пересечениях двух цепочек). И, как и в GBF/DIME, каждая цепочка содержит явную информацию о направлении в форме "Начальный узел - Конечный узел", а также идентификаторы правых и левых областей (Рисунок 4.15с).

Как и TIGER, POLYVRT имеет преимущество отдельного хранения каждого типа объектов: вы можете выбрать точки, линии или области по желанию, идентифицируя их по кодам (которые, конечно, связаны с записями их атрибутов). Поскольку в POLYVRT списки цепочек, окружающие полигоны, хранятся в явном виде и связаны через указатели с каждым полигоном, размер БД определяется в большей степени числом полигонов, нежели сложностью их геометрических форм. Это повышает эффективность хранения и поиска, особенно в случае сложных полигональных форм, встречающихся у многих природных объектов [Peuquet, 1984]. Главный недостаток POLYVRT - это трудность обнаружения неверного указателя для заданного полигона пока он не будет реально выбран, и даже тогда вы должны точно знать, что этот полигон должен представлять.

Сжатие векторных данных

Рассматривая растровые модели данных, мы обнаружили, что данные могут быть упакованы разными способами для сокращения объема занимаемой памяти. Хотя векторные модели более эффективны при хранении больших объемов пространственных данных, нам все же нужно рассмотреть компрессию. Метод сжатия, который мы сейчас рассмотрим, на самом деле довольно похож на простой процесс кодирования, разработанный более века назад сэром Фрэнсисом Гальтоном [Francis Galton, 1884]. Будет полезно переместиться во времени и присоединиться к английскому ученому, когда он пытался создать рукописную схему записи направлений во время географических экскурсий. Форма, придуманная им, - сама простота. Он просто использовал восемь чисел для обозначения четырех главных и четырех промежуточных географических направлений (Рисунок 4.16а).

Удивительно похожая модель кодирования, разработанная в наше время, известна как цепочечные коды Фримэна-Хофмэна [Freeman, 1974] (Рисунок

4.16b). Целые числа от 0 до 7 назначаются восьми векторам направлений. Метод Фримэна-Хофмэна использует те же главные и промежуточные направления для векторов, что и Гальтон в своих путешествиях для наземной навигации. Назначая длину для каждого вектора, мы можем записывать отдельные линейные объекты, указывая их начало, длину, направление, в котором они рисуются и где они меняют направление. Существуют многие вариации на эту тему, включая увеличение количества кодов до 16-ти (Рисунок 4.16с) или даже до 32-х для увеличения точности. Результат один - сокращение объема векторной БД.

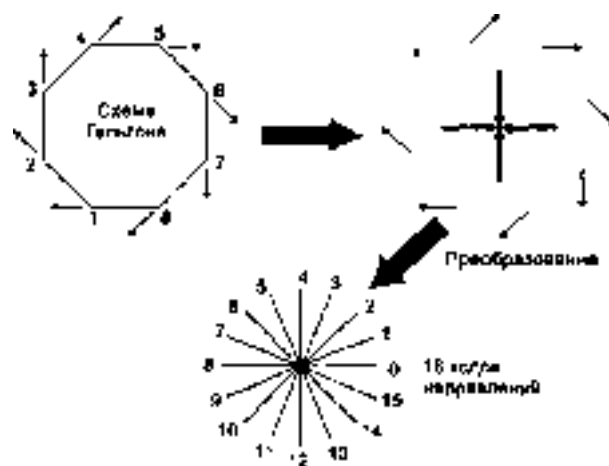


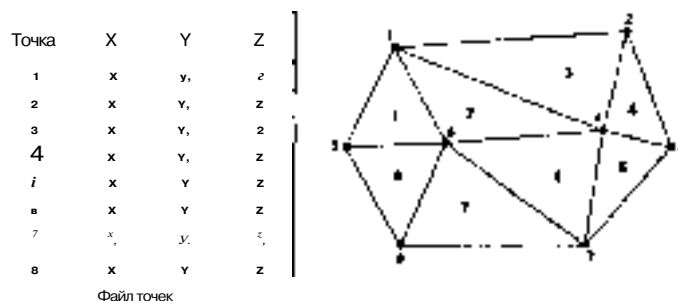
Рисунок 4.16. Цепочечные коды. Сравнение компактных моделей для указания направлений: разработанной сэром Фрэнсисом Гальтоном и усовершенствованной в виде цепочечных кодов Фримэна-Хофмэна. Обратите внимание на сильное сходство между старой и новой моделями.

Хотя модели цепочечных кодов существенно экономят память, они, как и спагетти-модель, не содержат явной топологической информации. Это ограничивает их полезность для функций хранения, выборки и вывода из-за аналитических ограничений нетопологических структур данных. Кроме того, тот способ, которым кодируются линии и области в виде векторов, при выполнении преобразований координат, особенно поворотов, вызывает значительные накладные вычислительные расходы. Модели цепочечных кодов хороши для определения расстояний и форм, поскольку большая часть этой информации имеется в самих направляющих векторах. И поскольку этот подход очень похож на то, как работают векторные плоттеры (см. Главу

14), эти модели эффективны для выполнения быстрого вывода на плоттер.

Векторная модель для представления поверхностей

До сих пор мы игнорировали поверхности, хотя они являются фундаментальными явлениями, которые мы моделируем с помощью ГИС. Они существенно различаются по способам представления, особенно векторным. В растре географическое пространство подразумевается дискретным, каждая ячейка раstra занимает определенную площадь. В пределах этого дискретизированного, или квантованного, пространства ячейка может иметь атрибут абсолютного значения высоты, которое наиболее представительно для этой ячейки. Это может быть наивысшее или наименьшее значение или некая средняя величина высоты. Таким образом, существующие растровые структуры данных вполне способны представлять поверхности.



Треуголь- ника	Вершины			Соседние треугольники		
i	1	v	5	2	8	
2	1	4	v	1	л	v
3	1	2	4		4	2
4	2	5	4	3		5
5	4	3	7	4		v
v	v	4	7	2	5	7
7	v	7	8	v		v
8	5	v	8	1	7	

Файл треугольников

Рисунок 4.17. Модель TIN. Векторное представление поверхностей образуется соединением точек с известными значениями высоты. Модель называется нерегулярной триангуляционной сетью (TIN).

Но в случае векторов картина совсем другая. Как вы помните, большая часть пространства между графическими примитивами подразумевается, а не определяется явным образом. Для определения этого пространства именно как поверхности мы должны квантовать ее неким способом, который сохраняет важные изменения поверхностной информации и косвенно выражает области с одинаковыми данными высоты. Простой способ представить себе это - рассмотреть как минералогии или кристаллографы описывают минералы. Каждый кристалл имеет набор гладких граней, соединенных точками и линиями, которые показывают значительные смены в его структуре. Аналогично, мы можем представить себе топографическую поверхность в виде природного кристалла с его плоскими гранями, ребрами и вершинами (Рисунок 4.17). Таким образом, мы можем моделировать поверхность, создавая последовательности регулярно или нерегулярно распределенных точек. Каждая точка имеет явно заданную высоту. Проводя через три близлежащие точки плоскость, мы можем изобразить треугольную область постоянного уклона. Полученные таким образом треугольники создают структуру, представляющую по сути "кристаллоподобную" модель нашей поверхности.

Эта модель, называемая нерегулярной триангуляционной сетью (triangulated irregular network (TIN)), позволяет нам использовать для описания рельефа точки некоторой сетки. Точки могут размещаться как регулярно, так и нерегулярно. Для получения модели поверхности нам нужно соединить пары точек ребрами определенным способом, называемым триангуляцией. Тогда, при необходимости получения трехмерного представления, TIN может быть показана в виде проволочной модели или модели с закрашенными гранями. Кроме построения TIN, точечные данные могут использоваться для традиционного представления поверхностей изолиниями. Это особенно элегантное средство представления поверхностей на самом деле использовалось в качестве главной структуры данных в ранних системах работы с данными поверхностей [DeMers and Fisher, 1991]. Мы вернемся к модели TIN в Главе 10.

Гибридные и интегрированные системы

Мы прошли путь усложнения от файловых структур через СУБД к моделям пространственных данных. Теперь нам нужно сделать еще один шаг на пути к законченным системам. Большинство растровых систем просты настолько, что сама модель данных дает относительно полное описание. В векторных же системах существуют два основных подхода к интеграции графических элементов модели данных с БД атрибутов. Полезно рассмотреть эти две модели не только потому, что они различаются в основе, но и потому,

что векторные ГИС сейчас доминируют на рынке. Двумя главными типами векторных ГИС являются **интегрированные и гибридные системы.***

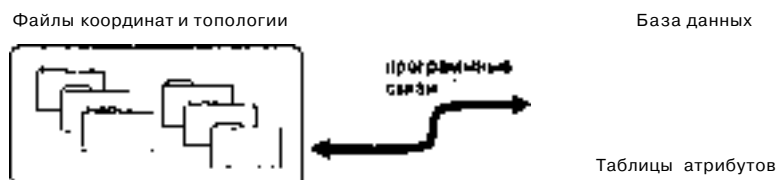


Рисунок 4.18. Гибридная векторная ГИС с хранением атрибутов во внешней БД.
Файлы графических данных программно связываются с СУБД, хранящей атрибутивную информацию.

Существование гибридной модели данных ГИС - подтверждение того, что хотя ее структуры данных эффективны по отношению к графическим характеристикам объектов, им не хватает той же эффективности в управлении атрибутивными данными [Aronson, 1985; Morehouse, 1985]. И наоборот, СУБД общепризнанны как средство управления атрибутивными типами данных, но плохо приспособлены к работе с графическими объектами. Выглядит вполне логичным, что программное объединение этих двух технологий позволит взять лучшее из каждой. Для реализации этого подхода координатные и топологические данные, требуемые для графики, хранятся как отдельный набор файлов (Рисунок 4.18). Таблицы атрибутов, содержащие все необходимые описательные данные для каждого графического объекта, хранятся отдельно либо в других файлах, либо под управлением СУБД общего назначения. Связь между графикой и атрибутами осуществляется через идентификационные коды графических объектов, имеющиеся в графических файлах, и которые также хранятся в отдельной колонке атрибутивной БД. Благодаря возможности внешнего хранения многих атрибутов для каждого объекта растут аналитические возможности и возможна экономия памяти. В число гибридных входят основанные на САПР системы INTERGRAPH IGDS/DMRS, векторно-топологические ARC/INFO, GEOVISION, и INTERGRAPH MGE, а также по меньшей мере одна основанная на квадродереве система SPANS. Подробное рассмотрение этих систем выходит за рамки данной книги, и мы отсылаем читателя к справочным работам по ГИС и СУБД [Healey, 1991; Maquire, Goodchild, and Rhind, 1991].

* Следует различать два смысла термина "гибридные" применительно к ГИС. Им могут обозначаться системы, интегрирующие растровые и векторные данные, а также системы, хранящие графические и атрибутивные данные в различных файлах или графику - в файлах, а атрибуты - под управлением внешней СУБД. Системы с раздельным хранением графики и атрибутов называются также геореляционными.

Другим подходом к хранению графических и атрибутивных данных является интегрированная модель данных. В этом случае ГИС является процессором пространственных запросов, надстроенным над стандартной СУБД, которая используется для хранения как атрибутивной, так и графической информации [Guptill, 1987; Morehouse, 1989]. Интегрированная система хранит координаты объектов карты и атрибуты в разных таблицах одной БД (Рисунок 4.19), которые связываются механизмом, подобным реляционному соединению [Neale, 1991]. Кроме того, атрибуты могут размещаться в тех же таблицах, что и графика.

Номер точки	X	Y
1	25,4	27,5
2	24,8	45,8
3	27,8	50,4
4	28,9	43,7
Таблица точек		

Номер полигона	Номер линии
34	12
34	14
34	17
34	21
36	78
36	84
Таблица полигонов	

Номер полигона	Атрибут
34	104
36	624
37	108
38	107
30	53
41	91
Таблица атрибутов	

Реляционное соединение

Рисунок 4.19. Интегрированная ГИС. Для хранения графики и атрибутов может быть организована единая БД.

Существуют два способа хранения координатной информации в реляционных таблицах. В первом записываются отдельные пары координат, представляющие точечные объекты, а также конечные и промежуточные точки линий и границ областей, как индивидуальные атомы, или строки, базы данных. Этот подход удовлетворяет нормальным формам Кодца, но сильно затрудняет поиск, так как каждый графический примитив должен восстанавливаться из атомизированного представления для воссоздания целых полигонов или их групп. Даже при одном только отображении карты выбираются большие группы графических элементов, и эта функция используется чаще, чем пользователи могут думать, просматривая результаты промежуточных шагов анализа. Чтобы избежать этого неудобства, интегрированная модель может записывать в одну колонку таблицы целые цепочки координатной информации. Таким образом, одна область может быть описана одной строкой таблицы, содержащей в одной колонке идентификатор области, а в другой - список идентификаторов линий. Тогда линии, идентифицируемые по этому коду в отдельной колонке таблицы

линий, описывали бы расположение области набором пар координат. Этот подход сокращает расходы на выборку и отображение, но нарушает первую нормальную форму. Обычно с точки зрения пользователя это не является серьезной проблемой, а группировка этих неатомизированных цепочек данных в виде одномерных массивов в одной колонке обеспечивает более высокую производительность системы [Dimmick, 1985] при более строгом выполнении правил первой нормальной формы [Sinha and Waugh, 1988].

Выбор гибридной или интегрированной системы для большинства пользователей вопрос скорее прагматический, чем технический. Каждая имеет свои достоинства, и с переходом к более мощным компьютерам, сетевым технологиям и распределенным вычислениям обе могут дать широкий спектр аналитических возможностей. Для большинства из нас, во всяком случае для новичков, выбор будет сделан другими. Те же, кто находится в более завидном положении самостоятельного выбора, хотя и определить, какая из них лучше всего соответствует имеющемуся оборудованию и будущим сетевым потребностям. Оба типа систем совершенствуются, и нужно будет запросить у поставщика подробные спецификации и даже тесты производительности на заданных аппаратных конфигурациях.

Помимо двух уже рассмотренных моделей высокого уровня на сцену выходит третья, называемая **объектно-ориентированной моделью данных**. Эта модель включает язык пространственных запросов [Healy, 1991] и отражает признание того факта, что требуется объектно-ориентированный доступ и к БД ГИС и к выполняемым с ней операциям. Идеи, лежащие в основе этих систем практически идентичны объектно-ориентированному подходу в программировании [Agonson, 1987].

Относительно понятия "объектно-ориентированный" не существует общего соглашения, но известно, что "объект" это есть некая сущность, которая имеет *состояние*, представляемое локальными переменными (этого объекта) и набором *операций*, которые могут применяться к этому объекту*. Поскольку каждый отдельный объект принадлежит какому-то множеству объектов и операций, его можно рассматривать как член этого **класса** (т.е. множества, определенного одновременно наборами локальных переменных и операций). Каждый из этих классов наследует свойства от своего **надкласса** - подобно тому, как люди наследуют характеристики более общего множества, называемого млекопитающими. В случае ГИС для иллюстрации этой идеи можно привести пример класса объектов *полигон*, который дает каждой области в базе данных все ее свойства (например, списки узлов, дуг и областей; процедуры вычисления центроидов, отображения, наложения

* для полноты следует еще упомянуть и *события*, которые может порождать объект — прим. перев.

полигонов и т.д.) (Рисунок 4.20).



Рисунок 4.20. Объектно-ориентированная ГИС. Пример иерархии классов объектов, как они могли бы быть сконфигурированы в объектно-ориентированной ГИС.

Кроме того, в контексте ГИС класс объектов *полигон* является надклассом по отношению к множеству объектов, называемых *участок земли*. Таким образом, объекты этого класса наследуют переменные и операции надкласса *полигон*, а также имеют свои собственные характеристики (например, категория участка, его цена, владелец, процедуры передачи собственности, перезонирования). Эта явная связь переменных и операций, вместе со наследованием свойств, лучше соответствует реальным географическим запросам. Она также обеспечивает метод передачи изменений в одном множестве объектов связанным с ним объектам.

Примером объектно-ориентированной ГИС является система INTERGRAPH TIGRIS [Herring, 1987], которая основана на объектно-ориентированном программировании, а не на новых разработках объектно-ориентированных СУБД. Эта технология очевидно проникает в среду ГИС, но пока объектно-ориентированные подходы предлагают лишь некоторые потенциально мощные инструменты географического моделирования и не являются широко доступными для массового потребителя. Недостаточная ориентированность на конечного пользователя не должна отпугивать тех, кто желает с ними поэкспериментировать, особенно если бюджет организации позволяет иметь несколько систем.

Вопросы

1. Объясните фундаментальную разницу между простым набором графических примитивов и картой с точки зрения представления графической информации. В чем трудность в переносе карты в компьютер?
2. Если мы собираемся главным образом пользоваться программами, а не писать их, то почему мы должны знать об основных структурах файлов, структурах баз данных и графических структурах данных?
3. В чем различие структур неупорядоченного и упорядоченного файла? Какая из них более эффективна для добавления записей? Какая более удобна для поиска записей? Приведите пример того, как работает структура упорядоченного файла.
4. Что такое индексированные файлы? Чем они отличаются от упорядоченных файлов? В чем их достоинства? Какая из них более эффективна для поиска данных?
5. Что такое иерархическая структура базы данных? Как она работает? Приведите пример. Каковы ее ограничения, особенно с точки зрения ГИС?
6. Что такое сетевая структура БД? Как в ней отслеживаются записи? В чем ее преимущества и недостатки по сравнению с иерархическими системами?
7. Что такое реляционная СУБД? Как она работает? Какие преимущества и недостатки она может иметь по сравнению с СУБД других типов?
8. Что такое первичный ключ? Отношение? Внешний ключ? Реляционное соединение?
9. Что такое нормальные формы? Перечислите первые три нормальные формы и опишите ограничения, которые они накладывают на СУБД.
10. Опишите процесс квантования пространства на ячейки раstra одного размера. Как влияет размер ячеек на точность определения местоположения? Как бы вы записали точки, линии и области с использованием растровой системы?
11. В чем возможные преимущества и недостатки использования растровых ГИС по сравнению с векторными?
12. Опишите векторную структуру графических данных. Чем она отличается от растровой по своей способности выражать положения объектов в пространстве? Как она обходится с пространством между объектами и другими пространственными отношениями по сравнению с растром?
13. Опишите методы сжатия растровых данных. Зачем они нужны? Какова главная проблема представления наземных объектов с помощью квадродерева по сравнению с методом блочного кодирования?
14. Опишите векторную спагетти-модель. Каковы ее преимущества и

недостатки?

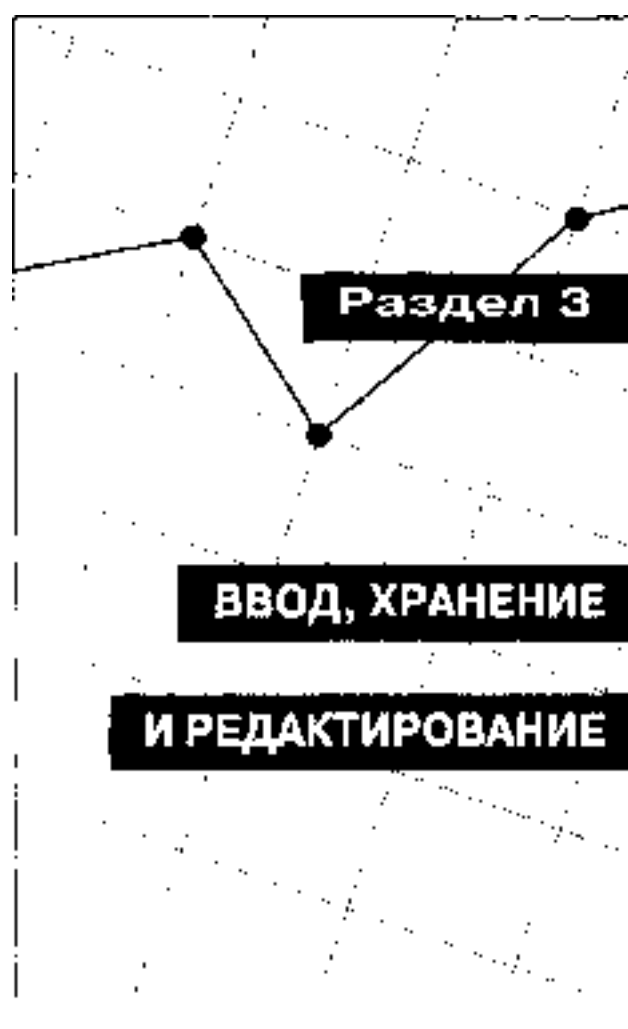
15. Опишите базовую топологическую векторную модель данных. Чем она отличается от спагетти-модели? Как достигается эта разница? Приведите примеры топологических моделей. Опишите их различия. Каковы преимущества и недостатки каждой?

