

**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>

ИР № 090157 от 25.02.98

Подписано в печать 22.09.99 Формат 60х90<sup>1</sup>/16

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+", 1999 (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
<b>Глава 4 Картографические и геоинформационные структуры данных</b>	<b>95</b>
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
<b>РАЗДЕЛ 3 ВВОД, ХРАНЕНИЕ И РЕДАКТИРОВАНИЕ</b>	
<b>Глава 5 Ввод данных в ГИС</b>	<b>143</b>
Подсистема ввода	144
Устройства ввода	144
Растр, вектор 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
Сшивки листов карты и увязка объектов по границам листов	195
Конфляция (RUBBER SHEETING)	197
Покрyтия-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
<b>Глава 9 Классификация</b>	<b>255</b>
Принципы классификации	256
Простейшая переклассификация	259
Окрестности	261
Филтеры	262
Окрестности	265
Переклассификация поверхностей	268
Уклон	269
Экспозиция склонов (аспект)	272
Профиль поверхности	273
Взаимная видимость	275
Буферы	277
Вопросы	282
<b>Глава 10 Статистические поверхности</b>	<b>285</b>
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 хоропплет	317
Дасиметрическое картографирование	318
Вопросы	318
<b>Глава 11 Пространственные распределения</b>	<b>321</b>
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
<b>Глава 12 Наложение покрытий</b>	<b>351</b>
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
Асимметрическое картографирование	372
Несколько последних замечаний о наложении	375
Вопросы	376
<b>Глава 13 Картографическое моделирование</b>	<b>377</b>
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
<b>РАЗДЕЛ 5 ВЫВОД В ГИС</b>	
<b>Глава 14 Вывод результатов анализа</b>	<b>411</b>
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
<b>РАЗДЕЛ 6 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИС</b>	
<b>Глава 15 Проектирование ГИС</b>	<b>435</b>
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 человек-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
Неиспользованная литература	471



## Предисловие переводчика

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 постараемся 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 нерусифицированных программных продуктов. Кстати, следует заметить, что термин GIS - это и Geographic Information System (географическая информационная система, ГИС), и Geographic 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, мы 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.



## Раздел 1

## ВВЕДЕНИЕ



# Введение в компьютерную географию

Эта книга — о географии. А также — о Географических Информационных Системах (ГИС), множество фундаментальных идей и концепций, появившихся за более чем 2500 лет географических исследований и открытий [Dobson, 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 изволнованно 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. Идея 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 приготовиться 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 привлекательности 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 информацию о древесных ресурсах, 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 избежать 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 применения зонирования территории, реагируя на растущее демографическое население. 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
Картографическая информационная система (Cartographic information system)	Американская терминология
Картографическая информационная система (Cartographical information system)	Европейская терминология
Геоинформатика (Geomatique)	Канадская терминология
Корреляционная информационная система (Correlational information system)	Техническая терминология
Информационная система по природным ресурсам (Natural resources information system)	Дисциплинарная терминология
Информационная система в геологии или наукам о Земле (Knowledge 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 продираяться 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 ГИС, в переводе, по возможности, делается различие между ними — *прям. 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 Koshkarov, Tikunov and Trifimov 1989]. Как мы увидим в заключении, определение можно расширить также и для включения организаций и людей, работающих с пространственными данными [Cartier 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 Pequet 1983], и используемое другими в той или иной форме в их собственных определениях [Parker 1988, Ozemo, Smith and Sichertman 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

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, изменяет 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 1.2. 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**

<b>Карта</b>	<b>ГИС</b>
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 листке бумаги с помощью символов.	Точки, линии и области хранятся как растр 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, пласиметр, 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 назывателей, 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", "катастрофная 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).