16. Какой метод может применяться для сжатия векторных данных? Как он работает?

17. Опишите модель TIN. Как она квантует пространство в отличие от растровых моделей? Почему нужно разрабатывать такую модель для векторных ГИС?

18. В чем главное различие между гибридными и интегрированными ГИС? Изобразите хранение и доступ к данным в каждой системе.

19. Объясните в общих словах, что такое объектно-ориентированная ГИС и укажите ее потенциальные преимущества перед другими системами.



Ввод данных в ГИС



Приготовление к нашему путешествию близится к концу. Мы осмотрели наш инструментарий и разработали концептуальную основу для исследования нашего мира, теперь нам нужно сложить все наши инструменты в целостный, удобный комплект. Мы начнем с подготовки карт, подобно тому, как мы начинали бы настоящее путешествие. В данном случае мы посетим цифровой мир, где можем исследовать наземные объекты и их отношения. Готовясь к путешествию, нам нужно решить, какие карты нам понадобятся, выбрать подходящий масштаб, собрать сами карты, отметить на них важные ориентиры и маршруты, которые будут нас направлять. Для нашего цифрового путешествия мы должны собрать карты и все важные характеристики, подготовить их для ввода в наш цифровой мир и ввести их в согласованном виде в базу данных ГИС. Тогда мы сможем исследовать их элементы и их отношения.

Как и в случае с обычными путешествиями, ожидания часто затмевают важность приготовлений. Нам хочется поскорее начать исследование нашего цифрового мира, задавать вопросы, наблюдать мириады явлений. Но если мы не подготовлены должным образом, мы можем вскоре обнаружить, что заблудились. Да, подготовка не увлекает, она скучна, часто трудна и требует времени. В случае ГИС одно только построение базы данных часто занимает три четверти времени. В коммерческих приложениях это означает, что три четверти стоимости системы также уйдет на эту операцию и редактирование, о котором пойдет речь в следующей главе.

Постарайтесь запомнить, что хорошая подготовка приводит к успеху как реального, так и "цифрового" путешествия. Запаситесь терпением и временем для изучения методов, которые вам понадобятся, и потренируйтесь в обнаружении возможных проблем, которые вносят ложку дегтя в бочку меда хорошей БД ГИС. При том, что процесс ввода медленен и часто болезнен, внимание, проявленное по отношению к нему в первый раз, даст значительный выигрыш в дальнейшем, при редактировании. На самом деле, поиск и исправление одной ошибки иногда может потребовать гораздо больше времени, чем нужно для корректного ввода данных. И, конечно, чем меньше вам придется просидеть за редактированием, тем раньше вы сможете начать основную работу.

Есть много способов ввода данных. Одни выглядят примитивными, вроде помещения прозрачной сетки на карту. Другие – более современные, так как используют устройства цифрового ввода – дигитайзеры и сканеры.

Возможно, в вашем курсе геоинформатики будут практические упражнения по вводу карт в ГИС. Даже если и нет, то наверняка вам удастся пообщаться с людьми, которые выполняют ввод в рамках каких-то исследований. Потратьте некоторое время, наблюдая этот процесс. Это наблюдение или ваши собственные упражнения дадут вам представление о том, насколько длителен процесс создания базы данных со многими картографическими покрытиями. По меньшей мере, это научит вас ценить эту работу и время, потраченное при использовании данной подсистемы ГИС. Это также позволит вам оценить, какую экономию времени можно получить, если есть возможность приобретения готовых цифровых данных.

ПОДСИСТЕМА* ВВОДА

Перед тем, как мы сможем использовать структуры данных, модели и системы, рассмотренные в Главе 4, мы должны преобразовать нашу реальность в форму, понимаемую компьютером. Методы, при помощи которых это будет сделано, зависят в некоторой степени от имеющегося оборудования и от конкретной системы, что под рукой. Независимо оттого, что у нас за система и как мы собираемся вводить в нее пространственные данные, подсистема ввода будет иметь общие с другими характеристики. Во-первых, она спроектирована для переноса графических и атрибутивных данных в компьютер. Во-вторых, она должна отвечать хотя бы одному из двух фундаментальных методов представления графических объектов – растровому или векторному. В-третьих, она должна иметь связь с системой хранения и редактирования, чтобы гарантировать сохранение и возможность выборки того, что мы введем, и что можно будет устранять ошибки и вносить изменения по мере необходимости.

Устройства ввода

Самые разные типы устройств использовались и используются для ввода информации в компьютер. Большинство из них, если не все, в большей или меньшей степени используются сегодня для ввода в ГИС. Возможно, первым подходом к картографическому вводу было утомительное и подверженное ошибкам использование прозрачного материала с нанесенной сеткой, с помощью которого данные, ячейка за ячейкой, вводились вручную в компьютер. В большинстве случаев ячейкам раstra присваивались числовые значения, которые, опять же вручную, друг за другом вносились в компьютер.

Это требовало применения некоторого правила, определяющего, где внутри ячейки растра помещался вводимый объект. В качестве такой точки может использоваться центр ячейки или любой из четырех ее углов (имеется в виду растр из прямоугольных ячеек). В то время как знание точного положения точки пространственной привязки каждого элемента принципиально необходимо для векторных систем, также важно определить это и для растровых данных, которые будут представляться внутри компьютера ячейками растра. Представьте себе, например, измерение расстояния на основе количества ячеек растра: вам нужно будет знать, от чего вы отсчитываете, — от сторон ячеек или от их центров. В конце концов, помните, что всякая ячейка растра занимает некоторую площадь. И чем больше эта площадь (т.е. чем ниже разрешение), тем более значимым становится этот вопрос.

Хотя большинству из нас не придется вводить данные с помощью прозрачной сетки, в некоторых мелких проектах это все-таки бывает нужно, как и в некоторых учебных заведениях, где желают продемонстрировать процесс оцифровки на его первобытном уровне. Обычно вы будете работать с более современным и сложным оборудованием. Для ручного ввода пространственных данных стандартом является дигитайзер (digitizer). Он является более совершенным и гораздо более точным родственником наиболее широко используемого графического манипулятора — мыши, которую пользователь может свободно перемещать по практически любой поверхности. Внутри мыши находятся датчики, которые реагируют на вращение резинового шара, помещенного внутрь корпуса мыши. Для увеличения точности подобного устройства в дигитайзере используется электронная сетка на его столике.

К столику присоединено подобное мыши устройство, называемое курсором, которое перемещается по столу в различные положения на карте, которая к этому столу прикреплена. Курсор обычно имеет перекрестие, нанесенное на прозрачную пластинку, которое позволяет оператору позиционировать его точно на отдельных элементах карты. Кроме того, на курсоре размещены кнопки, которые (число их зависит от уровня сложности устройства) позволяют указывать начало и конец линии или границы области, явно определять левые и правые области и т.д. Использование кнопок определяется в основном спецификой программы ввода.

Рабочая поверхность дигитайзера может быть гибкой или жесткой, размерами от книжной страницы до очень больших форматов для размещения больших карт, даже с запасом (Рисунок 5.1). Некоторые из крупноформатных дигитайзеров имеют подъемно-поворотное основание, позволяющее оператору устанавливать оптимальное для работы положение стола. Размер стола определяется частично размером вводимых документов,

частично - размером бюджета. Обычно с уменьшением размера уменьшается и цена. Кроме того, существует прямая зависимость между ценой прибора и его точностью. Недорогие дигитайзеры обычно дают приемлемые результаты, а с развитием технологии цена этих устройств постоянно снижается. Современные дигитайзеры могут обеспечить разрешение около 0.03 мм с общей точностью, приближающейся к 0.08 мм на площади 1 x 1.5 м [Cameron, 1982].

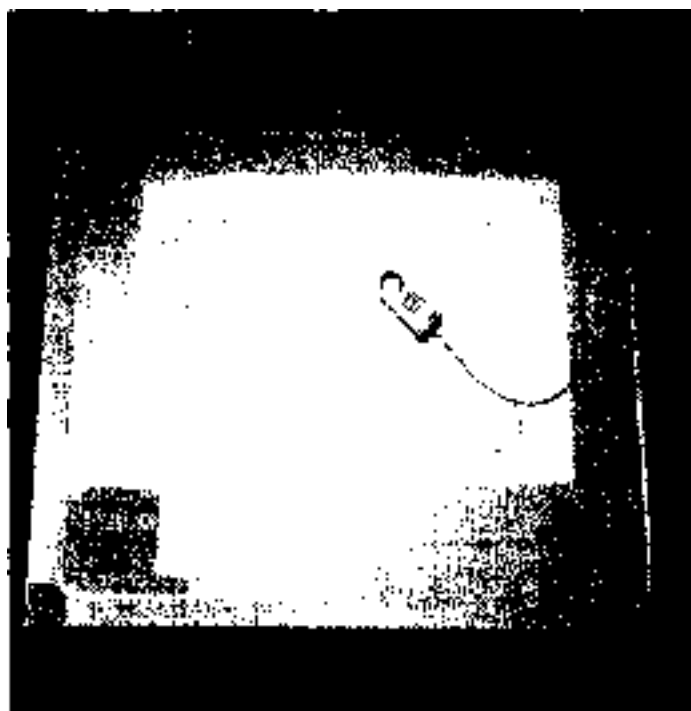


Рисунок 5.1. Крупноформатный дигитайзер. Большинство таких столов позволяют менять высоту и угол наклона рабочей поверхности.

Факторы, определяющие выбор дигитайзера, включают стабильность, воспроизводимость, линейность, разрешение и перекос (stability, repeatability, linearity, resolution, skew). Стабильность характеризует сохранение значений отсчетов в процессе прогрева аппаратуры. Новичка может привести в полное

замешательство изменение показаний прибора при том, что курсор остается на месте. Простейшее решение состоит в том, чтобы подождать, пока аппаратура прогреется. Если же дрейф не исчезает даже после прогрева, то, возможно, что дигитайзер требует ремонта или замены.

Воспроизводимость - синоним точности. Если вы помещаете курсор в одну и ту же точку дважды, насколько близки будут отсчеты? Хорошие дигитайзеры должны обеспечивать расхождение не более 0.03 мм [Camegon, 1982]. Линейность характеризует способность дигитайзеры обеспечивать отсчеты в пределах заданного допуска при перемещении курсора на большие расстояния. Для современного оборудования обычна нелинейность 0.08 мм на расстоянии 1.5 м. Разрешение - это способность дигитайзера фиксировать малые смещения, другими словами, чем меньше порции, которыми он может оперировать, тем выше его разрешение. Оно похоже на разрешающую способность видеокамеры или датчика дистанционного зондирования. Разрешение 0.03 мм - очень хорошее и может оказаться избыточным для большей части работы с ГИС. Наконец, перекося является мерой прямоугольное™ координат дигитайзера, он отвечает на вопрос о том, насколько точный прямоугольник образуют крайние положения курсора. На некоторых участках площади стола дигитайзера, особенно по краям, снижается точность отсчетов, поэтому рабочая площадь обычно меньше размеров стола.

С расширением использования компьютеров растет и автоматизация ввода в них информации. Для автоматизации ввода карт используются такие устройства, как автоматизированные дигитайзеры и растровые сканеры с программами векторизации или без них.

Автоматизированные дигитайзеры, или дигитайзеры с отслеживанием линий, имеют устройство, подобное головке оптического считывания проигрывателя компакт-дисков. Оно фиксируется на выбранной пользователем линии (как проигрыватель фиксируется на дорожке записи) и, самостоятельно следуя вдоль нее, передает координаты точек линии в компьютер. Эти устройства требуют постоянного участия оператора, так как их нужно вручную устанавливать на каждую новую линию для продолжения процесса сканирования. Кроме того, они легко могут ошибаться на сложных картах и картах с низкой контрастностью изображения. Например, когда линия расщепляется надвое, вполне обычна ситуация, когда сканер не знает, куда идти дальше. Эта проблема может оказаться еще тяжелее, линии изображаются пунктиром, который дигитайзер не может проследить из-за разрывов или из-за того, что цвет светлее и имеет меньший контраст, чем исходная линия.

Большее распространение получили растровые сканеры. Они позволяют вводить растровое изображение карты в компьютер без вмешательства

оператора - ему нужно только установить параметры и нажать кнопку "Старт". Для ввода цветных карт и снимков следует использовать цветные сканеры, для панхроматических снимков и топографических карт достаточно черно-белых сканеров, которые несколько дешевле. Если карта должна храниться в векторной модели данных, то после сканирования растровое изображение должно быть векторизовано. Векторизация в компьютере выполняется подобно тому, как работает сканер с отслеживанием линий, но здесь уже возможно более "разумное" поведение алгоритма, самостоятельно находящего и оцифровывающего линии. Здесь также наиболее удачно оцифровываются контрастные карты невысокой сложности.

Сами растровые сканеры делятся на ручные, роликовые (с протяжкой листа), планшетные и барабанные. Планшетные сканеры представляют из себя прозрачное стекло, на которое кладется оригинал, и под которым перемещается лампа и устройство оптического считывания. Ручной сканер является, по сути, оптической головкой планшетного сканера, и пользователю приходится самому двигать ее по поверхности оригинала. Очевидно, что точность сканирования ручных сканеров - самая низкая, поэтому устройства этого вида практически не пригодны для ввода карт. Сканеры с протяжкой листа действуют подобно факсовому аппарату, т.е. в них движется не головка считывания, а сам оригинал, как в пишущей машинке. Эти устройства обладают точностью, меньшей, чем планшетные сканеры, но зато позволяют сканировать очень длинные оригиналы. В барабанных сканерах оригинал закрепляется на круглом барабане, вдоль которого перемещается головка считывания. Эти устройства могут обеспечить высокую точность сканирования очень больших оригиналов.

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

Наиболее продвинутые (и, конечно, наиболее дорогие) сканеры образуют категорию так называемых фотограмметрических сканеров. Для них характерны очень высокая точность и стабильность, которые должны регулярно подтверждаться процедурами калибровки.

Другой вид сканеров, барабанный, использует более подобный растровому подход, который на самом деле ближе к векторному режиму. Карта прикрепляется к барабану, который вращается, в то время как чувствительный датчик прибора перемещается под прямым углом к направлению вращения. Таким образом, сканируется вся карта, линия за

линией. Записывается каждое положение на карте, даже если там нет картографических объектов. В результате создается подробное растровое изображение всей карты. Барабанные сканеры могут давать как монохромное, так и цветное изображение. В последнем случае каждый из трех основных цветов должен сканироваться по отдельности. Как монохромное, так и цветное изображение должны преобразовываться в векторную форму, если таковая требуется вашей ГИС. Обе формы создают очень большие файлы данных.

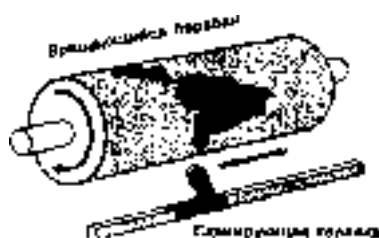


Рисунок 5.2. Принципы сканирования карты. Рисунок показывает барабанный сканер с вращающимся барабаном и перемещающимся вдоль него сканирующим устройством.

Специализированные картографические сканеры большого формата очень дороги по сравнению с дигитайзерами того же формата. Кроме того, векторизация введенного растра может занять почти столько же времени, сколько и ручная оцифровка, особенно если карта оказалась очень сложной. Мне довелось наблюдать операторов векторизации, по несколько дней пытающихся отыскать потерянные линии, или соединяющих линии, которые должны были быть замкнутыми. Несомненно, по мере совершенствования технологии объем необходимого редактирования будет уменьшаться. Но пока не верьте заявлениям, что сканеры освободят человека от процесса ввода. Короче говоря, по меньшей мере в ближайшем будущем устройства автоматизированного ввода и программы векторизации будут экономить время только при условии четких карт с высоким контрастом, относительно простых по уровню детализации. Всего чаще дорогие сканеры используются фирмами, специализирующимися на услугах оцифровки. Вы же можете ориентироваться на оцифровку карт с помощью дигитайзера, или с помощью менее дорогих сканеров, если их характеристики приемлемы для ваших целей.

Растр, векторы или то и другое

Вначале необходимо определить, какой тип ГИС, векторный или растровый, будет использоваться, а также будет ли ваша ГИС способна преобразовывать эти типы данных один в другой, это повлияет на то, какой подход будет использоваться для ввода данных в ГИС. Некоторые программы, особенно те, что ориентированы на работу с ДДЗ, работают главным образом на растровых структурах данных, в то время как другие оперируют в основном векторной информацией. Большинство коммерческих программ позволяют выполнять преобразования между ними - знак растущей интеграции векторных и растровых систем.

Хотя преобразование между векторной и растровой формами - дело достаточно обычное, есть несколько вещей, о которых вам следует помнить. Чаше всего при преобразовании векторов в растр результаты получаются визуально удовлетворительными, но методы растеризации могут давать результаты, которые не удовлетворительны для атрибутов, представляющих каждую ячейку. Это особенно верно вдоль границ областей, где имеется неопределенность с присвоением ячейкам растра атрибутов с одной или другой стороны границы (см. далее обсуждение растрового ввода). С другой стороны, преобразуя растр в вектора, вы можете сохранить подавляющее большинство атрибутивных данных, но визуальные результаты будут часто отражать блочный, лестничный вид ячеек растра, из которых преобразование было произведено. Существуют алгоритмы сглаживания этого лестничного эффекта, использующие математические методы сплайн-интерполяции. Не вдаваясь в подробности, укажем, что это просто графический прием, сглаживающий зубчатые линии и острые углы.

Перед тем, как вводить данные в свою систему, особенно если вам нужно делать преобразования между растровым и векторным представлениями, попытайтесь выяснить в документации или у поставщика, как выполняется преобразование. Возможно, вам пригодятся некоторые подготовленные примеры, с которыми можно будет сравнить результаты тестов. Эта проверка, возможно, не позволит вам выявить применяемый алгоритм, но покажет природу результатов. Тогда вы сможете определить, какая система наиболее подходит для ваших целей.

Преобразования координат

Дигитайзеры созданы для ввода существующих карт, но они могут применяться и для ввода информации с аэрофотоснимков и других материалов дистанционного зондирования на традиционных (некомпьютерных) носителях. Мы не будем отвлекаться на обсуждение роли дистанционного зондирования во вводе данных, а сконцентрируемся на

типичных картографических документах, из которых будем создавать картографическую БД. Как мы видели, карты являются представлением сферической поверхности, спроецированной на плоскую поверхность. То есть, наши географические данные уже были трансформированы со всеми сопутствующими деформациями форм, площадей, расстояний и углов. При оцифровке карты мы сводим эту сложную проекцию в набор декартовых координат (в данном случае - дигитайзера). Перед тем, как сделать это, мы обычно должны сообщить программе информацию о типе использованной проекции и даже конкретные данные о координатной сетке и зоне или зонах, в которых она была произведена. Это позволит нам преобразовать карту к ее исходной проекции после ввода. На самом деле ГИС выполняет целый ряд таких преобразований, когда мы проецируем из декартовых координат дигитайзера в двумерные координаты картографической проекции и оттуда, через обратную картографическую проекцию, - в сферические координаты широты и долготы. В дальнейшем мы будем обращать этот процесс для получения декартовых координат для выходного устройства (Рисунок 5.3).

Для реализации этих различных проекций и преобразований, геоинформационной системе, в основном в рамках подсистемы ввода, придется выполнить ряд графических операций. Три основных процесса, которые при этом имеют место, часто одновременно, это перенос, поворот и масштабирование (гомотетия) (translation, rotation, and scale change). Перенос - это просто перемещение частей или всего графического объекта в другое место на координатной плоскости. Он выполняется добавлением определенных величин к координатам X и Y объекта (Рисунок 5.4а). Иначе говоря, новая X -координата каждого объекта X' будет равна исходной координате X плюс некоторая величина T_x , а новая Y -координата каждого объекта Y' будет равна прежней координате Y плюс некоторая величина T_y :

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

где T_x и T_y могут быть как положительными, так и отрицательными.

Масштабирование также довольно полезно, так как требуется сравнивать карты разных масштабов, а также делать выходные карты разных масштабов (Рисунок 5.4б). Оно выполняется умножением всех координат X объекта на масштабный коэффициент S_x , и всех координат Y - на масштабный коэффициент S_y :

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

где S_x и S_y представляют величины изменения масштаба.

Поворот часто используется в процессах проецирования и обратного проецирования. Оно выполняется с использованием тригонометрии (Рисунок 5.4с). Для абсциссы новое значение получается умножением ее на косинус угла поворота (θ) и прибавлением произведения исходной ординаты, умноженной на синус угла поворота. Для ординаты новое

значение получается умножением ее на синус угла поворота (θ) и вычитанием произведения исходной абсциссы, умноженной на синус угла поворота:

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

где θ - угол поворота.



Рисунок 5.3. Преобразования координат в ГИС. Шаги преобразований из декартовых координат дигитайзера в двухмерные координаты проекции карты, через обратную картографическую проекцию, - в широту и долготу. Для вывода карты процесс обращается преобразованием в конечном итоге к декартовым координатам устройства отображения.

Все необходимые преобразования могут быть выполнены с использованием этих трех основных графических операций.

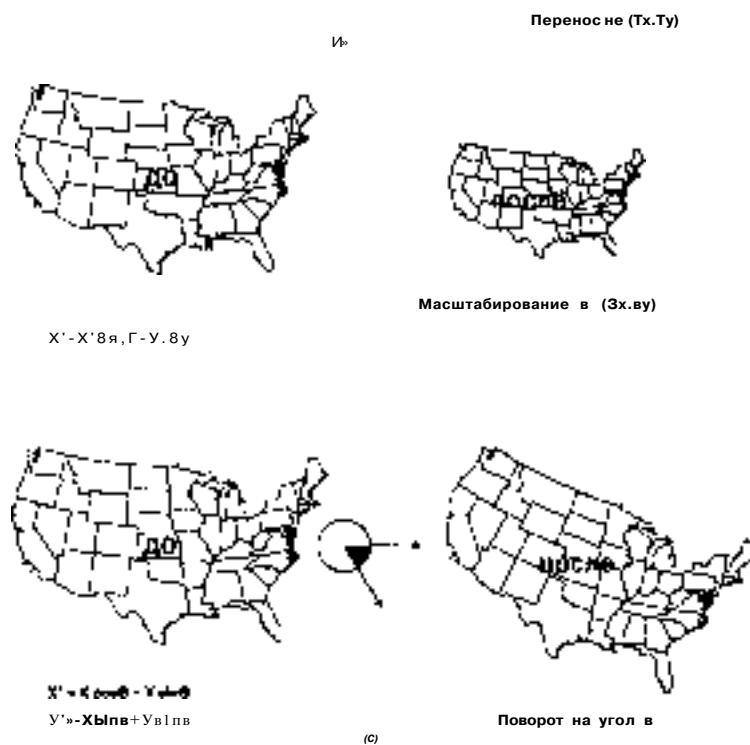


Рисунок 5.4. Перенос, масштабирование и поворот. Три основных графических преобразования, необходимые при проецировании: а) перенос для перемещения объекта в координатном пространстве; б) масштабирование для изменения размера объекта; с) поворот для переориентации объекта в координатном пространстве.

Подготовка карты и процесс оцифровки

Начинать оцифровку следует с сообщения программе соответствующей информации о проекции, системе координат и т.д. Это часть процесса подготовки карты, которым так часто пренебрегают, но который очень важен для создания пригодной базы данных. Многие программы потребуют от вас эту информацию перед тем, как вы сможете начать, хотя другие позволяют ввести эту информацию позже. В любом случае вам следует предварительно ее подготовить и держать под рукой, чтобы знать, какова она и где ее найти.

Неплохо было бы также перед началом оцифровки сделать соответствующие пометки прямо на карте или на прикрепленной прозрачной пленке для идентификации тех мест, которые вы собираетесь оцифровывать. Помните, на карте будет множество кривых линий, которые вам придется сводить к набору коротких прямых отрезков. Хотя многие предпочитают цифровать без подготовки, если вы знаете все точки, которые будут оцифровываться (какие из них являются начальными и конечными точками границ полигонов, какие - узлами и т.д.), то вам не придется повторять эту утомительную процедуру во время оцифровки.

Поскольку оцифровка - работа монотонная, вам, возможно, захочется выполнить ее за несколько этапов. Это тем более говорит в пользу подготовки карты заранее, отмечая на карте части, которые вы собираетесь вводить за каждую сессию. Правда, при этом вам скорее всего придется иногда снимать карту со стола дигитайзера, чтобы дать и другим возможность на нем поработать, поэтому придется сообщать программе, где на карте находится оцифровываемая часть. Для этого используются точки привязки, или регистрационные, координаты которых вводятся в пространстве как дигитайзера, так и карты. Их тоже нужно отметить на карте для того, чтобы и вы и компьютер знали, где они находятся. Точки привязки обозначают внешнюю границу карты и должны находиться снаружи любого объекта, который вы собираетесь оцифровывать, включая рамку карты, если вы собираетесь вводить ее в БД ГИС. Обычно программе требуются три точки по углам прямоугольника для определения области карты. Некоторые могут обойтись и двумя, если они расположены на диагонали. В этом случае программа считает, что внешняя граница является прямоугольником и вычисляет остальные два угла. Независимо от того, какой метод используется в вашем случае, для обеспечения хорошего качества работы совершенно необходимо точно указывать положения точек привязки. Неплохо даже перепроверить их, так как если они указаны неточно, вся дальнейшая оцифровка будет ошибочной.

Другие приготовления карты включают четкое определение порядка, в котором вы намереваетесь производить оцифровку. Неплохо бы также придумать метод идентификации уже оцифрованных областей (секций,

линий, точек и т.д.). Периодические перерывы в оцифровке для пометки карты фломастером помогут вам отслеживать ваше продвижение и снимут напряжение процесса. Используемая вами программа может потребовать указания узлов, левых и правых областей и т.п. в зависимости от ее сложности и используемой модели графических данных. Эту информацию также следует нанести прямо на карту, чтобы не приходилось останавливаться слишком часто для выяснения этой информации.

Большинство программ оцифровки имеют возможность редактирования для устранения допущенных вами ошибок. Фактически, некоторые программные пакеты позволяют использовать для оцифровки свою подсистему редактирования, давая тем самым возможность редактирования во время оцифровки. Мы обсудим виды возможных ошибок и методы их устранения в следующей главе. Пока же отметим, что большинство программ оцифровки имеют способность компенсировать дрожание руки, определяемую величиной расстояния неразличимости точек. Ее введение вызвано тем, что вы, как правило, не можете поместить перекрестие курсора дигитайзера точно на одно и то же место дважды, что необходимо для установления идентичности начальной и конечной точек замкнутой линии. Люди обычно не обладают проворностью, достаточной для выполнения таких высокоточных движений и, конечно, свою играют роль ограничения самих дигитайзеров. Расстояние неразличимости точек может устанавливаться до начала оцифровки или в дальнейшем, во время редактирования. В любом случае для этого параметра вам нужно выбрать золотую середину между обеспечением достаточной точности оцифровки и несовершенством процедуры ввода. Слишком малая его величина делает оцифровку более чувствительной к ошибкам, что может привести к разнесению точек, которые должны быть совмещены. И наоборот, слишком большое его значение может привести к слиянию отдельных точек и линий, поскольку программа решит, что их несовпадение - результат ошибки оператора. Мы поговорим об этом подробнее, когда будем рассматривать подсистему хранения и редактирования в следующей главе. Глава 6 дает и другие подсказки для повышения вероятности создания хорошего, свободного от ошибок продукта. Вдобавок, вы можете обратиться к специальной статье [Marble et al., 1990], посвященной всей системе оцифровки, особенно для организаций и коммерческих предприятий.

Последние приготовления карты имеют дело в основном со склонностью материала карты изменять свои размеры при изменении влажности и температуры. Стабильный материал, типа пластика, более устойчив в этом отношении, чем бумага. Хотя он также меняет размеры при изменении температуры, но все же гораздо меньше, чем бумага. Кроме того, он гораздо менее чувствителен к изменениям влажности. Хотя это свойство материала

может показаться незначительным, посмотрите на большие бумажные постеры, прикрепленные к стене кнопками по краям. Поместив руку в центр постера, вы обнаружите значительный люфт бумаги. Весь постер может даже провиснуть на кнопках. Это обусловлено скорее всего не тем, что он был плохо подвешен, а тем, что материал расширился в результате перемены температуры и влажности, и под действием силы тяжести растянулся.

Существуют несколько способов ограничения количества ошибок оцифровки из-за нестабильности и хрупкости материала. Во-первых, помещение должно быть оборудовано устройствами поддержания стандартной невысокой температуры и низкого уровня влажности. Нужно дать картам, которые вы собираетесь оцифровывать, несколько часов пребывания в помещении, причем в развернутом состоянии (вообще-то, следует избегать использования складываемых карт, так как сгибы значительно снижают их точность). Для фиксации карты можно нанести полоски скотча вдоль ее краев, поверх которых будут прилепляться отрезки фиксирующего скотча. Нельзя использовать клей, и прилеплять фиксирующий скотч непосредственно к бумаге, что может привести к порыву карты или сдиранию изображения при ее смещении. Кроме того, они могут затруднить удаление карты со стола, создавая избыточное натяжение, которое может привести к ее необратимому растяжению. Карту следует размещать так, чтобы вам не приходилось сильно напрягаться для помещения курсора дигитайзера на нужные объекты, поскольку это может создать излишнее напряжение материала карты и ограничить свободу вашего перемещения, добавляя ошибок в создаваемую базу данных. При оцифровке в несколько сессий, храните карту в комнате с такими же климатическими условиями, дабы избежать ее деформации.

ЧТО ВВОДИТЬ

Теперь, после того, как мы получили некоторые основные наставления по оцифровке, особенно о том, как избегать ошибок в этом процессе, мы можем выбрать подходящие для ввода данные. Большинство книг и даже большинство руководств по программам проливают мало света на этот вопрос. Это похоже на начало путешествия, когда вам наказывают тщательно упаковать все оборудование, но не дают даже намека на то, что это за оборудование. Каждое путешествие в цифровой мир уникально, каждая среда требует разных покрытий и каждая потребность путешествия в геоинформатику требует отдельного набора критериев. Мы попытаемся с этим разобраться, чтобы получить простой набор инструкций, применимый в любых обстоятельствах.

Главным фактором, определяющим, что картографы помещают на карту и как ее создают, является целевая аудитория, пользователи. То же самое

можно сказать и о создании БД ГИС. Исторически сложилось так, что во многие ГИС, включая и те, что создавались для целых штатов, вводилось всё [DeMers and Fisher, 1991 ; Fisher and DeMers, 1990]. Как мы увидим в Главе 15, очень часто это приводило к неработоспособности системы. Поэтому правило номер один гласит: прежде всего определите, для чего вы создаете БД ГИС. Это по меньшей мере ограничит ввод данных темами, которые скорее всего будут использоваться. Хотя и впрямь замечательная карта геологии четвертичного периода кажется очень естественным материалом для ввода, во-первых потому, что она есть, а во-вторых потому, что она такого хорошего качества, скорее всего она вообще никому не понадобится в исследованиях загрязнения атмосферы, вызванного заводскими трубами. Из этого вы должны понять, что вводимые тематические покрытия должны быть прямо связаны с моделированием и анализом, которые вы намереваетесь выполнять, и результатами, которые намереваетесь получить. Если вам так уж хочется ввести карту четвертичной геологии, то лучше сохраните ее в отдельном файле или отложите для более позднего ввода, если он действительно понадобится.

Необходимость определения того, какие покрытия понадобятся в будущем, представляет собой некоторую проблему, особенно если вы или ваш заказчик имеете только зачаточные представления о том, что должно быть сделано. Полагаясь на авось, можно отлично провести время, но, скорее всего, ГИС, созданная при таких обстоятельствах, не даст полезных результатов без значительных переработок, поправок, улучшений и обходных приемов. А этот подход сегодня оказывается довольно дорогим. Возможно, единственным случаем, когда базаданных может создаваться без четкого понимания предполагаемого результата (иногда называемого пространственно-информационным продуктом (spatial information product)), являются проекты, главная цель которых - определить возможные взаимосвязи между данными тематических покрытий для формулирования начальной научной гипотезы. Этот подход не приемлем для коммерческих проектов. Поэтому правило номер два, связанное с первым, требует как можно более точного определения целей перед выбором тематических покрытий.

Даже при очень конкретных целях и определенных пространственно-информационных продуктах в некоторых случаях могут быть несколько путей получения данных. Например, теперь координаты местоположений и отметки высоты могут быть получены с помощью GPS-приемников. Но они могут быть взяты и с существующих карт с достаточно высокой точностью. Или, данные о землепользовании могут быть получены из наземных исследований, аэрофотосъемки, со спутников, авиационных сканеров, из числа других источников. Нелегко ответить, какой следует использовать. Но хотя нет рецепта успеха, зато есть рецепт провала. Что ведет

нас к правилу третьему: избегайте использования данных из экзотических источников, когда имеются обычные, особенно если последние обеспечивают сходный уровень точности. Что такое "экзотические", вы определите сами для своего проекта. В общем, я бы использовал практическое определение, применяя данный термин по отношению к любым источникам данных, с которыми я не знаком. Если вы или другие члены вашего коллектива знакомы с данным набором информации и можете спокойно использовать его правильным образом, и если он повышает точность или полезность вашей БД, то его следует использовать. Если все ваши источники данных для определенной темы или покрытия имеются в традиционной форме, то вот правило четвертое: используйте наилучшие, наиболее точные данные, необходимые для вашей задачи.

Вам следует помнить, что "точность" в данной ситуации относится к необходимой, а не в принципе достижимой точности. Вам, наверное, не будет нужен одно-сантиметровый шаг изолиний рельефа, даже если такая карта существует; лучше использовать данные, которые наиболее близки к вашему уровню наблюдений. Хотя предельно детальная карта любого покрытия может выглядеть полезной, ее ввод обойдется дороже, анализ будет более медленным и, возможно, более трудным. Вот пример использования тематических (ТМ) данных разрешения 30 м со спутника ЯАЮЗАТ по сравнению с многозональными (МББ) данными разрешения 80 м из того же источника. Допустим, вам нужно идентифицировать большие поля, засеянные зерновыми. Поскольку более высокое пространственное разрешение в первом случае, как известно, создает множество трудноразделимых категорий на одной территории, которая вся, по сути, - зерновые поля, более высокое разрешение скорее запутает вам дело, нежели упростит его. И конечно, вычислительные и людские ресурсы, необходимые для прояснения ситуации, повысят общую стоимость системы, не говоря уже о значительно различающейся стоимости исходных данных. Таким образом, мы получаем правило пятое: выбирайте адекватный уровень точности данных.

Еще один вопрос о том, что вводить, имеет некоторое отношение к последней теме об источниках данных. Большинство тематических карт (например, топографические карты и БСБ) содержат также информацию о дорогах и других антропогенных объектах, которые могут быть очень полезными для ввода в ГИС. Везде, где возможно, и где их качество приемлемо, вам следует вводить эти данные как отдельные покрытия с того же листа карты. Это - правило шестое. Это правило не запрещает использование других источников высокого качества или высокой точности, но оно дает два преимущества. Во-первых, поскольку данные находятся на одной карте, вам не придется иметь дело с несколькими листами и повторять все предварительные операции по подготовке карт. Во-вторых, поскольку

данные находятся на одном листе, они уже географически привязаны, уменьшая потребность в выполнении этой иногда трудной задачи позднее.

Последнее правило, седьмое, гласит, что каждое покрытие должно быть как можно более специализированным. То есть покрытия должны быть как можно уже специализированы по темам, не полагаясь на системы вроде IMGR.go. Чем более специализировано покрытие, тем легче выполнять поиск, если вы хотите узнать что-то, что относится к данным, содержащимся в одном покрытии. Кроме того, при выполнении операций наподобие наложения покрытий (см. Главу 13), легче отслеживать процесс, если вы хорошо знакомы с данными. Операции наложения упрощаются и для самого компьютера, если в заданном покрытии нет лишних данных.

Эти правила мы можем выразить несколькими короткими предложениями. Первое, определитесь с целью. Далее, удостоверьтесь, что карты соответствуют цели. Используйте наиболее точные для данной цели карты - не слишком точные для ваших нужд и не слишком неточные для выполнения работы. Делайте покрытия простыми и используйте ту же карту для получения этих простых покрытий всегда, когда это оправданно и возможно, дабы избежать необходимости совмещения. Прежде всего, подумайте о вашем проекте до того, как начать ввод данных. Ввод данных требует времени и денег.

КАК МНОГО ВВОДИТЬ

Вопрос о том, какой объем данных вводить, связан с типами вводимых данных. Опять же, используя нашу аналогию с реальным путешествием, скажем, что при подготовке вы должны знать, сколько еды взять, а не только - каких видов. Если еды слишком много, вам придется тащить ненужный груз в течение всего путешествия. Если еды недостаточно, то вам придется закончить путешествие раньше, чтобы отправиться на поиски пищи. Подобно этому, если в ГИС введено слишком много данных, ей придется нести груз этого избытка на протяжении времени жизни проекта, если же данных недостаточно, то вы можете оказаться неспособны ответить на вопросы, которые планировали выяснять.

Как и при подготовке путешествия, ввод данных в компьютер - это процесс выбора. В векторной ГИС каждая линия, которую вы вводите, наверняка будет иметь некоторую кривизну. Для того чтобы сделать достаточно точную копию с помощью прямых отрезков, вам придется тысячи раз решать, где поместить курсор дигитайзера. Этот процесс похож на генерализацию (упрощение) линий, с которой мы столкнулись ранее при рассмотрении картографии. Простое правило гласит, что нужно записывать больше точек для более сложных объектов, чем для простых (Рисунок 5.5).

Положение прямой линии может быть точно определено всего лишь двумя точками. Но мне приходилось встречать проекты, где границы правильных квадратов состояли из ни много, ни мало двух тысяч сегментов. Это не только загромождает компьютер мегабайтами ненужной информации и замедляет вычисления, но и делает маловероятным то, что прямые линии будут выглядеть действительно прямыми при выводе.



Рисунок 5.5. Оцифровка сложной линии. Пример аппроксимации прямыми отрезками при дискретизации кривой линии. Записываемые точки выбираются в зависимости от изменения направления линии. Каждая точка - дополнительная порция информации, содержащейся на карте.

Сложность линий и многоугольников можно сравнить с количеством информации, характеристикой, рассматриваемой в теории информации [Shannon, 1948]. Чем чаще линия меняет направление, тем больше информации она содержит (то же относится к поверхностям, но это мы обсудим позже). И чем плотнее расположены точки, линии и области, тем больший объем информации содержит карта. А чем выше объем информации, тем чаще требуется брать отсчеты при оцифровке. Это тем более говорит в пользу тщательной подготовки карты. Вы должны также помнить, что для каждого объекта, вводимого в ГИС, будет вводиться и атрибутивная информация, и что существует прямая зависимость между сложностью карты, или объемом информации в ней, и проблемами хранения и обработки пространственных данных [Calkins, 1975].

Идея с количеством информации может быть применена и к растровым данным. Опять же, общее правило таково: чем мельче объекты, которые должны распознаваться в вашей системе, тем мельче должны быть ячейки растра [DeMers, 1992]. Этот принцип часто определяет выбор размера ячеек (разрешение) всей базы данных. Конечно же, теория информации может быть применена и ко вводу растровых данных. Допустим, вы хотите использовать растр для представления ферм, отображенных на карте. Если наименьшая ферма занимает 40 га, то пиксеты должны быть по меньшей

мере вчетверо меньшей площади (вдвое по длине стороны), чтобы гарантировать обнаружение этой фермы в вашей ГИС. Иначе говоря, это значит, что ячейки растра должны быть по 10 га или мельче, чтобы обеспечить представление объектов площадью 40 га. Но если поле растянуто вдоль береговой линии? Хотя его площадь составляет 40 га, оно вытянуто как линейный объект, уменьшая шансы того, что все оно будет введено в вашу ГИС. Эта сторона процесса определяется в некоторой степени методом, с помощью которого вы вводите ячейки растра. Подробно мы рассмотрим это в дальнейшем, а пока отметим то же практическое правило: делайте больше отсчетов при большем объеме информации.

Как для растра, так и для векторов, требуемая точность зависит от площади, покрываемой картой и назначением вводимых данных. Карты мелкого масштаба, покрывающие большие площади земли, содержат гораздо более общий вид земной поверхности. Кроме того, линии и символы, расположенные на карте, сами занимают некоторую площадь. Величина ошибки, заключенной в символе, зависит от масштаба карты, на которой он помещен. Линии на мелкомасштабных картах занимают больше площади земли, чем линии того же размера на крупномасштабных картах. Это физическое условие, называемое масштабно-зависимой ошибкой, говорит о том, что величина ошибки напрямую связана с масштабом карты и должна учитываться при подготовке карты перед оцифровкой.