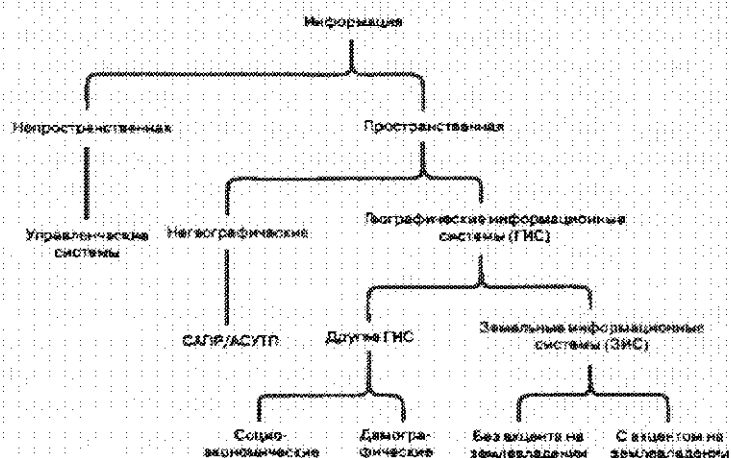


Рисунок 1.1 Классификация информационных систем. Показывает место ГИС и ЗИС.

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 землеустройства. 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 землеустройства 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 чтоознакомившегося 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

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

Раздобудьте две или три смежных топографических карты вашей местности. Каким числом они датированы? Одним и тем же? Разными? Теперь начинается самое интересное. Прозрачной лентой (лучше эластичной) 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 сошлется.

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 одном плане. Считается, что это хорошее дополнение. Но оно имеет свою цену. Если вам нужно ввести эту карту наряду с другими картами в информационную 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 другой. Вам нужно создать карту растительности вашего региона до его оселения. При этом оказывается, что три известных картографа растительности выполнили такие карты на некоторые части вашего региона. Исправившись 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

## 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 сбросить 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 [Withuhn 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, карабканье 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. Чаще 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 приобретает 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 выполнительным запасом слов, помогающим нам их расшифровать. За свои 1500 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 видеть паттерны\* жилой, деловой и промышленной застройки. Знания по биологии неопценимы, 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 нашего 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, течения, модель, стереотип, шаблон, структура, текстура

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

		Картографическое представление		
		точечное	линейное	площадное
Объекты реального мира	точечные	 дерево	 цепь вулканов	 холмистый кряж
	линейные	 аэропорт	 железная дорога	 речная сеть бассейн реки
	площадные	 пятно хим. загрязнения	 микроклимат	 земельный участок
	объемные	 карьер	 долины рек	 микроклимат сток

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 назвать 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, характеризуемых 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 посмотрите 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 — 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.

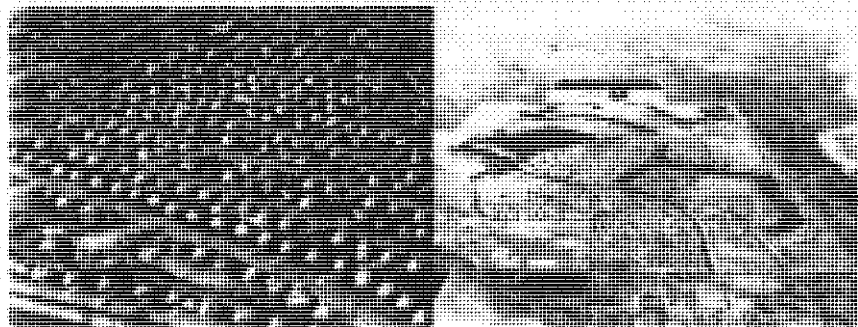


Рисунок 2.2. Влияние масштаба на размерность объектов. Дома, видимые с близкого расстояния, имеют длину и ширину, но когда мы удаляемся, их измерения исчезают, оставляя впечатление о них как о точках.

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 на 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

в 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.

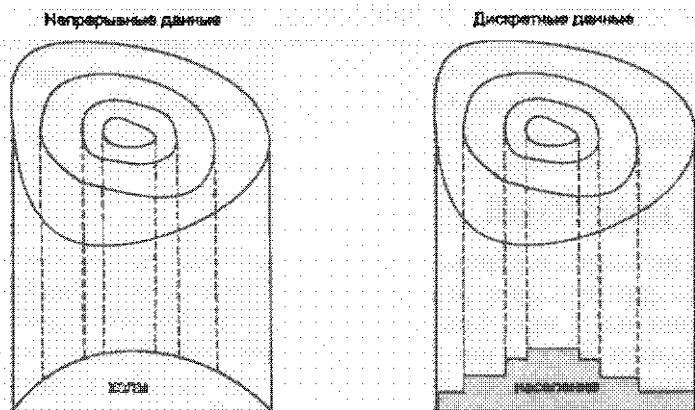


Рисунок 2.3. Непрерывные и дискретные поверхности. Заметьте, что изображение поверхности с помощью изолиний не проявляет ее дискретный или непрерывный характер.