МЕТОДЫ ВВОДА ВЕКТОРНЫХ ДАННЫХ

Как ранее указывалось, существуют многие инструменты для ввода в ГИС векторных данных. Мы ограничим наше обсуждение дигитайзерной оцифровкой как распространенным "классическим" методом. Некоторые программы требуют ввода точек в определенной последовательности, в то время как другие этого не требуют. Документация и/или сама программа сообщит вам об этом. Кроме того, программа укажет, какие пронумерованные кнопки используются для ввода конкретных типов объектов. Одни кнопки используются для указания положения точечных объектов, другие - для обозначения концов прямых отрезков, третьи - для замыкания многоугольников. Многие ошибки оцифровки, особенно у новичков, происходят вследствие нажатия не тех кнопок, что требуется.

Конкретная процедура оцифровки зависит также от структуры данных, которая используется программой [Ошзтап, 1987]. Одни (например, РОБУУЯТ) требуют от вас указания положений узлов, другие - нет. Одни требуют явного кодирования топологии во время оцифровки, другие используют программные методы построения топологии после того, как БД заполнена. Правила различны для разных программ, и вам нужно

заблаговременно просмотреть соответствующую документацию для выяснения этих стратегий. Эта работа может рассматриваться как часть процесса подготовки карты, а не самой оцифровки. Кому-то могут даже пригодиться шпаргалки, прикрепленные к углу стола дигитайзера, пока они не освоятся с процессом в достаточной степени.

Атрибутивные данные в векторных ГИС вводятся чаще всего с использованием клавиатуры компьютера. Хотя этот способ ввода данных предельно прост, он требует такого же внимания, как и ввод графических объектов. Причины две. Первая: опечатки совершаются очень легко (а иначе зачем нужны были бы программы проверки орфографии?). Вторая, и, возможно, наиболее проблематичная: атрибуты должны быть связаны с графическими объектами. Как мы увидим в следующей главе, ошибки в таком согласовании – одни из наиболее трудных для обнаружения ошибок, поскольку их не всегда можно заметить на взгляд, и они не проявляются до начала выполнения какого-нибудь анализа. Хорошей практикой является проверка атрибутов в процессе ввода, возможно, во время частых коротких перерывов для их просмотра. Время, потраченное на это, окупится затем с лихвой при редактировании.

МЕТОДЫ ВВОДА РАСТРОВЫХ ДАННЫХ

Ввод растровых данных следует иной стратегии, нежели ввод векторных данных. Как мы видели, растровый ввод иногда все еще делается с использованием накладной сетки, когда атрибуты вводятся последовательно, друг за другом. Широкая доступность сканеров быстро вытесняет этот трудный метод ввода, однако его применение хорошо иллюстрирует разные методы, используемые программами оцифровки для ввода ячеек растра. В прошлом часто использовался также метод оцифровки растра с помощью дигитайзера, когда полученный с дигитайзера контур объекта в виде векторов затем заполняется пикселями уже самой программой оцифровки.

Прежде всего мы должны решить, какую площадь должна занимать каждая ячейка растра. Это решение должно быть принято до начала оцифровки или наложения сетки, чтобы сообщить программе оцифровки размер ячейки или дать оператору сведения о размерах квадратов сетки. Кроме того, нам следует решить, пригодится ли какой-нибудь метод кодирования (типа группового или блочного кодирования), который мог бы сократить процесс. При том, что методы сжатия данных хороши для уменьшения их объема, использование этих методов при вводе может оказаться не менее важным благодаря сокращению времени ввода. Некоторые растровые ГИС, не поддерживающие ввод с дигитайзера или поддерживающие ввод и с клавиатуры, и с дигитайзера, имеют команды,

позволяющие вводить данные в виде цепочек или блоков атрибутов. Вы можете обратиться к документации на вашу программу для определения, что это за команды и как ими пользоваться. Выбрав метод ввода, вы должны решить, как каждая ячейка раstra будет представлять различные имеющиеся темы. Помимо разрешения раstra, это может быть наиболее важным решением, которое вы должны принять. Рассмотрим этот вопрос более подробно.

Для ввода растровых данных наиболее широко применяются сканеры. Однако, следует учитывать, что введенные со сканера тематические данные не становятся автоматически тематическими данными в растровой ГИС. Дело в том, что однородно закрашенные на карте области после считывания сканером неизбежно получают некоторый разброс значений, вследствие многих причин: неоднородность нанесения краски на карту, незаметная для глаз, неоднородность подсветки в сканере, износ карты и т.д. Кроме того, тематические карты обычно печатаются офсетным способом, который предполагает образование всего богатства полутонов и цветовых оттенков смешением мельчайших точек красок небольшого числа цветов. При сканировании эти незаметные на глаз точки, превращаются во вполне самостоятельные пиксели, образующие "винегрет" на месте внешне однородной по цвету области. Естественно, такие карты не пригодны для анализа. Результат сканерного ввода в сильной степени зависит от соотношения разрешений сканера и полиграфического раstra. Именно сложность решения этой проблемы приводит иногда к решению использовать упомянутый выше способ ввода растровых данных посредством векторной оцифровки контуров объектов с последующим преобразованием в растр.

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ КАК ОСОБЫЙ СЛУЧАЙ ВВОДА РАСТРОВЫХ ДАННЫХ

Как указывалось в Главе 2, данные дистанционного зондирования (ДДЗ) полезны для ввода в растровые ГИС. Однако, они не являются доминирующими по сравнению со многими другими источниками, такими как традиционные картографические продукты, цифровые модели рельефа, цифровые данные землепользования и цифровые данные по почвам. Кроме того, растровый формат ДДЗ может дать ощущение, что программное обеспечение для работы с ними - ГИС по определению. Хотя и в программах обработки изображений и в ГИС имеются многие подобные алгоритмы, ГИС не должны рассматриваться как одна из стадий в обработке и анализе ДДЗ. Такой взгляд очень ограничен, он игнорирует способность ГИС функционировать независимо от ДДЗ, а также уникальные аналитические

способности, которые позволяют, например, анализировать сетевые структуры для исследований транспорта. Наоборот, ГИС и программы обработки изображений должны рассматриваться как взаимно дополняющие технологии, где последние имеют дело главным образом (но не исключительно) с растровыми изображениями в различных участках спектра электромагнитных волн, а первые выступают больше как объединяющий инструмент, использующий широкий спектр типов и источников данных.

Несомненна ценность цифровых и других форм ДДЗ как источника данных для ГИС, особенно для таких задач, как быстрое обновление баз данных и выявление изменений на больших территориях. Большинство ДДЗ со спутников получаются в растровом формате, где каждая ячейка раstra (пиксел) содержит радиометрические значения полученного сенсором электромагнитного излучения. Количество уровней зависит от типа системы. Например, данные БШОЗАТ ТМ имеют радиометрическое разрешение в 256 градаций яркости в каждой зоне спектра, а данные АУНЯЯ, полученные с погодного спутника ТЧОАА, имеют 1024 радиометрических уровня. В любом случае, ввод в растровые ГИС осуществляется легко благодаря сходству структур данных. Но по одной только этой причине растровая структура ДДЗ не должна приводить к предпочтению растровой модели данных ГИС перед векторной. Выбор должен основываться на применении создаваемой БД. Кроме того, когда ДДЗ любого типа рассматриваются в качестве вводимого в ГИС материала, они должны оцениваться по стоимости, пригодности и точности по сравнению с данными из других источников. Вспомните третье правило ввода: избегайте использования экзотических видов данных, когда это возможно. Конечно, хорошее знакомство с ДДЗ и их пространственными, спектральными и радиометрическими характеристиками могут сделать их предпочтительными. Давайте вкратце рассмотрим источники ДДЗ и некоторые их характеристики.

Сегодня аэрофотосъемка не считается экзотическим источником ДДЗ. В действительности, она уже давно является главным источником данных для топографических карт. Например, топографические карты ШОБ компилируются и пересматриваются в основном по результатам просмотра стереопар аэрофотоснимков, и мы упоминали об использовании аэрофотоснимков в качестве базовых документов для почвенных карт. Поскольку многие карты основаны на данных аэрофотосъемки, и поскольку процесс дешифрирования снимков является весьма трудоемким (даже если вы в состоянии провести дешифрирование самостоятельно), будет Мудрым решением узнать, имеются ли уже такие карты, перед тем как выбирать для ввода сами аэрофотоснимки. Однако, следует учитывать, что использованная при создании на основе снимков карты система классификации может не

соответствовать целям вашего анализа, поэтому ввод самих снимков может оказаться предпочтительным.

Помимо сложности дешифрирования при вводе снимков в БД ГИС, возникают две другие проблемы - необходимость их геометрической коррекции и большие размеры файлов снимков.

Вам следует проконсультироваться с какой-нибудь книгой по дистанционному зондированию вообще, или по аэрофотосъемке в частности, перед началом работы с ДДЗ в ГИС. Перед тем, как вводить эти данные, вам следует определить, насколько ваш проект чувствителен к геометрическим искажениям, присущим снимкам, и какие конкретные категории данных вам потребуются для выполнения анализа. Когда эти категории известны, их легко сравнить с пространственным, радиометрическим и спектральным разрешениями доступных ДДЗ.

Отдельного внимания заслуживает специальный тип изображений на основе аэрофотоснимков, поскольку они не содержат искажений, обусловленных рельефом, проекцией, и наклоном оптической оси по отношению к снимаемой поверхности, обычно присущих аэрофотоснимкам. Эти продукты, называемые ортофотоснимками (orthophotographs), или ортофотоквадратами (orthophotoquads), если они сделаны для областей, занимаемых стандартными листами топографических карт. Последние являются фотографическими изображениями Земли, похожими на карты в том, что они имеют единый местный масштаб по всему полю снимка. Ортофотоснимки подвергаются геометрической коррекции, которая устраняет смещения пикселей, обусловленные проекцией съемки, рельефом и изменениями высоты самолета над местностью. Такая коррекция называется ортотрансформированием (orthorectification). Хотя детальное описание этих продуктов выходит за рамки данной книги, важно упомянуть, что они доступны в качестве источников ввода, как в аналоговой, так и в цифровой формах. По вопросам коррекции можно обратиться к [Lillesand and Kiefer, 1995]. Если цифровые ортофотоснимки вам недоступны, то их аналоговые версии могут послужить прекрасным источником ручного ввода данных в ГИС.

В нашем обсуждении цифрового дистанционного зондирования (ЦДЗ) в Главе 2 мы отметили, что, в общем, для ввода в ГИС имеются два основных производных продукта: цифровым образом обработанные снимки (подчеркивающие определенные элементы для анализа, например, края объектов) и классифицированные изображения (получаемые в результате сложных компьютерных манипуляций в помощь человеку-аналитику при классификации объектов). С точки зрения ввода в ГИС эти классифицированные изображения наиболее вероятно будут использоваться для обновления и/или сравнения их классификаций с

классифицированными данными, уже имеющимися в ГИС. Даже если два набора классифицированных данных получены из одного источника ДДЗ, то сравнение все равно затруднено. Реально, специалисты по ДЗ часто предпочитают сравнивать исходные, неклассифицированные изображения, чтобы избежать недоразумений, возникающих при автоматической классификации [Haddad, 1992]. Действительно, прямое сравнение классифицированных цифровых данных с картами, полученными на основе классификации аэрофотоснимков или историографических данных, очень трудны. Давайте посмотрим на некоторые технические трудности, связанные со вводом ДДЗ в ГИС, как они определены в [Marble, 1981] и [Marble and Reuquet, 1983].

Данные со спутников требуют предварительной обработки для удаления геометрических и радиометрических изъянов, возникающих из-за взаимодействия двух движущихся тел (Земли и спутника), дрейфа датчиков из-за старения систем спутника и различий в состоянии атмосферы. Методы коррекции радиометрических проблем легко доступны в большинстве программ обработки цифровых изображений, а необходимые уравнения довольно легко получить. Для ввода в ГИС главной проблемой предварительной обработки является необходимость получения геометрически корректных наземных местоположений. Эта геометрическая коррекция нуждается в некотором количестве наземных опорных точек (ground control points (GCPs)) в пределах снимка, чтобы правильно разместить его в координатном пространстве на земной поверхности. Количество опорных точек должно быть достаточным, и они должны быть распределены достаточно равномерно. На некоторых территориях достаточно легко получить очень точные положения с использованием GPS, но эти наземные точки должны быть опознаваемы и на снимке.

Получение приемлемых опорных точек может быть довольно трудным, особенно в таких местах, как тропики, где верхний ярус леса настолько плотен, что приемник GPS не будет иметь прямой видимости спутника. Кроме того, даже если имеется прямая видимость, в таких местах часто трудно найти объекты, которые были бы различимы на снимках.

Следует проявлять осторожность по отношению к снимкам с отсутствием опорных точек, которое значительно снижает точность координат, особенно по границам областей, получаемых при классификации. Точность опорных точек существенно влияет на координатную точность ГИС. Геодезическая сеть в любом случае улучшит пригодность ГИС к выполнению измерений и других аналитических функций.

Мы уже затронули вторую крупную техническую проблему использования ДДЗ, проблему классификации. Вполне возможно, что вам придется выполнять преобразование данных интервальной шкалы

измерений и шкалы отношений в поименованные категории классификационной схемы. В программах обработки изображений процесс классификации часто использует простейшие подходы. То есть, методы автономной классификации ориентированы на получение оптимальной классификации в некотором формальном смысле, что может не соответствовать задачам данного конкретного проекта. Классификация с обучением, требующая участия человека в процессе подбора эталонов, позволяет добиться лучших результатов по сравнению с автономной классификацией, так как процесс может быть более управляем для удовлетворения потребностей пользователя, вместо того, чтобы основываться только на статистических характеристиках данных. Тем не менее, даже после проведения классификации различных данных одним методом, вопрос соответствия получаемых классификаций сравниваемых покрытий остается открытым.

Классификация данных спутниковых снимков подразумевает, что результаты точны, а не просто совместимы с существующими покрытиями. Показано, что способность программ обработки изображений создавать классификации существенно превосходит нашу способность оценивать точность этих классификаций [Lillesand and Kiefer, 1995]. Это также верно и по отношению к сравнениям разновременных снимков, где погрешность данных каждого набора не должна превышать величины изменений между двумя моментами времени. Созданию категорий классификации часто может помочь использование дополнительных данных. Включение в процесс классификации топографических данных, предварительно полученных эталонов, наборов правил и других методов приводит обычно к существенному улучшению классификации, также и в смысле лучшего соответствия имеющимся покрытиям ГИС.

Последний большой набор проблем использования ДДЗ для ввода в ГИС может быть назван скорее проблемами организационными, чем техническими, потому что они в основном препятствуют процессу, а не порождают ошибки. В [Lauer et al., 1991] выделено шесть основных организационных вопросов, которые оказывают отрицательное влияние на использование ДДЗ. Эти вопросы были оценены как более значащие, нежели технические, для внедрения этого источника данных в ГИС. Рассмотрим наиболее важные из них.

Первой организационной проблемой является общая недостаточность ДДЗ. Хотя имеются несколько крупных источников, приобретение ДДЗ часто требует от пользователя хорошего знакомства прежде всего с процессом получения этих данных. После того, как все процедуры усвоены, проблема состоит в получении изображений области изучения на определенную дату в момент наименьшей облачности. Пользователь может не только получать

данные из архивов снимков, но и заказывать снимки при заданном уровне облачности определенных регионов при прохождении спутниками над ними. На области, которые постоянно и в значительной степени закрыты облаками, часто приходится строить мозаику из нескольких снимков, сделанных в разное время, для получения изображения, свободного от облаков. Этот процесс добавляет технических трудностей из-за различий в состоянии атмосферы и даже изменений на Земле, происходящих из-за сезонных изменений растительности.

В других случаях может потребоваться соединение двух или более смежных спутниковых снимков для полного покрытия большой изучаемой территории. Однако, если эти снимки имеют существенно различные контрастные характеристики, то между ними будет заметная линия, и процесс классификации будет нарушен вдоль этой границы. Наконец, отсутствие архивов изображений за прежние даты может привести к временным провалам, влияющим на выполнение пространственно-временного анализа. Главной причиной многих из этих организационных проблем является то, что данные, и в большинстве своем сами спутниковые системы разрабатывались первоначально скорее как экспериментальные, нежели как постоянно действующие системы.

С введением в эксплуатацию программы спутников США, ориентированных на природные ресурсы, возникли различные организационные проблемы. Стоимость эксплуатации спутников и распространения данных оплачивает не правительство, а потребители, что приводит к более высокой стоимости снимков. Это ограничивает сообщество пользователей организациями, которые могут позволить себе цены в несколько тысяч долларов США за данные *иШИЗАТ ТМ*. В результате меньшее число организаций могут рассматривать приобретение и использование больших объемов таких данных в их ежедневных операциях.

Третья организационная проблема ввода ДДЗ также связана с деньгами. До недавнего времени стоимость аппаратуры и программ для обработки этих данных были слишком велики для многих потенциальных пользователей. Широкая доступность менее дорогих программ обработки изображений, выполняющихся на стандартных персональных компьютерах, существенно улучшила эту ситуацию. Однако, стоимость обработки ДДЗ связана также с наличием специалистов по ДДЗ, особенно таких, которые могут связать исходные данные с покрытиями ГИС, как в отношении географической привязки, так и в отношении классификации. Это еще раз показывает, что изучающим геоинформатику нужно знакомиться с данными и методами, имеющимися в распоряжении сообщества дистанционного зондирования.

Предшествующие рассуждения ведут напрямую к вопросу образования, проблеме как для ГИС, так и для ДЗ. Сегодня учебные заведения и компании-

поставщики средств для ГИС и ДЗ предлагают учебные программы, которые обеспечивают приобретение практического опыта в использовании тех или иных ГИС или систем ДЗ. Хотя те, кто заканчивают эти курсы, могут хорошо разбираться в тонкостях работы конкретной системы, было бы недальновидно сводить сложность нашей дисциплины к рамкам одной системы. Люди, имеющие знания и опыт работы с одной из систем, могут достигать более значительных результатов при использовании сложных моделей, если их концептуальная природа объяснена достаточно подробно. Однако, технические специалисты редко имеют концептуальные знания, необходимые для формулирования решения задачи, то есть они не знают, какая оптимальная модель может быть применена в данном конкретном случае и какие ГИС-пакет или система обработки изображений могут помочь наилучшим образом. Как вы можете догадаться, общение между, например, ученым, занимающимся проблемами окружающей среды, который ничего не знает о требованиях программной системы, и техническим специалистом, который ничего не знает о проблемах окружающей среды, ведет к неадекватным, часто просто неправильным результатам анализа. Хотя многие предложения работы сегодня требуют знания определенных приложений, человек, который и знает теорию и способен найти пути ее реализации, может оказаться гораздо более ценным. В результате, споры между сторонниками технического и теоретического образования в сообществе геоинформатики и дистанционного зондирования будут продолжаться, что отражается еще одной из шести организационных проблем - проблемой профессиональной сертификации. Этот вопрос ведет в значительной мере к спору кланов о том, кто кого должен сертифицировать. Но здесь нас это не касается.

Последняя организационная проблема использования ДЗ в ГИС касается организационной инфраструктуры. Ни геоинформационные системы, ни дистанционное зондирование не имеют ясно определенных, хорошо организованных, должным образом финансируемых учреждений среди государственных организаций. Это было совершенно очевидно в 1980-х годах, когда правительство США пыталось закрыть спутниковую программу **BAIV&AT**. Без наводнения писем от частных пользователей и ученых будущее программы скорее всего было бы очень недолгим. Поэтому так нужны сторонники интеграции ДЗ и ГИС; чтобы обеспечить взаимные технические усовершенствования, которые повысят ценность обеих технологий.

ВНЕШНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ

Эффективным подходом к построению БД ГИС является прежде всего ограничение времени и стоимости разработки БД. К счастью, появляется все больше общедоступных цифровых баз данных. Цифровые модели рельефа, цифровые ортофото и другие цифровые материалы могут быть получены у USGS и третьих сторон (см. Приложение 1). Бюро переписи США имеет файлы TIGER и DIME, как и его канадские коллеги (см. Приложение 1). Департамент сельского хозяйства США выпускает карты почв, доступные в цифровой форме. Есть, конечно, множество и других примеров. По существу, рост числа членов все более активной и заметной группы предпринимателей в области цифровых данных обещает обеспечить столь нужные для ГИС-аналитиков данные. Эти организации, чья реклама регулярно появляется в таких коммерческих журналах по геоинформационным системам, как *GIS World* и *Geoinfo Systems*, заполняют существенный пробел в инфраструктуре ГИС.

Но наличие готовых баз данных приносит другие проблемы, включая некоторые из тех, с которыми вы столкнетесь при вводе данных в ГИС. Мы рассмотрим эти технические проблемы с точки зрения того, как мы, как потенциальные поставщики БД, можем их избежать. Первой проблемой является тип и формат носителя. Можно потратить дни, и даже месяцы, на поиск цифровых данных в нужном виде. Как мы увидим в следующей главе, существуют множество типов и форматов, от магнитных лент до компакт-дисков, от простейших до весьма экзотических структур файлов. Вам же нужно получить данные в том виде, который "понимают" ваше устройство чтения и программа. Хотя это кажется очевидным, но если вы не укажете нужный вам формат файла и тип носителя явным образом, поставщик может предоставить вам данные "в стандартной упаковке", что будет для вас бесполезным. Мы не будем здесь вдаваться в подробности форматов и стандартов обмена данными [Moellering, 1992], однако, вам необходимо будет знать, какие форматы данных ваша система может считывать и записывать. Технические подробности вы узнаете по мере приобретения опыта работы с вашей системой.

Более коварная проблема с внешними БД связана с качеством данных. Хотя некоторые вторичные поставщики данных могут предложить более легкий доступ к данным, нежели государственные учреждения, вам нужно знать, что они могут поставлять данные не в исходном формате. Данные, независимо от источника, могут содержать заметные ошибки, одни из которых систематические и исправимые, а другие - нет. Вам нужно быть в курсе процедур контроля качества, используемых каждым поставщиком. Кроме того, вам нужно знать о наличии возможности возврата в случае плохого качества данных. Спросите, где данные были получены. Были они

созданы фирмой квалифицированных профессионалов или получены из потогонных цифровых мастерских, часто управляемых низкооплачиваемыми и необученными личностями?

Все эти вопросы важны с точки зрения пригодности данных. К сожалению, сегодня средний уровень довольно низок. Одни поставщики не желают открывать свои процедуры контроля качества, другие не могут сделать этого просто из-за отсутствия таковых. Даже описания самих данных часто не точны или неправильны. Как и при любой покупке, вы должны требовать полного отчета о том, что получаете. Детали должны включать конкретный используемый формат данных, процедуры контроля качества, при которых они были созданы, ожидаемое качество, процедуры возврата поставщику брака и все другие сведения, которые обеспечат вам гарантию успешной интеграции данных в вашу ГИС. Поставщиков, которые не соответствуют этим требованиям, следует избегать.

Одна большая проблема, которая часто встречается при использовании внешних БД, должна быть вами воспринята близко к сердцу при подготовке ваших собственных БД. База данных требуется информация об их собственном содержимом; такие **метаданные** являются информацией об информации. Распространены две формы метаданных: активные и пассивные словари данных.

Пассивные словари данных могут включать масштаб, разрешение, названия полей в БД, используемые коды и их значения. Представьте себе человека, получающего от поставщика БД, которая содержит категорию, называемую "увлажненные земли" (wetlands, заболоченные и т.п. территории). Это определение может быть самоочевидным для вас, но вам нужно больше знать о критериях поставщика для создания данной категории. То, что является "увлажненными землями" для одного человека, может быть мокрой лужайкой для другого. Метаданные должны дать достаточно подробностей, чтобы гарантировать, что любой анализ, основанный на описываемых ими данных, будет корректным. Это, конечно, должно напомнить вам о необходимости кратко и ясно фиксировать ваши операции в форме, которая позволит любому человеку, не знакомому с вашими исходными процедурами ввода БД, воссоздать их.

Активные словари данных работают с БД ГИС, выполняя проверки корректности запросов и вводимых данных во время функционирования системы. Например, если СУБД вашей векторной ГИС настроена на только четырехзначные коды для определенных объектов, то активный словарь данных может проверить каждую операцию, чтобы гарантировать, что это четырехзначное ограничение повсюду соблюдено. Такие проверки весьма полезны для обеспечения должного функционирования системы и предупреждения ошибочных результатов по причине некорректных входных

запросов.

Помимо технических, использование внешних БД связано с рядом фундаментальных законодательных и организационных проблем. Более подробно мы рассмотрим их позднее, но их необходимо упомянуть для полноты и здесь. Главной организационной проблемой является то, что эти БД трудно найти, особенно если они создавались в государственных агентствах, которым может быть поручено распространение, но не продвижение на рынке и реклама. В настоящее время не предпринимаются значительные усилия для объединения каталогов БД ГИС для облегчения поиска, хотя в Интернете постоянно появляются все новые материалы. Но все это делается по кусочкам, и неосведомленность о существующих БД часто приводит к дорогостоящему дублированию работы и данных. Стоимость данных также является организационной проблемой, которая может ограничить доступ. Причем не столько стоимость отдельных категорий, сколько частая практика предложения данных большими блоками, которые покрывают гораздо большие потребности, чем имеет конкретный пользователь.

Среди более тернистых вопросов, с которыми имеет дело сегодня пользователь ГИС, является справедливость платы за данные, созданные при государственном финансировании. С этим, конечно, связаны проблемы доступа к данным и секретности [Dando, 1991; Davies, 1982; Rhind, 1992]. Хотя многие полагают, что опубликованные данные должны быть легко доступны для всех, проблема потенциально опасных данных, таких как точные местоположения животных исчезающих видов или военных объектов, делает этот вопрос гораздо менее простым. Даже когда данные могут быть получены в соответствии с Актом о свободе информации США, время, необходимое для подготовки всех требуемых документов, может превысить жизненный цикл проекта, для которого эти данные нужны. Эти проблемы не решаются легко, но вы так или иначе столкнетесь с ними в своем путешествии в мир компьютерной географии.

Вопросы

1. Какие общие характеристики присущи каждому из четырех методов ввода данных в ГИС?

2. Каковы пять параметров, помимо цены, которые должны быть рассмотрены при выборе дигитайзера? Опишите их.

3. Каковы принципиальные различия между различными типами сканеров? Какие потенциальные проблемы являются источником ошибок при использовании сканеров?

4. Преобразование между растровым и векторным представлением

данных может ухудшить их качество. Какая главная проблема может возникнуть при векторно-растровом преобразовании? Где это может случиться скорее всего? Какая проблема часто возникает при растрово-векторном преобразовании?

5. Опишите преобразования, имеющие место при переходе от координат оцифровываемой карты к географическим координатам и, в конце концов, к выходной карте. Что такое обратная картографическая проекция?

6. Проиллюстрируйте процессы переноса, поворота и масштабирования (гомотеии). Почему они важны для подсистемы ввода ГИС?

7. Почему подготовка карт важна для ввода данных в ГИС? Для чего используются точки привязки?

8. Зачем нужно помечать объекты карты перед оцифровкой? Какую информацию вы должны поместить на подготавливаемую карту? Почему вы должны включать информацию о проекции и координатной сетке, если дигитайзер работает в декартовых координатах?

9. Что такое расстояние неразличимости точек? Каково его значение? Какие сложности могут возникнуть, если оно установлено слишком низким? Если слишком высоким?

10. Каково потенциальное воздействие материала карты на процесс оцифровки? Что можно предпринять для уменьшения погрешности, вызванной деформацией материала?

11. Как вы выберете, что вводить в ГИС? Что такое пространственно-информационный продукт и как он связан с вводом в ГИС?

12. Перечислите и объясните семь правил, определяющих, что должно вводиться в ГИС.

13. Каково практическое правило, помогающее определить, как много информации следует вводить? Что мы имеем в виду, когда говорим, что оцифровка является разновидностью отбора?

14. Что общего между вводом данных и теорией информации? Какое общее правило предлагает теория информации для ввода данных?

15. Что такое масштабно-зависимая ошибка? Как она связана с подсистемой ввода ГИС?

16. Почему нужно читать руководства по программному обеспечению при вводе векторных данных? Нельзя ли обойтись указанием на точку и нажатием на кнопку? Для чего используются пронумерованные кнопки на курсоре дигитайзера? Что вы можете сделать во время оцифровки, чтобы в дальнейшем сократить редактирование?

17. Что есть критичного во вводе атрибутивных данных для векторных объектов? Какова основная проблема, которая может возникнуть, если он выполнен недостаточно тщательно? Почему эту ситуацию так трудно обнаружить в дальнейшем?

18. Каковы основные методы ввода растровых данных? Чем они различаются? Каковы преимущества и недостатки каждого?

19. Какие технические проблемы связаны с использованием данных аэрофотосъемки для ввода в ГИС? Как насчет цифровых спутниковых данных? Что такое опорные точки и почему они важны при использовании ДДЗ? Какие организационные проблемы связаны с использованием ДДЗ для ввода в ГИС?

20. Какое положительное воздействие могут оказать внешние БД на рост геоинформационной индустрии? Каковы некоторые из наиболее крупных технических и организационных проблем в использовании внешних БД? Почему так важны метаданные и словари данных? Какова разница между активными и пассивными словарями данных?

Хранение и редактирование данных

Мы закончили подготовку к исследованию нашего цифрового мира. Но перед тем как начать, хорошо бы проверить то, что мы подготовили. Не забыли ли мы чего? Нетли в чем ошибок? Доступны ли нам введенные нами данные? Любой анализ должен базироваться на хороших данных, правильно организованных и в должном формате. В цифровом окружении подготовительные операции обширны, потребляя большую часть нашего времени. Каждая точка, линия, область должны быть корректно введены, иначе мы будем путешествовать по бесконечным тропам, искать области, которые должны быть, но их нет. Мы должны быть уверены, что к каждому объекту присоединены корректные атрибуты, дабы избежать поисков отношений, которых не может быть. Возможность ошибки существует для любого создаваемого нами тематического покрытия. А наши БД, скорее всего, будут содержать множество покрытий, дополнительно увеличивая риск внесения ошибок.

Подсистема хранения и редактирования ГИС обеспечивает набор средств для хранения и поддержки цифрового представления наших данных. Она имеет также средства для проверки покрытий на ошибки, которые могли проработать в наши данные. Перед тем, как мы сможем успешно применять эти средства, нам нужно узнать, каковы эти возможные ошибки, как их обнаруживать и исправлять. Если мы были внимательны при вводе, то количество ошибок не должно быть большим. Но, как мы видели, даже выбор неподходящей величины расстояния неразличимости точек может приводить к ошибкам. Многие из этих ошибок не проявятся, пока не будут организованы завершенные покрытия ГИС. Например, в растре нам может потребоваться отображения каждого тематического покрытия для выявления смещенных ячеек раstra при сравнении их со входными документами. В векторных системах может потребоваться построение топологии после начального ввода данных для обнаружения любых незамкнутых областей, линий, которые оканчиваются в ненадлежащих местах, точек, которые оказываются не там, где должны быть. Для проверки соответствия графики и атрибутов нам может потребоваться вывести пробные участки карты для сравнения с исходным материалом.

Как видите, есть множество аспектов обнаружения и исправления

ошибок. Читая эту главу, вы встретите термины, которые пригодятся вам не только для построения вашего географического языкового фильтра, но и для подбора методов для обнаружения ошибок и их исправления. При встрече с каждым типом ошибок постарайтесь соотнести его с материалом Главы 5 о вводе. Спросите себя, как можно было бы избежать этих ошибок, прежде всего, с помощью планирования и подготовки перед началом ввода. Составьте список методов, которые способствуют более легкому обнаружению ошибок и последующей идентификации типа каждой ошибки, которая вам встретится. Это могут быть как стандартные подходы, так и подстроенные под ваши нужды, типы используемых данных и типы ошибок, которые вы совершаете систематически. Это в чем-то сходно с созданием собственных макросов текстового редактора для работы с опечатками, которые вы совершаете наиболее часто. Может оказаться, например, что вы постоянно не доводите линии до пересечения с другими объектами. Или вы можете делать ошибки при вводе атрибутов из-за того, что печатаете более медленно, чем читаете. Было бы неплохо потренироваться во вводе на пробных БД и отследить виды ошибок, которые вы делаете. Эта простая предосторожность может помочь избежать многих ошибок до того, как они случились бы, благодаря тому, что ваша осведомленность о собственных слабых местах делает вас более осторожными при оцифровке.

Некоторые из вас могли иметь возможность поработать с ГИС до начала курса геоинформатики. Этот опыт может привести к почти невыносимому нетерпению поскорее перейти к "деланию" географического анализа, нежели пустой трате времени на это скучное редактирование. Но помните, что, хотя вы и могли увидеть некоторые ошибки и даже исправить их, многие ГИС-профессионалы борются годами со своими ошибками, продолжая совершать их снова и снова. В часто лихорадочном мире коммерческих ГИС-приложений редко находится время для систематического анализа ваших рабочих привычек, когда вам нужно завершить проект "еще вчера". Потратьте дополнительное время сейчас, когда оно не будет стоить денег вам или вашему клиенту., В то же время поделитесь своим опытом с товарищами и преподавателем. Это поможет вам распознать ваши постоянные ошибки и придумать методы их устранения. К тому же, это существенно поднимет уровень понимания во всей вашей группе. И скоро может наступить момент, когда уже вы должны будете учить новых сотрудников построению баз данных. Этот опыт будет неоценимым для вас и вашей работы с ГИС.

ХРАНИЕНИЕ БД ГИС

Анализ конкретных компьютерных методов хранения баз данных ГИС далеко выходит за рамки данной книги, также как и всё новых типов аппаратуры, используемой для записи данных. Сами методы также сильно зависят от модели данных, используемой в вашей системе (см. Главу 4). Тем не менее, часть подсистемы хранения и редактирования, относящаяся к хранению, заслуживает упоминания, по меньшей мере, в связи с ее отношением к нуждам редактирования и обновления баз данных.

В растровых системах главными данными являются значения атрибутов ячеек раstra, которые хранятся в компьютере обычно на жестком диске, будь то рабочая станция под управлением UNIX или персональный компьютер. Положение каждой ячейки раstra определяется относительно положений других ячеек раstra. По этой причине редактирование связано главным образом с правильным относительным положением каждой ячейки раstra. Некоторые растровые системы, как мы видели в Главе 4, используют методы сжатого хранения, такие как групповое и блочное кодирование, кодирование цепочек раstra и квадродеревья. Для действительного определения относительных положений отдельных ячеек раstra вы должны иметь возможность выборки данных из запоминающего устройства для отображения таким образом, который позволяет идентифицировать каждую отдельную ячейку раstra по номерам колонки и ряда, а также по коду атрибута.

Если ваша растровая система обеспечивает связь с внешней СУБД, вопрос становится несколько сложнее в том, что каждой ячейке раstra присоединено несколько различных кодов атрибутов. В зависимости от того, как это реализуется конкретно в вашей ГИС, вам может потребоваться отображать и анализировать набор атрибутов каждого тематического покрытия как отдельной карты. Другие системы могут давать вам возможность просматривать список кодов атрибутов для каждой ячейки раstra при доступе к ней. Вам необходимо познакомиться с возможностями и подходами редактирования в вашем конкретном случае.

В случае векторов графика и атрибуты хранятся либо как отдельные таблицы внутри одной БД, либо как самостоятельные наборы данных, связанные набором указателей. Разделение графики и атрибутов требует от вас внимания к процедурам редактирования, применяемым к графике, атрибутам и базам данных. Вы можете сделать выборку графических объектов и отобразить их для обнаружения пропусков объектов, отсутствующих связей и незамкнутых полигонов. Делая выборки из таблиц атрибутов, вы сможете просмотреть их отдельно от связанных с ними графических объектов на предмет выявления опечаток, неправильных кодов или даже помешение правильных атрибутов в неправильные колонки таблицы. Наконец, вы

сможете делать выборку части или всей БД, т.е. частей графики и/или частей атрибутов, для проверки их соответствия. Чаще всего у вас будет возможность выделения отдельных графических объектов и отображения на том же экране соответствующих значений атрибутов.

Многие векторные ГИС позволяют хранить отдельно части БД как большие секции для целей архивирования. Эта процедура, называемая мозаичным размещением (tiling), чаще всего используется для уменьшения объема данных, необходимых для одновременного анализа в очень больших БД*. Допустим, вы создаете подробную БД для целой страны. Возможно, вы пожелаете разделить всю БД на мозаичные блоки (tiles), основываясь на координатах отдельных карт (таких как топографические листы), которые вы вводили. Хотя мозаика не требует применения такой формальной схемы, многие считают ее полезной для упрощения управления данными. Кроме того, некоторые проводимые анализы могут потребовать выбора только определенной части БД для работы. А выборка только нужных блоков из всей БД уменьшает вычислительные затраты и ускоряет реакцию системы. Другой важной целью мозаики является обеспечение контроля администратора БД над процедурами редактирования и обновления через разрешение доступа только к определенным частям БД. Когда малые БД части доступны для модификации, система поддерживает оригинальную копию всей БД, пока администратор не убедится, что изменения внесены корректно. Таким образом, разрешая доступ только для тех, кому позволено вносить изменения, можно предотвратить порчу всей БД.

Чаще всего БД полностью редактируется и вычищается перед мозаичным разбиением, архивацией и определением доступа для обновления и анализа. Но так бывает не всегда, и тогда вам придется выбирать подходящие блоки для редактирования. В некоторых случаях может потребоваться выполнение операции увязки по границам блоков для обеспечения стыковки частей объектов, которые пересекают границы блоков.

В общем, современное программное обеспечение ГИС, будь то растровое, векторное или на квадродереве, обеспечивает механизм визуального отображения, который повышает ваши возможности визуализации ошибок. Конкретные методы будут зависеть от используемой модели данных и сложности системы. Поскольку большинство систем дают возможность интерактивного редактирования внутри подсистемы визуализации, то обычно имеется также и возможность корректировать ошибки непосредственно при обнаружении каждой из них. Это было мечтой в прежние времена компьютеризованной картографии, когда приходилось

* Если вы знакомы со структурой данных ГИС ARC/INFO, то наверняка сталкивались с понятием "покрытие", которым там обозначается один лист одного тематического слоя (один блок мозаики). В тексте этой книги покрытие имеет более общее значение, соответствующее тематическому слою или теме карты. — *прим. ред.*

распечатывать координаты каждого объекта и сравнивать их с записанными для ввода. Все же, несмотря на сложность современного программного обеспечения геоинформационных систем и его способность находить некоторые очевидные ошибки, процесс не является полностью автоматическим. Вы должны активно взаимодействовать с программой, как для обнаружения, так и для устранения ошибок. Это еще один довод в пользу лучшей подготовки карты ко вводу. Подготовленные карты гораздо легче использоваться для проверки цифровой БД.

ВАЖНОСТЬ РЕДАКТИРОВАНИЯ БД ГИС

Хотя некоторые ошибки могут происходить в результате недостатков вычислительных алгоритмов, ошибок кодирования программ и ошибок округления, и это действительно случается время от времени, все же большинство ошибок в БД обусловлены неправильным вводом.

Даже при самых педантичных процедурах подготовки карт, прекрасном оборудовании и отлично обученном персонале ошибки будут случаться. Среди причин - просто нажатие не той кнопки на курсоре дигитайзера, дрожание руки из-за усталости, опечатки при вводе атрибутов и даже трудности позиционирования курсора. Фактически, потенциальных источников ошибок — множество, включая проблемы с самими вводимыми картами [Laurini, 1994]. Но наиболее утомительным аспектом ошибок является не их источник, а то, что, поскольку такие ошибки обычно очень малы и чрезвычайно трудны для обнаружения даже с наилучшим программным обеспечением, их корректировка требует много времени и денег. Вполне возможно, что на корректировку даже небольшого числа ошибок будет потрачено времени больше, чем на подготовку и ввод карты. Ваш преподаватель может предложить упражнение в редактировании для того, чтобы познакомить вас с тщетностью часового поиска единственной ошибки, которая в принципе может быть исправлена. Такой урок - хорошее напоминание о том, что нужна тщательная подготовка перед вводом, так как редактирование еще более утомительно, чем ввод.