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, пробурив 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 берёзка лучше или хуже, чем пожарная станция, так же как мы не можем делать подобных утверждений относительно яблок и апельсинов.



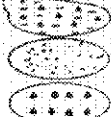

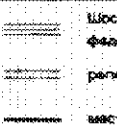



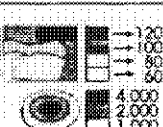
Шкала	Примеры измерений характеристик объектов		
	Точка	Линия	Область
Номинальная (qualitative)	 город шахта вершина горы	 дорога граница река	 болото пустыня лес
Порядковая (ordinal)	 бродок: большой средний малый	 Шоссе: федеральное региональное местная дорога	 Загрязненность территории: большая умеренная малая
Количественная/Ступенчатая (quantitative/interval)	 Дебит скважины 10,000 2,000 1,000	 Сметка горизонтали Прудопоток	 Плотность населения Интервалы высот

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), отлучшего 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  $4^{\circ}\text{C}$ , более темная почва имеет температуру  $29^{\circ}\text{C}$ , в то время как более светлая — только  $25^{\circ}\text{C}$ . 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  $10^{\circ}\text{C}$  и  $20^{\circ}\text{C}$ . Как и раньше, мы можем получить численную разность между этими величинами  $10^{\circ}\text{C}$ . 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 описывают 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 / не равно	есть	есть	есть	есть
порядок	равно / не равно	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 вершинной 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 экваторальной параллели, экватора (equator), до каждого полюса четверть полного круга, то есть от 0 до 90°.

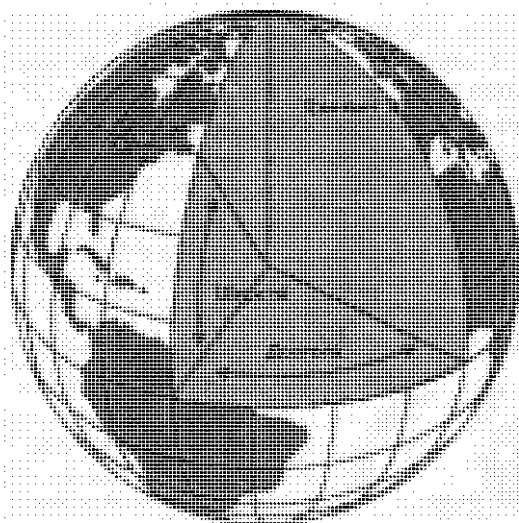


Рисунок 2.5. Географические координаты. Сферическая система координат с параллелями и меридианами. Параллели позволяют измерить угловое расстояние от экватора (0° широты) до 90° северной широты (Северный полюс) и до 90° южной широты (Южный полюс). Меридианы позволяют измерять угловое расстояние от начального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

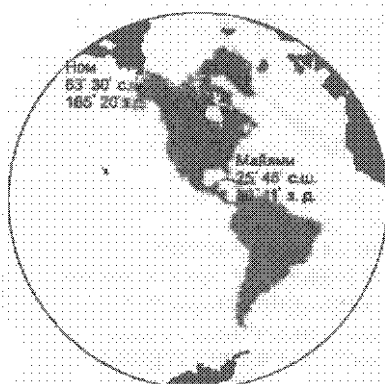
Это одна половина нашей координатной системы. Для завершения ее нам надо провести набор других линий, идущих точно перпендикулярно первым. Эти линии, называемые меридианами (meridians), идут от полюса до полюса. Отсчет их начинается с начального меридиана (prime meridian), проходящего через Гринвич, 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 на дуге большого круга (Great circle distance) ( $D$ ) на сфере между точками  $A$  и  $B$  рассчитывается по стандартной формуле сферической тригонометрии:

$\cos D = (\sin a \sin b) + (\cos a \cos b \cos |d|)$ ,  
где  $a$  и  $b$  — географические широты точек  $A$  и  $B$ , а  $|d|$  — абсолютная величина разности долготы  $A$  и  $B$ . (Произведение косинусов будет отрицательным, если  $A$  и  $B$  находятся с разных сторон экватора).

Пример. Расстояние по дуге большого круга между Номом, штат Аляска, и Майагез, штат Пуэрто-Рико:

$\cos D = (\sin 63.5 \sin 25.75) + (\cos 63.5 \cos 25.75 \cos (165.33 - 80.18))$

$\cos D = (0.89493 \times 0.43445) + (0.44626 \times 0.90070 \times 0.08455)$

$\cos D = 0.38280 + 0.03398$

$\cos D = 0.42278$

$D = \arccos 0.42278 = 64.99$

Поскольку один градус на окружности большого круга составляет 69 миль, мы можем перемножить эти два числа и получить 4494.3 миль от Номы до Майагез.

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.

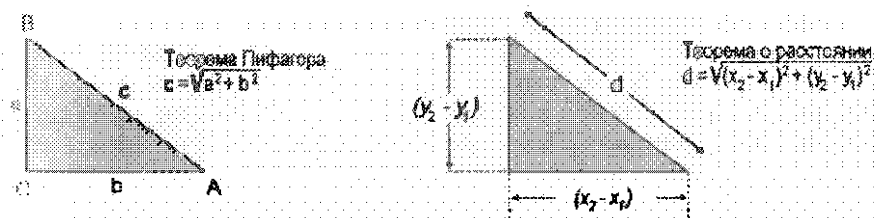


Рисунок 2.7. Вычисление расстояния на плоскости. Вычисление расстояния между двумя точками с использованием теоремы Пифагора и теоремы о расстоянии.

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:

$$d = \sqrt{((x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2)}$$

где

$x_2 - x_1$  = расстояние по оси X или долготе

$y_2 - y_1$  = расстояние по оси Y или широте\*

$d$  = 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.



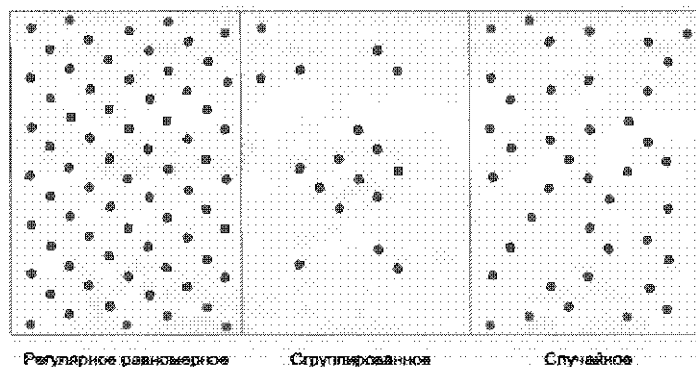
## ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

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 близ озер, океанов и рек. Зная, что водоемы являются

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



Регулярное равномерное

Сгруппированное

Случайное

Изображение 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 валы, называемые конечными моренами, которые ориентированы перпендикулярно направлению движения льда, и цепи валунов вдоль направления движения ледника.

Если мы вновь посетим те 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 прилежащие 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.

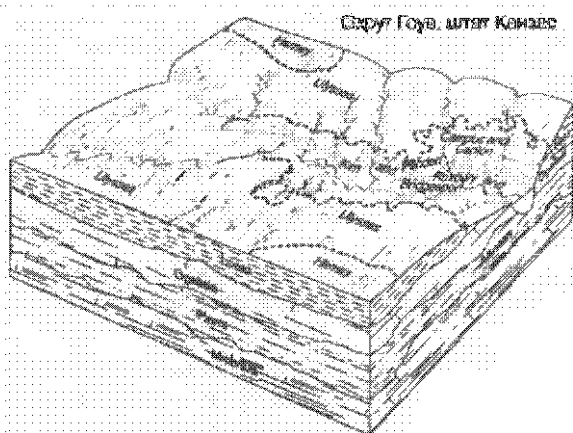


Рисунок 2.9. Отношения между пространственными явлениями. Пространственная корреляция между геологическими формациями и типами почв, образовавшимися из них.

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, наши 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 типовых.

Многие данные все еще получаются в результате наземных наблюдений, но 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 под сельхозугодия. 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).