Мы затронули три распространенных типа ошибок. Чтобы хорошенько их запомнить, повторим их сейчас. Первый относится главным образом к векторным системам и называется графической ошибкой. Такие ошибки встречаются трех видов: пропуск объекта, неправильное положение объекта (ошибка положения, *positional error*) и неправильный порядок объектов (*disordered entities*). Позже мы обсудим это подробнее. Второй тип ошибок это ошибки атрибутов (*attribute error*). Они встречаются и в векторных и в растровых системах, с одинаковой частотой. Чаще всего они являются опечатками, а огромный объем работы, требующийся для больших БД, часто

оказывается главным источником ошибок. В векторных системах ошибки атрибутов включают использование неправильного кода для атрибута, ошибки записи одинаковых по произношению, но разных по написанию слов, что делает невозможной выборку атрибута, если в запросе использована корректная запись. В случае раstra ввод чаще всего состоит из атрибутов, поэтому результатом набора неправильного кода или помещения его в неправильную ячейку раstra является карта, которая показывает эти неправильно кодированные ячейки в неправильных местах. Такие неправильно расположенные атрибутивные данные образуют третий тип ошибок, ошибки согласования графики и атрибутов (*entity-attribute agreement error, or logical consistency*), которые случаются и в векторных системах, когда правильно набранные коды атрибутов связываются с неправильными графическими объектами.

Из трех основных типов ошибок в БД ГИС последние два, оба связанные с атрибутами, наиболее труднообнаружимы. Неправильно набранные атрибуты, помещенные в корректные позиции (например, в правильное место внешней БД) могут быть обнаружены, если в составе системы имеется активный словарь данных, который эффективен при попытках нарушить установленное в нем правило, например, запрет ввода цифр в поля, допускающие только буквы, или ввода пятизначного числа в четырехзначное поле. Однако, не все неправильно набранные атрибуты могут обнаружиться, до того, как вы начнете выполнять реальный анализ. Ошибки согласования графики и атрибутов обнаружить часто еще труднее, чем неправильный набор или неправильные коды. В растре единственным способом отслеживания проблем этого типа является отображение карты для определения неправильно расположенных ячеек раstra. В случае векторов вы чаще всего сможете указать на объект и получить на экране его атрибуты. Однако, сама ГИС вряд ли сможет сказать вам, что вы присоединили неправильные атрибуты к какому-либо объекту, если они не противоречат правилам словаря данных или базы знаний. Вместо этого вам придется держать под рукой копию введенной карты при просмотре данных о каждом объекте.

Как вы могли догадаться, если вы создали очень сложную базу данных, то можете потратить месяцы на проверку и сравнение с оригиналом каждого из тысяч объектов. Гораздо лучше выполнять ее небольшими порциями по мере заполнения БД. По той простой причине, что вы лучше помните данные, пока их вводите, чем будете помнить, когда вернетесь к ним намного позже. Вдобавок, вводимый документ уже перед вами. По этой причине некоторые поставщики программ позволяют использовать для ввода подсистему редактирования вместо подсистемы ввода. Некоторые поступают иначе, встраивая возможности редактирования в подсистему ввода. В любом

случае вы можете просматривать карту на предмет ошибок графики, атрибутов и их согласования, когда они случаются. Хотя эти шаги замедляют процесс ввода, напомним еще раз, что гораздо лучше сделать правильно сразу, чем тратить часы на правку ошибок после того, как было введено целое тематическое покрытие.

Хотя вы это уже слышали, ничего страшного не случится, если вы услышите это еще раз. Ошибочные данные ведут к ошибочным результатам анализа. И хотя отдельные ошибки могут выглядеть вполне безобидными, даже самые мелкие из них могут приводить к результатам, которые существенно некорректны. В качестве простого примера представьте себе БД, содержащую более 8000 полигонов, некоторые из которых изображают положения высокотоксичных материалов; а один полигон (скажем, номер 2003) имеет неправильный код атрибута, показывающий, что в это месте нет токсичных материалов. В вашем анализе вы ищете области, которые соответствуют наибольшей смертности от рака. И оказывается, что ее наибольшая величина в покрытии статистики смертности соответствует полигону 2003 в покрытии с токсическими веществами. Таким образом, хотя соображения здравого смысла говорят вам о прямой пространственной корреляции между наибольшей смертностью от рака и высокотоксичными веществами, ваш анализ не сможет это продемонстрировать. Сначала ваш географический анализ дал неправильные результаты. Потом могут оказаться неправильными решения по очистке от токсических веществ. Такие ошибочные решения являются одной из тем идущей в наши дни дискуссии о юридической ответственности авторов баз данных ГИС для принятия решений [Epstein, 1989; Seipel, 1989]. И хотя этот пример может выглядеть крайностью, он должен показать, что всегда возможно получить большие ошибки анализа из мелких ошибок в данных. Боязнь судебного иска — хорошая причина для того, чтобы потратить время, необходимое на достижение целостности и точности базы данных.

ОБНАРУЖЕНИЕ И УСТРАНЕНИЕ ОШИБОК РАЗНЫХ ТИПОВ

Как мы видели, БД ГИС подвержена ошибкам графики, атрибутов и их согласования. Хотя все они заметно различаются, в дальнейшем мы рассмотрим вначале графические ошибки, а затем, в одном разделе, ошибки атрибутов и согласования. Чаще всего ошибки атрибутов обнаруживаются из-за их несогласованности с графикой. Не всегда бывает именно так, и обнаружение чисто атрибутивных ошибок чаще всего выполняется через проверку атрибутивной БД. Хотя это тоже часть общего процесса устранения ошибок, полное описание всех возможных вариантов таких ошибок не требуется. Примеры для каждого типа ГИС заняли бы немалую часть книги,

поэтому мы посмотрим, как обнаруживаются ошибки в одной-двух наиболее распространенных системах, а вы сможете изменить эти процедуры соответственно используемой вами ГИС.

Графические ошибки в векторных системах

По окончании оцифровки, векторно-топологические ГИС требуют построения топологии (если это не было частью самого процесса оцифровки). В любом случае, топология, содержащая явную информацию об отношениях графических объектов в БД, должна позволить вам идентифицировать графические ошибки некоторых типов. Одни из них будут обозначены текстовыми сообщениями, другие должны быть выявлены в результате просмотра статистики БД, отображающей количества типов и объектов, или проверки изображения для поиска ошибок, которые данная ГИС не может обнаружить сама. Вам нужно будет искать ошибки шести основных типов, соответствующих отрицаниям следующих утверждений (Environmental Systems Research Institute, 1992):

1. Присутствуют все графические объекты, которые должны быть введены.
2. Не оцифровано объектов сверх того.
3. Объекты находятся на должных местах и имеют должные форму и размеры.
4. Соединены все объекты, которые должны быть соединены.
5. Все области имеют ровно одну метку для идентификации.
6. Все объекты находятся в пределах рабочей области, определенной опорными точками.

Крупная коммерческая ГИС должна быть способна обеспечивать эти общие топологические отношения, и вы можете использовать их для обнаружения ошибок. Хорошей процедурой для сравнения оцифрованных объектов и исходной карты является отображение на экране или даже вывод твердой копии. Последний позволит вам физически наложить и сравнить две карты на копировальном столе с подсветкой. Помимо этого, многие ГИС имеют набор символов для индикации некоторых ошибок. Чтобы сэкономить время, познакомьтесь с ними до начала редактирования. Теперь мы пройдем по конкретным типам ошибок, которые мы можем найти в связи с этими шестью общими типами.

Как вы помните из нашего обсуждения векторных моделей данных, узлы - это специальные точки для индикации связи между линиями, составленными из отдельных отрезков. В таких векторных моделях данных, как POLYVRT и DIME, например, узлы часто обозначаются как узел "от" и узел "к", показывая направление линейного объекта. Узлы - это не просто

точки между отрезками линии, которые показывают изменение ее направления, они имеют определенное топологическое значение. Узлы могут использоваться для обозначения пересечения двух улиц или слияния реки и озера, но они должны появляться не на каждом отрезке линии или границы полигона. Возможны также так называемые псевдоузлы (pseudo node), в которых линия соединяется сама с собой или когда в узле соединяются только две линии. Поэтому первым типом ошибок, которые могут быть обнаружены, являются псевдоузлы, которые мы не намеревались создавать, то есть когда мы не трактуем линию как две самостоятельных дуги. Создание псевдоузла при отсутствии пересечения с другой линией чаще вызывается необходимостью смены значений атрибутов где-то в промежутке между двумя обычными узлами*. Мелкие изолированные полигоны часто изображаются одной замкнутой на себя в псевдоузле дугой; такие псевдоузлы как правило не являются ошибочными (Рисунок 6.1). Ваша ГИС должна быть способна отмечать псевдоузлы с помощью легко различимого графического символа. При построении своей первой БД ГИС вы можете быть сбиты с толку обилием появившихся псевдоузлов. Перед тем, как паниковать, вы должны знать, что не все псевдоузлы являются ошибками, а их символы всего лишь указывают на возможные проблемы.

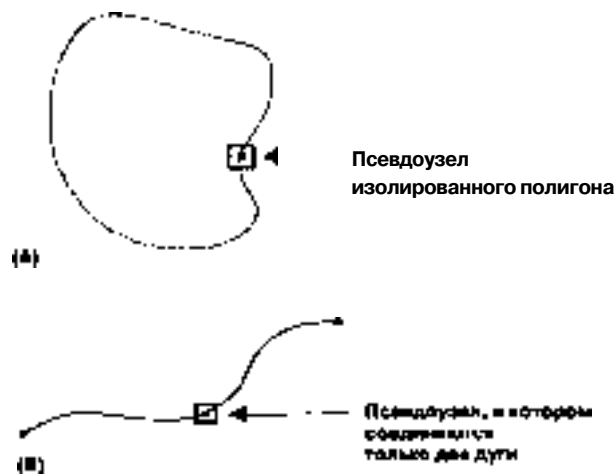
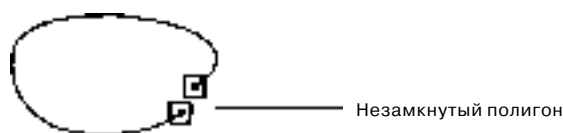


Рисунок 6.1. Псевдоузлы. Два типа псевдоузлов, которые могут быть ошибками.

* Следует отметить, что для этой цели создан специальный механизм динамической сегментации, который обозначает такие точки как события, которые могут легко добавляться и удаляться, не влияя на топологию; это более корректное решение, так как топология и атрибуты не должны зависеть друг от друга; кроме того, отпадает необходимость введения этих похожих на ошибки псевдоузлов, что в целом упрощает проверку БД. — *прим. перев.*

Псевдоузлы, которые не являются результатом намеренного создания изолированного полигона (в том числе одного полигона внутри другого), обусловлены чаще всего ошибками оператора дигитайзера. Другими словами, вы либо пытались создать незамкнутую фигуру, но поместили курсор не туда, куда надо, либо вы пытались создать полигон, который соединен с другими полигонами (т.е. имеет связывающую с ними дугу), но нажали не ту кнопку, что требовалось. В качестве средства избежать ошибочных псевдоузлов вы можете пронумеровать ваши точки при подготовке карты или использовать специальный код или символ для обозначения мест, в которых находятся действительно необходимые псевдоузлы. Полезно использовать цифровой код, который совпадает с числами на кнопках курсора дигитайзера, которые соответствуют узлам.

Если программа сообщает, что ваше покрытие содержит один или более псевдоузлов, то для исправления ошибок можно использовать подготовленную карту. Во-первых, вам нужно определить, являются ли псевдоузлы на самом деле ошибками. Законные псевдоузлы (т.е. такие, которые присутствуют для определенной цели) могут быть проигнорированы. Ошибочные узлы могут быть удалены или перемещены для восстановления корректности. В коммерческих системах это делается обычно легко.



"Недолит"

"Перелёт"

Рисунок 6.2. Ошибки узлов. Ошибочные висящие узлы трех основных типов: при незамкнутости границы полигона; когда дуга не достигает объекта, к которому должна быть присоединена; когда дуга пересекает объект, к которому должна быть присоединена.

Другая обычная ошибка, называемая **висящим узлом** (dangling node), может быть определена как узел на не соединённом конце линии (Рисунок 6.2). Возможны три вида ошибок, создающих висящие узлы: незакрытие границы полигона; "недолёт" (undershoot), т.е. неприсоединение дуги к объекту, к которому она должна быть присоединена; "перелёт" (overshoot), при заходе дуги за объект к которому она должна быть присоединена. В одних случаях причиной ошибки может быть неправильное положение курсора дигитайзера, в других — установка недостаточной величины расстояния неразличимости точек. Правильная установка этой величины является одним способом избежать этой проблемы, подготовка карты — другим. Обычно легче находить "перелёты", чем "недолёты". Если вам свойственно создавать висящие узлы, то уж лучше первые, чем вторые. Хотя точная оцифровка была бы еще лучше, такое решение оказывается лучше для тех, кто часто совершает эти ошибки.

Висящие узлы обычно обозначаются программой графическим символом, отличным от используемого для псевдоузлов. Кроме того, если висящий узел обусловлен незамкнутым полигоном, то ГИС предупредит вас сообщением о числе замкнутых полигонов в базе данных; если оно отличается от того, что вы насчитали при подготовке карты перед оцифровкой, то вам будет ясно, что нужно поискать такие висящие узлы. Опять же, исправления довольно просты. В случаях "недолётов" узел передвигается, или "пристегивается" к объекту, с которым он должен быть соединен. "Перелёты" исправляются определением должной точки пересечения и "обрезанием" линии так, чтобы она соединялась там, где следует. В случае открытого полигона вы просто передвигаете один из узлов до соединения с другим. Чаще всего ГИС сама устранил после этого лишний узел.



Тупики

Рисунок 6.3. Допустимые висящие узлы. В данном случае показывают тупики вдоль проезжей улицы в жилой зоне.

Как и в случае с псевдоузлами, некоторые висящие узлы вводятся в БД ГИС намеренно. Чаще всего эти узлы служат указателями особой ситуации

на конце линии или дуги. Например, вы могли бы использовать узлы для указания положений тупиковых площадок в жилой зоне (Рисунок 6.3) или истоков рек. То есть, мы видим, что висящие узлы могут быть законными объектами в БД, а не только ошибками.

При оцифровке полигонов вы должны указывать метку - точку внутри каждого из них, которая служит для связи с атрибутами и выбора места отображения текстовой информации об этом полигоне. Нужна одна и только одна такая точка. В связи с этим возможны ошибки двух типов: отсутствующие метки и лишние метки (*missing labels and too many labels*) (Рисунок 6.4). И те и другие чаще всего обязаны потере контроля в процессе оцифровки. Хотя хорошая подготовка карты уменьшит число ошибок с метками, чаще всего эта проблема вызывается беспорядочной организацией работ, перерывами в процессе оцифровки или усталостью. К счастью, они очень легко обнаруживаются и исправляются добавлением меток там, где их не хватает, и удалением лишних там, где они есть.

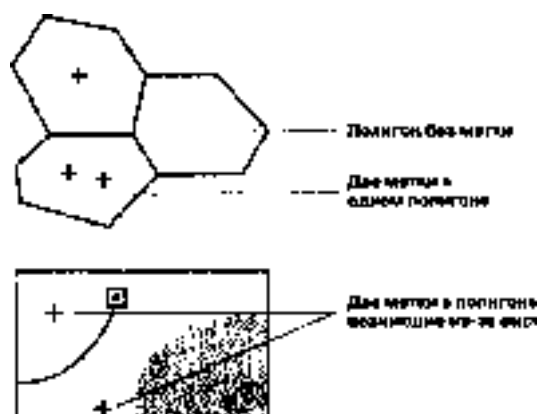


Рисунок 6.4. Ошибки с метками. Внутри каждого полигона должна быть одна точка, к которой присоединяются атрибуты. Ошибки возникают, когда метки нет или когда их больше одной.

Другой тип ошибок чаще всего встречается, когда программа использует векторную модель, в которой каждый полигон имеет свою отдельную границу. В таких случаях вы должны оцифровывать общие линии границ полигонов более одного раза. Невозможность поместить курсор дигитайзера точно в требуемой позиции для каждой точки на этой линии часто приводит

к возникновению последовательности крошечных полигонов, называемых **осколочными, или рукавными полигонами** (sliver polygons) (Рисунок 6.5). Они могут возникать также в результате операций наложения (см. Главу 12), или когда каждая из двух смежных исходных карт имеет свою проекцию (см. далее в этой главе). Мы ограничимся рассмотрением осколочных полигонов, возникающих в процессе ввода.



Рисунок 6.5. Осколочные полигоны. Они возникают из-за плохой оцифровки вдоль общих границ, где линия должна вводиться более одного раза. Сильно нерегулярные границы государств, как в Центральной Америке, особенно подвержены такой "кудрявости" (гаггтезз) оцифровки.

Конечно, легче всего избежать получения осколочных полигонов при вводе, если использовать ГИС, которая не требует двойной оцифровки линий. Но иногда вы и сами можете случайно ввести одну линию дважды, получив все тот же осколочный полигон. При этом вы можете получить также и висящий узел, поскольку была создана ненужная линия. Простое удаление линии в таком случае решит обе проблемы.

Поиск осколочных полигонов в отсутствие висящего узла более труден. Один из способов - сравнить число введенных в компьютер полигонов с числом полигонов на исходной карте. Но даже если вы знаете, что осколочные полигоны где-то есть, часто их очень трудно найти. Обычно приходится просматривать изображение в поисках подозрительных границ полигонов, а затем увеличивать его, чтобы увидеть осколочные полигоны. В некоторых случаях вам может понадобиться несколько шагов увеличения. Увы, часто вы, пока не увидите их, не знаете, что перед вами, простая линия или осколочные полигоны.

Иногда, когда имеется последовательность совсем крошечных полигонов, но нет висящего узла, можно увеличить расстояние неразличимости точек при вводе. Если этот параметр можно изменять в подсистеме

редактирования, программа автоматически удалит осколочные полигоны*.

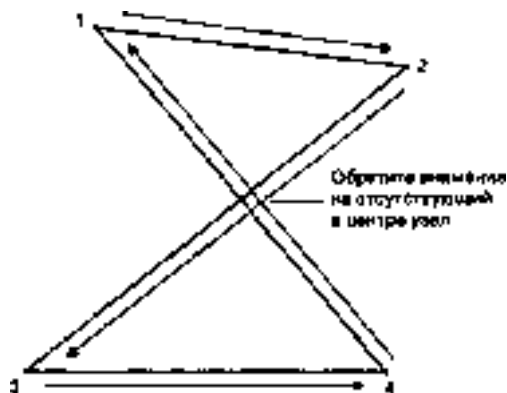


Рисунок 6.6. Странные полигоны. Пример создания странного полигона в результате неправильной последовательности ввода точек. Хотя графически мы имеем два полигона, точка, в которой линии пересекаются, не имеет узла.

Отдельной проблемой, связанной с полигонами, является создание "странных" полигонов (weird polygons), у которых не хватает узлов (Рисунок 6.6). В этом случае полигон является графическим артефактом, который выглядит настоящим полигоном с отсутствием одного или нескольких узлов. Обычно это случается, когда пересекаются два или более участков границы. Наиболее частой причиной такой ошибки является точка, введенная в неправильном месте или в неправильной последовательности. Например, у нас есть прямоугольник, для определения которого требуется только четыре точки (Рисунок 6.6). Его можно оцифровать, вводя сначала левую верхнюю точку, затем правую верхнюю, затем правую нижнюю, затем левую нижнюю, и закончить в левой верхней, откуда начали. Однако (возможно потому, что вы не пронумеровали точки при подготовке карты) вместо этого вы идете от левой верхней к правой верхней, затем, по ошибке, к левой нижней, потом к правой нижней и возвращаетесь к левой верхней, откуда начали. Хотя сами точки были введены правильно, ваш полигон больше похож на песочные часы, чем на прямоугольник. Фактически, он выглядит как два треугольника,

* Осколочные полигоны можно также обнаружить после построения топологии в результате поиска самых мелких по площади полигонов. Кроме того, в топологической системе такие полигоны, как правило, не имеют меток (точек, к которым привязываются атрибуты). Наконец, отношение периметра к площади у этих полигонов обычно значительно превосходит значения этого параметра у "нормальных" полигонов. Все эти критерии, вместе или по отдельности, можно использовать для поиска осколочных полигонов. — прим. перев.

соединенных средней точкой. Однако, центральная точка не вводилась и не является узлом.

Как вы можете догадаться из приведенного примера, простой способ избежать данной проблемы - пронумеровать вводимые точки. Но даже если вы этого не сделаете, ее можно избежать, установив единое правило оцифровки полигонов. Например, вы можете вводить их, двигаясь вдоль границы всегда по часовой стрелке. Это предохранит вас от пропуска необходимых узлов. Кстати, многие пользователи используют этот же подход при определении последовательности оцифровки частей карты за несколько сессий. Эту хорошую привычку стоит перенять.

Обнаружение странных полигонов трудно, но не невозможно. Простейший метод состоит в выделении узлов и отображении их совместно с полигональным покрытием. Области, которые по-видимому должны иметь узлы, но не имеют их, будут отличаться от оцифрованных правильно. Исправление ошибки состоит в перемещении линий в должные положения, организуя тем самым узлы в правильной последовательности. Иногда легче просто удалить ошибочные линии и использовать подсистему редактирования для повторного ввода точек в правильной последовательности*.

Ошибки, которые мы рассматривали до сих пор, — наиболее простые для поиска векторные ошибки; как правило, вы можете сделать необходимые исправления, не выводя карту на печать. Более досадные графические проблемы стоят под номерами 1, 2, 3 и 6 в списке, приведенном выше.

Проблемы с пропущенными, лишними, смещенными или деформированными объектами легче всего обнаруживаются в результате вывода цифрового покрытия в том же масштабе, что использовался при вводе (Рисунок 6.7). Если вы наложите исходную и выведенную карты друг на друга на копировальном столе с подсветкой, то сможете увидеть проблемные участки. Почти все эти ошибки обусловлены недостатком подготовки карты или неудачной организацией работы, хотя перерывы в работе и усталость всегда будут играть свою роль в их появлении. Исправление их облегчается маркировкой проблемных областей на карте, лучше с точным указанием сущности проблемы и способа ее исправления. Если объект пропущен, отметьте его, указывая по порядку точки, линии и полигоны, которые должны быть оцифрованы, включая любые другие сведения, относящиеся к положениям узлов, и прочую топологическую информацию, которая может понадобиться. Лишние объекты должны быть помечены для удаления. Для тех объектов, которые вышли за границы рабочей области, установленной опорными точками, точки должны быть удалены и введены заново.

* Проблема странных полигонов не возникает в векторно-топологических системах типа АЛС/ЮТО, где при построении топологии любые пересечения станут узлами, даже если для них не вводилась точка. — *прим. ред.*

Деформированные или смещенные объекты обычно могут быть выбраны по отдельности и перемещены, без переоцифровки.



Рисунок 6.7. Отсутствующая дуга. Иллюстрация сравнения с исходной картой для определения обычных графических ошибок. Заметьте пропущенную дугу в цифровой версии этой карты Канады.

Во всех этих случаях справляйтесь с руководством по вашей ГИС для определения конкретных команд, выполняющих эти операции. Поскольку теперь вы знаете о типичных графических ошибках, которые могут случиться, будет не трудно найти соответствующие указания в документации. Но перед тем как покинуть векторные ошибки, нужна пара предостережений. Во-первых, помните, что модифицируя объекты, вы можете изменить также и их пространственные отношения, которые вы ввели первоначально. Большинство ГИС потребуют ввести одну или более команд для подтверждения изменений. Скорее всего, нужно будет вызвать процедуру перестроения топологии на основе новых данных. Во-вторых, как это ни очевидно, вы должны сохранить вашу новую карту. Впрочем, забыв однажды сделать это после нескольких часов редактирования, вы не захотите повторения ошибки.

Ошибки атрибутов в растровых и векторных системах

Как говорилось ранее, ошибки атрибутов, включая ошибки согласования атрибутов и графики, - одни из наиболее трудных для обнаружения. Это обусловлено тем, что ГИС не знает, какие атрибуты корректны, а какие -

нет. Поскольку атрибуты векторных объектов и ячеек раstra значительно различаются от приложения к приложению, и поскольку для атрибутов нет эквивалента топологии, то нет и правил, по которым ГИС могла бы проверить достоверность ввода. То есть, нет явно выраженных правил утверждающих, что определенный атрибут встречается в определенной закономерности по отношению к своим соседям. Если бы было иначе, то многое из того, что мы делаем в аналитических операциях геоинформационной системы, было бы излишним. На самом деле, именно поиск таких закономерностей чаще всего и стимулирует анализ. Возможно, после нескольких десятилетий исследований, мы сможем вычислить некоторые из них, но пока нам приходится сравнивать атрибуты цифровой БД с исходной картой для выявления большинства возможных ошибок атрибутов.

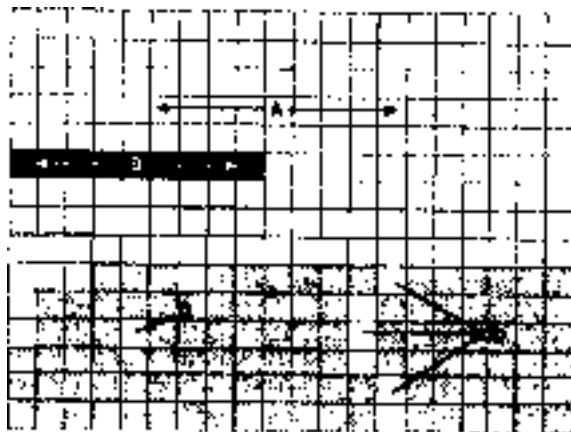


Рисунок 6.8. Ошибки атрибутов раstra. Обычные ошибки атрибутов раstra, определяемые по тому, как они искажают изображение; А - пропущенный ряд; В - неправильные или смещенные атрибуты (выглядят как один или более рядов существенно отличных значений); С - одиночные неправильные атрибуты; В - ошибки атрибутов вдоль границ областей (вызываемые чаще всего проблемами оцифровки).

Пропуск атрибутов (missing attributes), возможно, - единственная ошибка атрибутов, которая может быть обнаружена без прямого сравнения с исходной картой. В случае раstra они встречаются в виде потери целых рядов или колонок или частей рядов или колонок ячеек раstra. Они могут быть обнаружены потому, что известность очертаний исходной карты предупредит

нас об отсутствии некоторого числа ячеек раstra, существенно изменяющем весь вид карты (Рисунок 6.8). Пропуск рядов или колонок в растре чаще всего вызывается смещением позиции при наборе значений ячеек раstra на клавиатуре; он редко встречается при использовании сканера.

Если пропущен один или несколько рядов данных, ваша карта окажется короче, чем должна быть. Визуально это расхождение труднее заметить, но программа может сообщить, сколько рядов, колонок и ячеек раstra содержится в БД. Эту информацию можно тогда сравнить с легко рассчитываемыми величинами для полной БД. Конкретные положения таких потерянных рядов обычно легко обнаружить, так как будет видна разделительная линия между одной частью карты и другой. Исправление ошибки можно сделать через выгрузку растровых данных в текстовый файл и внесение в него с помощью текстового редактора недостающих значений с перенумерацией рядов. Можно также использовать подсистему редактирования ГИС для замены значений небольшого числа смещенных из-за пропуска ячеек или рядов, если они находятся в конце карты.

В векторных ГИС пропущенные атрибуты обычно вызываются просто тем, что ничего не было включено в таблицы атрибутов для отдельных точек, линий или полигонов. Это можно обнаружить при просмотре табличной информации или одновременном отображении объектов и их атрибутов на экране. Пропущенные атрибуты будут просто отсутствовать рядом с соответствующими объектами. Эти ошибки легко исправляются вводом должных значений атрибутов для выбранных объектов.

Неправильные значения атрибутов бывает очень трудно обнаружить, как в растровых, так и в векторных системах. В растровых ГИС, появление их как отдельных ячеек или коротких вертикальных или горизонтальных отрезков чаще всего обусловлено ошибками при наборе на клавиатуре, если используется этот метод ввода. Неправильно закодированная ячейка выглядит среди окружающих ячеек как находящаяся "не в своей тарелке". Большая разница в значениях атрибутов хорошо заметна. Когда неправильные атрибуты обнаруживаются на больших площадях, они, скорее всего, - результат ввода неправильного значения атрибута при групповом или блочном кодировании. Если они случаются как непрерывные отрезки или полосы неправильных значений атрибутов, то большинство программ позволят вам воспользоваться тем же методом кодирования для изменения этих ячеек. Отдельные ячейки раstra могут быть выбраны и изменены индивидуально.

На растровых изображениях, имеющих мало относительно однородных областей (например, необработанные топографические карты), неправильные значения будут плохо заметны на двухмерном виде, не имея возможности создавать нарушения однородности. В таких случаях

трехмерный вид поверхности будет иметь необычно высокие пики или слишком глубокие провалы. Хотя эти аномалии могут быть ошибками, их следует проверить, так как возможны и реальные аномалии. Чаще всего такие выбросы случаются в отдельных ячейках раstra, поэтому их легко можно выбрать и исправить в интерактивном режиме.

В растровых системах неправильные атрибуты могут также встречаться вдоль границ площадных объектов. В таких случаях типичным виновником являются либо неудачный выбор алгоритма оцифровки, либо невнимательность оператора при определении кодов атрибутов вдоль этих границ. Ловушка здесь состоит в том, что неправильные значения чаще всего совпадают с соседней областью, создавая тем самым впечатление, что они правильны. Вам нужно будет сравнить формы областей на цифровой карте с оригинальными формами введенной карты. Исправление данной ошибки обычно состоит в решении, какой из двух смежных областей действительно принадлежит эта ячейка? Когда это выяснено, каждая ячейка может быть выбрана и изменена, как и раньше.

Неправильные атрибуты может быть труднее обнаружить в векторных системах, нежели в растровых, поскольку в этом случае обычно требуется хорошее знание исходной карты, ее атрибутов и их распределений. Если вы используете кодирование, которое, к примеру, заменяет реальные названия или значения числовыми кодами, то есть много шансов ввести неправильное число. В таких случаях коды не будут соответствовать табличной информации в других частях вашей БД или в словаре данных. Программа должна быть способна отметить такие несоответствия. Возьмем для примера числовое кодирование названий отдельных видов растений для точечного покрытия. В то время как оно освобождает пользователя от необходимости побуквенно точного набора названий видов на клавиатуре при формировании запросов, появляется возможность ошибочного ввода кодов. Активный словарь данных, конечно, может обнаружить коды, не соответствующие какому-либо виду, но часто правильные коды отпечатываются в нашем подсознании, и мы можем ввести неправильный, но существующий, то есть вполне допустимый с точки зрения программы, код. Единственным способом предупреждения таких ошибок является проверка каждого введенного кода. Выявление ошибок такого типа требует сверки всех кодов с оригиналом. Работа утомительная, но позволяет обнаружить большинство таких ошибок. Выбирая объекты-нарушители, вы легко можете изменять их атрибуты, как и раньше, в интерактивном режиме.

Обычным источником ошибок атрибутов вышеупомянутого типа является тривиальный пропуск хотя бы одного значения при их наборе на клавиатуре, то есть чаще всего проблема не в том, что введены неправильные атрибуты, а в том, что атрибуты смещены, то есть поставлены в соответствие

не своим объектам. Во многих случаях такие смещенные коды встречаются систематически. Например, вам может быть свойственно сбиваться при наборе кодов. Это знание может дать вам подсказку для поиска таких ошибок, особенно когда таблицы распечатываются и сравниваются с исходными данными. Можно также использовать сравнение созданной цифровой карты с исходной бумажной. Если атрибуты вводились с использованием пометок на самих объектах, это будет наилучшим способом обнаружения таких ошибок.

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПРОЕКЦИЙ

В то время как основной функцией подсистемы хранения и редактирования является исправление графических и атрибутивных ошибок, она часто используется также и для преобразования координат дигитайзера в координаты реального мира. Довольно часто программы будут требовать от вас указания проекции вводимых карт; но некоторые (в основном, растровые) системы, этого требовать не будут. В любом случае, преобразование координат карты в векторных системах необходимо для любого анализа, требующего измерений в системе координат реального мира. Более того, поскольку зачастую не все вводимые карты имеют одинаковые проекции, потребуется их преобразование для обеспечения возможности сравнения покрытий, полученных с разных карт.

Для географической привязки вводимых карт могут использоваться опорные точки* с точно известными географическими координатами, которые имеются на карте. ГИС функционирует в системе координат реального мира, но воспринимает ввод данных в декартовых координатах дигитайзера, поэтому и нужны опорные точки с их значениями широты и долготы, чтобы проецирование было возможно. Здесь также задействуется механизм преобразования координат, рассмотренный в Главе 5 (см. Рисунок 5.3). Для пересчета координат, как в растровых, так и векторных системах, могут использоваться аффинные, полиномиальные и более сложные преобразования, которые получаются в результате решения уравнений, получаемых из математических моделей проекций. Для трансформации снимков дистанционного зондирования наилучшие результаты дают математические модели, наиболее точно воспроизводящие положения сенсора, снимаемой территории, геометрических и других параметров камеры.

Для растровых изображений и карт есть две возможности географической привязки: их можно трансформировать или калибровать. В результате

* Точки, используемые для привязки во время ввода с дигитайзера, обычно называются *регистрационными*, а те, что используются для привязки ДДЗ, - *опорными*. - прим. перев.

процедуры трансформирования создается новое покрытие, координаты пикселей которого точно соответствуют проекции, в которую производилось трансформирование. В результате калибровки новое покрытие не создается, а параметры привязки сохраняются вместе с файлом покрытия или внутри него, если это позволяет используемый формат. Преимущество второго метода состоит в том, что вы всегда можете изменить проекцию, не затрагивая сами данные, что позволяет не тратить компьютерные ресурсы на пересчет изображения, и не ухудшает качество данных при любом количестве преобразований. Но трансформирование все-таки часто требуется, так как простые системы обычно не способны выполнять преобразования по данным калибровки.

СШИВКА ЛИСТОВ КАРТЫ И УВЯЗКА ОБЪЕКТОВ ПО ГРАНИЦАМ ЛИСТОВ

Теперь, когда вы ввели всю информацию, относящуюся к преобразованию координат, нам нужно рассмотреть тесно связанную с этим тему в подсистеме хранения и редактирования, — стыковку вдоль границ листов карты (edge matching), когда два соседних покрытия, физически связываются для получения большей изучаемой области (Рисунок 6.9). Есть два источника трудностей при вводе смежных покрытий.

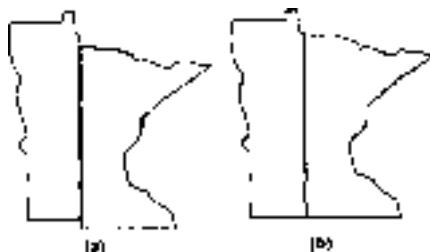


Рисунок 6.9. Стыковка вдоль границы. Два соседних листа карты до (а) и после (б) стыковки.

Во-первых, две карты, сделанные в одной и той же проекции, но введенные по отдельности, могут иметь ошибки объектов, оказавшихся несколько различными. Помните, что карты фиксировались на столе, их опорные точки определялись, и все объекты вводились в отдельных сессиях оцифровки. Следовательно, хотя каждое из двух покрытий может быть достаточно точным само по себе, различия в условиях ввода между ними скорее всего приведут к несовпадениям между отдельными объектами, иногда трудноразличимым, иногда очевидным. Например, если дорога,

проходящая по двум листам карты, должна быть прямой линией, то вам нужно проверить, когда листы будут соединены, что вы не получите зазубренный край или слегка смещенную дорогу. Обе части дороги должны быть соединены так, чтобы они существовали как одна прямая линия.

Вторая ситуация, требующая выполнения стыковки, возникает либо когда два смежных покрытия вводятся из разных проекций (или из разных реализаций одной проекции), либо когда проецирование применяется именно к этому покрытию без учета возможного влияния на соседнее покрытие. Попробуйте скрепить два смежных квадрата USGS так, чтобы все линейные объекты состыковались. Если вам это удалось (очень редкий случай), то вам очень повезло, и всё, о чем вам нужно беспокоиться, это ошибки при оцифровке. Если же листы точно не сходятся, то это потому, что проецирование применялось к ним по отдельности. Всё же вы можете спросить, почему края не стыкуются. Ответ: математические процедуры проецирования карт неточны, потому что плоские карты являются приближенными изображениями сферической поверхности Земли, и благодаря ошибкам округления в компьютере*.

Давайте рассмотрим более конкретный пример. Совпадение двух карт одной территории с разными проекциями невозможно. Но, как вам скажет любой поставщик ГИС, программы могут преобразовывать данные в любую желаемую проекцию. Это утверждение игнорирует два источника погрешности: погрешности самого проецирования и погрешности округления при компьютерных вычислениях. Часто вы будете сталкиваться с картами, которые, даже будучи представлены в одной проекции в ГИС, не будут идеально стыковаться.

Проблемы стыковки могут встречаться и в растровых системах, по меньшей мере в тех, что работают с картографическими проекциями, а не просто в плоском декартовом пространстве. Обычный пример стыковки в растровых системах - использование ДДЗ, таких как многозональные снимки *LAND SAT*. Поскольку соседние по долготе снимки делаются в разное время, часто с интервалом в несколько дней [Lillesand and Kiefer, 1995], есть вероятность, что спутник не будет находиться в эти два момента в точности на той же широте. Это часто приводит к сдвигу между двумя изображениями на один или несколько пикселей (ячеек растра), что легко корректируется смещением одного из наборов данных, пока изображения не состыкуются. Вдобавок, вместе с такими данными чаще всего даются достаточно точные

* В разных регионах мира используются разные параметры эллипсоида, представляющего земную поверхность, или различные положения одного и того же по форме эллипсоида. Это делается для уменьшения погрешности крупномасштабных карт на территориях этих регионов. Кроме того, в многозональных проекциях, с целью повышения точности, для каждой зоны может использоваться своя реализация проекции. Математические детали этих вопросов освещены в работах Снайдера и Бугаевского. — прим. перев.

географические координаты отдельных точек снимка, что позволяет пользователю состыковать смежные снимки с их помощью.

КОНФЛЯЦИЯ (RUBBER SHEETING)

Другая проблема, которая может потребовать внимания, возникает, когда должны быть наложены друг на друга два покрытия, возможно представляющих одну территорию, но в разное время. Эта ситуация имеет место главным образом в случаях с векторными данными, хотя может случиться и в растре. Мы ограничимся векторным случаем, поскольку многие из этих ошибок подавляются недостатком пространственной точности в растровой структуре данных.

Допустим, вы рассматриваете изменения в землепользовании за определенный период времени. Для ввода вы используете не трансформированные аэрофотоснимки, все — в одном общем масштабе. После ввода первого покрытия вы устанавливаете систему координат, определяя широту и долготу известных объектов на снимках (используя координаты одних и тех же объектов или приемник GPS). Те же процедуры вы выполняете еще с тремя покрытиями, каждое из которых относится к другому моменту времени. Дальше вы должны наложить четыре полученные покрытия, чтобы начать анализ изменений в землепользовании. Когда же вы отобразите все четыре покрытия на одном экране, то отметите несколько раздражающих расхождений. Во-первых, река, которая протекает через всю территорию, оказывается в ином положении в каждом покрытии. Кроме того, некоторые области одинаковой формы выделяют пируэт вместо того, чтобы оставаться на одном месте. Более пристальное рассмотрение показывает, что многие другие объекты также смещаются от покрытия к покрытию. Хотя вы знаете, что в реальности они не могут двигаться.

Ваша проблема, скорее всего, обусловлена рысканьем и ветровым сносом самолета. То есть, вид объектов изменился из-за нестабильности несущей платформы [Avery, 1977]. Не вдаваясь в подробности переноса аэрофотоснимков в ГИС, сразу становится очевидным, что вы должны найти способ совмещения не только углов карты, но и самих ее объектов. Корректный анализ изменений областей не возможен, если сами области не совпадают. Вам нужна возможность закрепить объекты, которые находятся на своих местах, пока вы двигаете остальные, чтобы они заняли более точные положения в пространстве. Этот процесс иногда называют преобразованием по типу резинового листа (rubber sheeting), по сходству с растягиванием карты в случае, если бы она была сделана из резины, но более строгим термином является конфляция (conflation). Это интерактивный процесс, в котором вы решаете, какое покрытие подогнать, чтобы оно

совпало с другими. Чаще всего это делается выбором покрытия, координаты объектов которого, по вашему мнению, наиболее близки к истинным, после чего вы должны решить, какие объекты должны оставаться на месте, а какие нужно подвинуть (Рисунок 6.10). Иногда большая часть покрытия, но как правило это приводит к нежелательным искажениям объектов, которые первоначально имели вполне правильное положение и форму. Лучше потратить некоторое время на отбор областей, положение и форма которых желательно сохранить, и позволить процедуре конфляции изменить остальное. Кроме того, вы можете обнаружить, что ваша первая попытка не была столь успешной, как хотелось бы. Это потребует дополнительных подгонок с использованием тех же процедур. Большинство систем позволяют также подгонять отдельные объекты для достижения желаемых результатов.