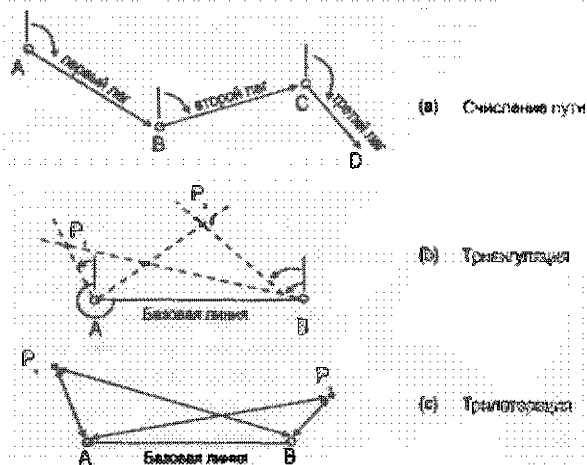


Рисунок 2.10. Геодезические методы.

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 землеуладений. 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 полемому 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\*. Точность ее зависит от числа видимых спутников, траектории и объема информации, модели полевого устройства (GPS-приемника) и методики измерений. Имеющиеся сегодня системы обеспечивают точность определения местоположения от относительно грубых — от 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, в горных ущельях, крупных городах.

Для полевых исследований животных существуют устройства для отслеживания перемещений оленей, птиц, мелких млекопитающих и даже рыб (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 GPS-приемники, способные работать одновременно с обеими системами. — прим. ред.

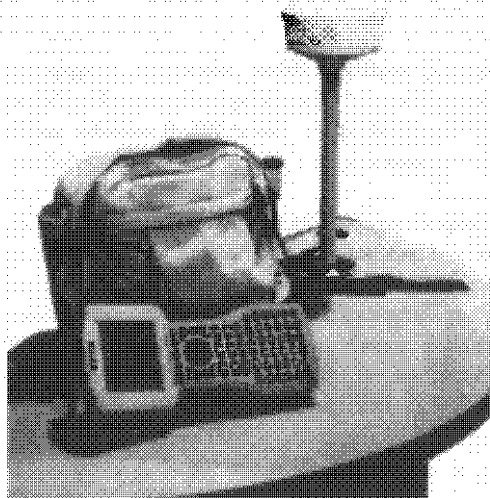


Рисунок 2.11. Полевой комплект GPS (GPS-приемник).

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 спектральнозональной (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, основа 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 спектральнозональная 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 сотнями километров от облетаемой 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 обзирать большие площади одновременно. Вдобавок,

несколько 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 инфровых 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 уменьшится, 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 все 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 решения о том, какие объекты должны быть рассмотрены 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 Monroe, 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 выборочного исследования 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 лесовом 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 вас 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.

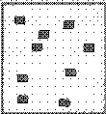
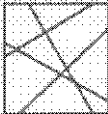
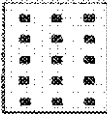

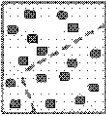
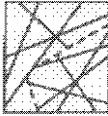
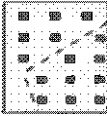
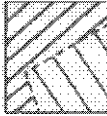
	Случайный		Систематический	
	Точки или квадраты	Пересечения	Точки или квадраты	Пересечения
Однородный				
Стратифицированный				

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 деленок или квадратов мы выбирали бы их таким же образом — каждый третий или через каждые  $n$  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 деланки 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 выборки (опробования). 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, напоминая то, как мы поступали при разбиении на слои всей нашей области исследования. Опять же, мы можем использовать подходы с точками, квадратами или секциями и выбирать систематический или случайный метод опробования 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 в 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 прилегающих областях. Такая задача обычно требует от нас выполнения трех шагов. 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 штук 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 и дополнения 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, от того, 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 обходится 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. 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 недешифрированным 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, имеющихся в местах разбивки лагеря. Главная цель создания такой карты — показать пространственное распределение интересующих феноменов таким способом, который даст понять, как до каждого можно добраться. Это пример реализации парадигмы сообщения.