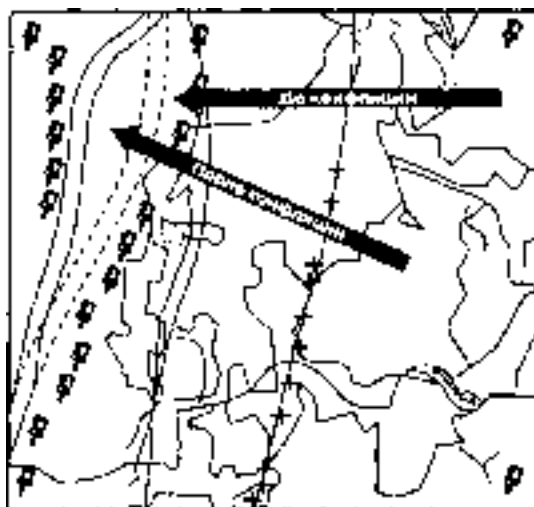


Рисунок 6.10. Конфляция. Некоторые объекты зафиксированы, тогда как другие перемещаются до совпадения с координатами опорного покрытия.

Есть две вещи, о которых нужно помнить при выполнении конфляции. Во-первых, конфляция является чисто графической операцией. Она не гарантирует, что ваши действия приведут к наиболее точному результату в отношении координат. Она просто обеспечивает получение графически приемлемых результатов, основываясь на вашем собственном предположении, что выбранное опорное покрытие является наиболее точным в представлении реальной ситуации. Во-вторых, и это не менее

важно, вполне вероятно, что результаты конфляции окажутся хуже, чем исходные данные. Поэтому ни при каких обстоятельствах не удаляйте исходные покрытия! Если преобразованное покрытие действительно очень плохое, вы можете вернуться к оригиналу и попытаться вновь, а не перекраивать брак. Это же относится и к материалу следующей главы. Никогда не избавляйтесь от покрытия, пока не убедитесь, что оно вам действительно не нужно. Подсистема хранения и редактирования проектируется с учетом такой возможности. Если вам не хватает места, запишите часть информации на архивный носитель. Сохраняйте файлы, пока они еще могут понадобиться.

ПОКРЫТИЯ-ШАБЛОНЫ

В предыдущем параграфе мы упомянули об использовании одного из покрытий как наиболее точного среди других на ту же территорию. Если вы посмотрите на несколько покрытий одной темы, относящиеся к разным моментам времени, то заметите некоторые графические расхождения, включая и такие, которые мы до сих пор игнорировали. Просматривая эти же покрытия одновременно, вы также отметите, что, несмотря на все ваши усилия, внешние границы области исследования на всех четырех покрытиях немного отличаются по форме. При вводе этих карт вы выбрали некоторые точки в качестве опорных и присвоили им реальные координаты, и все же покрытия не совпадают. Возможно, что различия в положениях этих опорных точек от покрытия к покрытию вместе с нюансами алгоритмов проецирования и ошибками округления привели к немного отличающимся результатам для каждого покрытия.

Если в дальнейшем вам придется выполнять наложение этих четырех покрытий, то обнаружатся многие области вдоль границ некоторых покрытий, которые не будут иметь соответствующих областей в других покрытиях. Еще раз, вы должны выбрать покрытие, которому доверяете более всего, и использовать его в качестве шаблона (template). Если граница шаблона находится в пределах всех других покрытий, то вы просто используете этот шаблон для отсека всего остального от области исследования. Но если любая из его границ проходит за соответствующей границей другого покрытия, то вам придется выбрать координаты где-то внутри границы шаблона, чтобы гарантировать, что все покрытия имеют данные внутри него. После этого все покрытия должны иметь одинаковые форму, размер и координаты.

Важное замечание относительно статистических характеристик нескольких покрытий. Вполне возможно, что после применения шаблона ко всем вашим покрытиям, будут небольшие расхождения в общей площади

каждого. Мне пришлось наблюдать такой результат в исследовании изменений землепользования, где все предпринятые к устранению расхождений меры провалились [Simpson et al., 1994]. Неравенство можно в значительной степени отнести на счет комбинации ошибок округления и алгоритмических методов, посредством которых ГИС рассчитывает площадь. По большей части, если ошибка составляет малую долю по сравнению со всей площадью, ее просто следует принять как данность. Никакое редактирование ее не устранил. Здесь ваша миссия закончена, и теперь вы можете приступить к анализу.

Вопросы

1. Какова цель мозаичного разбиения в подсистеме хранения и редактирования?
2. Почему так важно редактирование базы данных? Какие проблемы могут возникнуть даже из-за простой ошибки в БД? Приведите пример, отличный отданного в этой книге.
3. Каковы три основных класса ошибок, которые требуют исправления? Опишите каждый. Какой (какие) из них наиболее трудно найти. Почему?
4. Каковы шесть главных типов графических ошибок? Приведите пример для каждого.
5. Что такое псевдоузлы? Как они образуются? Как их можно избежать? Приведите примеры псевдоузлов, которые не являются ошибками.
6. Что такое висящие узлы, "перелёты" и "недолёты"? Чем они вызываются? Что можно сделать, чтобы избежать их.
7. Почему отсутствие метки полигона является ошибкой? Почему мы иногда заканчиваем ввод с пропущенными или лишними метками? Как можно избежать такого результата?
8. Что такое осколочные и "странные" полигоны? Опишите методы их предупреждения и исправления.
9. Как вы будете искать пропущенные атрибуты векторного покрытия? Растрового? Как можно избежать создания карты с пропущенными атрибутами?
10. Как вы будете искать неправильные или смещенные атрибуты векторного покрытия? Растрового? Каковы главные причины тех и других?
11. Опишите процесс преобразования проекции при использовании векторной ГИС.
12. Что такое стыковка вдоль границ листов? Зачем она нужна?
13. Что такое конфляция? Зачем она нужна? Как она выполняется?
14. Что такое покрытие-шаблон? Для чего оно нужно? Как вы будете выбирать покрытие для использования в качестве шаблона?



Элементарный пространственный анализ



Все, что мы до сих пор делали, есть, по сути, подготовка к нашему путешествию. И у кого-то из вас работа будет связана главным образом с подготовкой. Учитывая, что до 80-90% работ даже при использовании готовых коммерческих ГИС-пакетов уходит на подготовку цифровой БД, может показаться, что все остальное нужно только аналитикам, исследующим данные, которые вы создаете. Тем не менее, даже если вашим конечным продуктом является законченная БД, я все равно приглашаю вас рассмотреть аналитические возможности ГИС. Важно понимать, что с помощью ваших данных можно делать, каковы могут быть их недостатки, и какие вопросы могут стоять перед аналитиком.

Есть две причины для приглашения всех в это путешествие, входят ли в ваши профессиональные интересы создание и администрирование БД, или же исследования с помощью подсистемы анализа. Во-первых, эта подсистема для многих является самой приятной частью мира геоинформатики. Хотя мы не можем рассматривать работу как развлечение, я думаю, что вы сами потратите гораздо больше часов на просмотр существующих БД, чем вы могли бы ожидать, не имея с ними дела. Для тех же из вас, кто проходит этот курс вследствие заинтересованности в анализе, это просто данность.

Второй, и, пожалуй, наиболее убедительной причиной для следования по путям исследования баз данных и анализа является то, что многие организации, располагающие аналитическими возможностями полнофункциональных ГИС, не способны использовать их даже на самом простом уровне. Хотя это может и не быть большим недостатком для организации, в зависимости от её действительных потребностей, часто налицо существенное недоиспользование мощной технологии. Если единственным требованием является создание карт на основе имеющихся БД, ГИС не является подходящим инструментом. Система компьютерной картографии могла бы выполнять эти задачи с большей легкостью, часто лишь за часть цены полнофункциональной ГИС. Иначе говоря, как мы увидим в Главе 15, ГИС может быть очень дорогим ответом на копеечный

вопрос.

Всё же, организации, имеющие ГИС, чаще всего действительно нуждаются в анализе, но от постановки вопросов, ведущих к серьезному анализу, их может удерживать недостаточность знаний о тех возможностях, которыми они обладают. В таких случаях, а их не мало, специалист по ГИС, разработчик БД или аналитик, должен играть роль просветителя. Отправляясь в наше путешествие, вы увидите, на что способны ГИС. Затем вы сможете поделиться этими захватывающими знаниями со своим руководителем, который скорее всего не знаком с ними. Начиная с простых запросов и их комбинаций, переходя затем к измерениям, и, наконец, к сравнительному анализу, вы сможете постепенно внедрять в своей организации все более развитое пространственное мышление. Это сделает организацию более конкурентоспособной, успешной и, в конце концов, более прибыльной. А это наверняка улучшит ваше собственное положение.

Эта глава начинается с краткого рассмотрения пространственного анализа, переходит к простым, но очень полезным приемам, включая определение положений объектов на основе того, чем они являются или как они описываются. Эти простые задачи дадут некоторые дополнения к нашему пространственному языку, который поможет нам не только в простейших задачах идентификации и выборки, но и в дальнейшем, когда мы объединим их с более продвинутыми методами. В конце главы мы рассмотрим некоторые более сложные методы идентификации и выборки с привлечением пространственных объектов высокого уровня, которые еще будут названы.

Как и раньше, наше путешествие будет происходить на уровне идей, и вы будете тратить больше времени, учась мыслить пространственно, нежели штудирова команды системы, которые нужны для выполнения анализа. Помните, что единственный способ решить, *какие* команды использовать, это знать, *что* вы пытаетесь сделать. Путь от идей к командам гораздо короче, чем путь от команд к идеям. Поэтому я предлагаю вам сейчас же надеть пробковый шлем и взять в руки мачете. Пора заняться открытиями. Удачи!

ВВЕДЕНИЕ В ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ

Подсистема анализа - сердце ГИС, это то, ради чего ГИС существуют. Однако, это и самая неправильно используемая подсистема: от попыток сравнивать не сравнимые напрямую данные номинальной шкалы с высокоточными данными шкалы отношений до утверждений о причинной связи пространственно-коррелирующих феноменов, сделанных без проверки альтернативных гипотез. Неправильное употребление этой подсистемы в значительной степени обусловлено недостатком понимания

природы пространственных данных, имеющих в системе. Например, некоторые данные могут быть намеренно ранжированы в порядковую шкалу с точки зрения их важности для определенной проблемы. Потом, эти данные могут использоваться в других случаях анализа, где данное ранжирование уже не верно. Это в чём-то похоже на соотнесение оценок по истории одного учащегося и оценок по математике другого для сравнения их умственных способностей. Вдобавок, не так уж редко случается, что числовые величины, хранящиеся в растровой ГИС и представляющие именованные категории, такие как типы землепользования, умножаются или делятся на данные порядковой шкалы, интервальной шкалы или шкалы отношений, что даёт числа, которые по своей сути бессмысленны. Причем результаты таких "анализов" часто используются при принятии решений. Список возможных нарушений довольно длинный, в основном потому, что присущая ГИС мощность слишком велика, чтобы быть корректно применимой без твердого понимания базовых географических, математических и статистических концепций.

За спиной неправильного применения ГИС стоит распространенное мнение, что ГИС являются панацеей для решения всех задач, включающих географический элемент. Хотя это действительно мощный инструмент, большинство ГИС движимо скорее потребностями рынка, нежели научными требованиями для решения сложных географических задач. Короче, ГИС не являются полным набором пространственно-аналитических средств. Во многих случаях пользователю придется комбинировать инструменты ГИС с программами статистического анализа, сетевого анализа, средствами для математически сложных вычислений, геостатистическими пакетами для продвинутого пространственного анализа и объемного моделирования, и даже со средами программирования для упрощения работы с ГИС в определенном спектре задач.

Но перед тем как огорчаться из-за этой неполноты, вспомните, что есть множество различных геоинформационных программных пакетов, каждый - со своими сильными сторонами. Одни из них обеспечивают прямую связь с другими аналитическими программами для повышения отдачи от имеющихся данных, другие поддерживают структуры данных, позволяющие передавать информацию из ГИС для внешнего анализа и обратно. Ограничения выбираемой ГИС должны быть взвешены по отношению к видам анализа, которые будут выполняться наиболее часто. По этой причине и для того, чтобы уметь выбирать систему или системы, наиболее полно удовлетворяющие ваши потребности, вы должны знать о мириаде возможностей, имеющихся в огромном поле компьютерной географии.

Большинство геоинформационных пакетов в значительной степени ориентированы на возможность наложения двух или более покрытий для

взаимного их анализа или на работу с ДДЗ. В то время как эти две задачи представляют лишь малую часть потенциала ГИС, они хорошо иллюстрируют влияние тенденций рынка на развитие аналитических возможностей ГИС. Но даже и эти системы расширяют свои способности. Системы, ориентированные главным образом на выполнение картографических наложений, чаще всего имеют дополнительные возможности работы с данными поверхностей, для анализа данных в пределах одного покрытия, для работы с сетевыми данными и т.п. Разработчики систем обработки изображений дистанционного зондирования теперь включают в них возможности растровых ГИС и согласовывают структуры данных с другими поставщиками ГИС для обеспечения обмена данными между различными системами.

Ваша задача, как ГИС-аналитиков, узнать эти возможности, поскольку такое знание даст вам концептуальную основу для работы с наибольшим множеством возможностей географического анализа, которые могут оказаться в ваших руках. Кроме того, если вам придется приобретать одну или несколько систем, вы должны быть способны определять недостатки каждой системы с точки зрения ваших приложений до того, как вы потратите деньги хотя бы на одну. В конце концов, ГИС должны быть способны автоматизировать как можно больше видов географического анализа, которые были придуманы за два с половиной века современной географической мысли.

В следующих семи главах я ограничил множество географических идей теми, которые имеют дело, в основе своей и явно, с картами. Хотя имеется множество других методов, позволяющих косвенно анализировать данные карт, они более подходят для курсов по статистическому анализу, моделированию систем и геостатистике. Вы можете сами решить, нужны ли они вам для улучшения вашего учебного плана.

Главы с седьмой по тринадцатую организованы в простую схему, которая должна обеспечить достаточно полный обзор возможностей большинства существующих ГИС. Мы начинаем эту главу с простейших операций: подсчет и определение положений объектов. Этот набор очень напоминает описательную работу ранних исследователей, которые часто хотели знать, что, где и в каком количестве находится. Полезность этого старого подхода не должна преуменьшаться. Он в значительной степени составляет основу для рассматриваемых дальше аналитических методов.

В Главе 8 показано, как ГИС могут использоваться для измерений на картах. Мы будем заменять устройства вроде точечных сеток, курвиметров и планиметров, традиционно используемых для измерений размеров, длин и площадей объектов, на компьютерные алгоритмы, которые реализуют те же функции. Вместе с определением местоположений и подсчетом объектов,

эти средства образуют полный комплект начальных возможностей, необходимых для более сложных методов. Одни приложения ГИС потребуют от вас выполнения простых сравнений размеров и численностей объектов на различных участках одной карты, другие - выполнения тех же сравнений на нескольких картах.

В то время как большинству географических объектов присваиваются названия и коды для идентификации их на карте, во многих ситуациях бывает нужна их переклассификация (см. Главу 9). Распространенным подходом к работе с классифицированными данными может быть группировка или агрегирование их в большие категории, которые могут упростить дальнейший анализ или иметь собственную ценность для описания некоторого явления. С помощью переклассификации пространственных данных мы можем получать распределения, которые для конкретной задачи часто лучше описывают реальность, чем те, что были первоначально введены в ГИС. Например, вы можете объединить категории "пшеница", "ячмень" и "овес" в "зерновые", чтобы показать пространственное распространение этой более общей категории. Или вы можете снизить точность представления данных со шкалы отношений до порядковой (ранжированной), чтобы лучше показать, например, зоны угрозы землетрясений. Есть множество и других случаев, которые мы рассмотрим.

В Главе 10 мы обратимся к поверхностям. Мы потратим некоторое время на то, чтобы рассмотреть особые структуры данных, созданные для операций с поверхностями. Позднее вы увидите, как эти данные могут использоваться в операциях переклассификации поверхностей. Мы узнаем, как можно применить интерполяцию для построения поверхности по точечным замерам высот, как найти области равного уклона и экспозиции (например, все участки на карте рельефа, обращенные на юг).

Пространственные распределения объектов - главная тема Главы 11. В ней мы увидим, как точки, линии и области могут образовывать измеримые паттерны, дающие нам лучшее понимание устройства ландшафтов. Мы рассмотрим множество аналитических приемов, характеризующих точечные распределения. Затем мы расширим эти подходы для включения распределений линий и областей. Мы познакомимся с методикой, которая позволит перейти от точечных объектов к полигонам и исследовать влияние одного точечного объекта на другой. Мы выделим специальные наборы линейных объектов, называемых сетями, с которыми связаны особые структуры данных и методы вычислений. Мы увидим, как присвоенные линиям атрибуты могут использоваться для обозначения определенных изменений от одного отрезка линии к другому. Например, мы увидим, как ограничители скорости, типы дороги, перекрестки, знаки останова и т.д.

могут быть закодированы и привязаны к линейным объектам для получения картины транспортных сетей реального мира. Затем мы применим эти сведения к анализу, нацеленному на принятие решений по транспортному планированию.

В Главе 12 мы увидим, как ГИС могут сравнивать данные одного покрытия с данными другого - набор приемов, чаще всего называемый картографическим наложением (overlay). Учитывая частоту их применения, мы уделим особое внимание тому, как эти приемы выполняются в цифровой среде. Каждая операция наложения описывается индивидуально, а примеры иллюстрируют, как и когда должна использоваться каждая из них. Поскольку наложения могут порождать ошибки, особенно в случае с векторными данными, будут рассмотрены возможные ловушки и способы избежать их.

Наконец, с полным набором методов в руках, в Главе 13 мы получим общее представление о создании сложных комбинаций отдельных приемов, которые называются картографическими моделями. Уделив немного внимания истории моделирования, мы перейдем к выполнению моделирования с помощью ГИС. Будет рассмотрен процесс выделения отдельных картографических элементов; затем, используя систематический подход, мы сложим эти отдельные элементы карт вместе в работоспособную картографическую модель. Наконец, мы познакомимся с применением блок-схем, которые помогают убедиться в том, что модели правильно сконструированы и могут помочь нам в ответах на поставленные вопросы.

ПЕРВАЯ ЗАДАЧА ИССЛЕДОВАНИЯ: НАБЛЮДЕНИЕ

Как ГИС находят объекты

В каждой цифровой БД обычно имеются многие различные покрытия, каждое из которых содержит отдельную тему. В пределах каждой темы, как в рамках каждого направленного полевого исследования, вы, скорее всего, будете отбирать для изучения многие объекты. Часто вас будет интересовать, какие из выбранных объектов встречаются наиболее часто, как часто они встречаются, и где они находятся. Допустим, например, что вы должны определить число отдельных деревьев, расположенных в пределах покрытия. Растровые ГИС предлагают несколько способов для поиска таковых, но простейшим является создание нового покрытия, в котором удалены все ненужные данные. Для реализации этого вы проводите простой процесс переклассификации (см. Главу 9), относя все деревья заданного вида к группе целевых (искомых) точек, а все остальное в покрытии - к фону. Большинство растровых ГИС позволяют вывести результаты в таблицу, в которой вы подсчитаете количество целевых ячеек растра и ячеек растра фона (Рисунок

7.1, Таблица 7.1). Вообще, это позволит вам также напрямую вывести процентные соотношения, позволяющие определить долю покрытия, занятую выбранным видом деревьев. Конечно, деревья только расположены в ячейках раstra, а не занимают их целиком, поэтому процент покрытия, занимаемый этими целевыми ячейками, будет несколько искажен.

Определение точных координат точечных объектов в растровых ГИС - бесполезное занятие, поскольку растр квантует пространство на ячейки. Тем не менее, вы легко можете определить положение любой ячейки раstra, просто используя курсор на экране, позволяющий указывать на каждую ячейку в отдельности. Это обычно приводит к считыванию номеров ряда и колонки, а также атрибутов указанной ячейки. Знание положений индивидуальных точек важно даже в растре. Например, вы могли бы сравнивать положения деревьев с положениями ячеек раstra на изображении дистанционного зондирования в качестве проверки способности сенсора распознавать присутствие деревьев в данном месте на основе характеристик электромагнитного излучения, получаемого сенсором с участка местности, соответствующего этой ячейке.

**Белые ячейки имеют ; в
значение атрибута "б"**

**Темные ячейки
имеют значения
отличные от "в"**

Рисунок 7.1. Поиск атрибутов в растре. Отбор точек по значению атрибута в растровой ГИС. Каждая ячейка раstra идентифицируется цветом или яркостью, которые представляют значения ее атрибутов.

В растре линии - это всего лишь наборы ячеек раstra, смежных по стороне или диагонально в декартовой системе координат. Полигоны - это группы ячеек раstra, которые соединены таким же образом, как и линии,