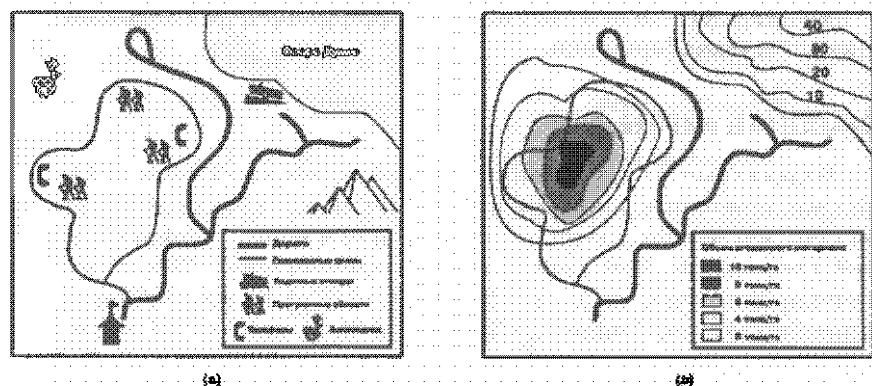


Рисунок 3.1. Изменение картографической парадигмы. Две карты одной области, государственного парка, показывающие использование парадигмы сообщения для отображения пространственных связей (a) и применения аналитической парадигмы для того же региона (b).

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, смотрители 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 все необходимое зрителям 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 3.1b), 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 упрощенные 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 дроби, 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 в виду карты с вербальным масштабом “в 1 дюйме 600 футов”, что на самом деле соответствует численному масштабу 1:7200.

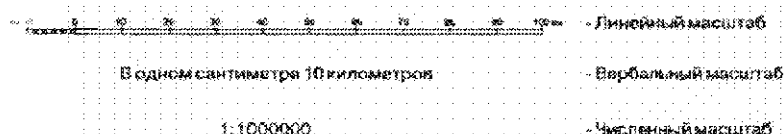


Рисунок 3.2. Способы выражения масштаба карты. Три наиболее распространенных способа выражения масштаба: вербальный, линейный и численный.

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.

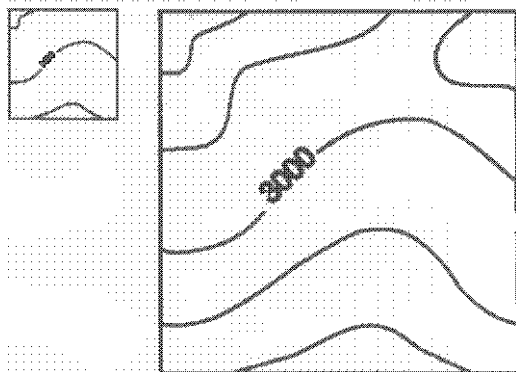


Рисунок 3.3. Влияние масштаба на точность. Участок карты очень мелкого масштаба, увеличенный до большего масштаба. Линии стали толще и демонстрируют высокую степень генерализации; площади не точны; измерения и анализ практически невозможны.

## 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 1:1'000'000 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.

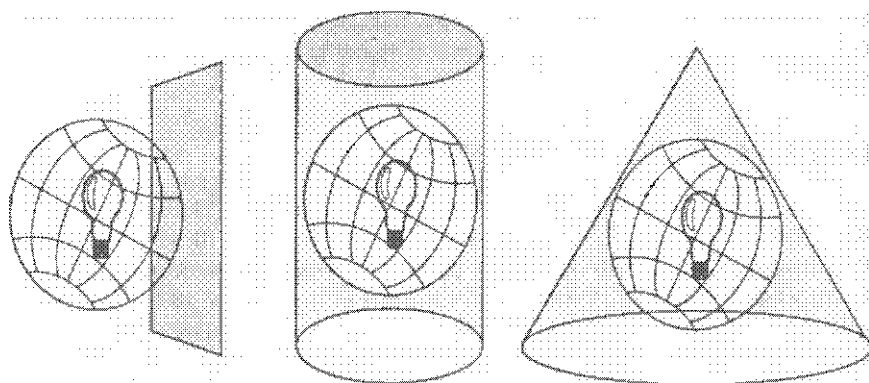


Рисунок 3.4. Три семейства картографических проекций. Они могут создаваться с использованием: а) плоских поверхностей, б) цилиндров, в) конусов.

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

и 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 сохраниться 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: сначала 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 от 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 мы 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.

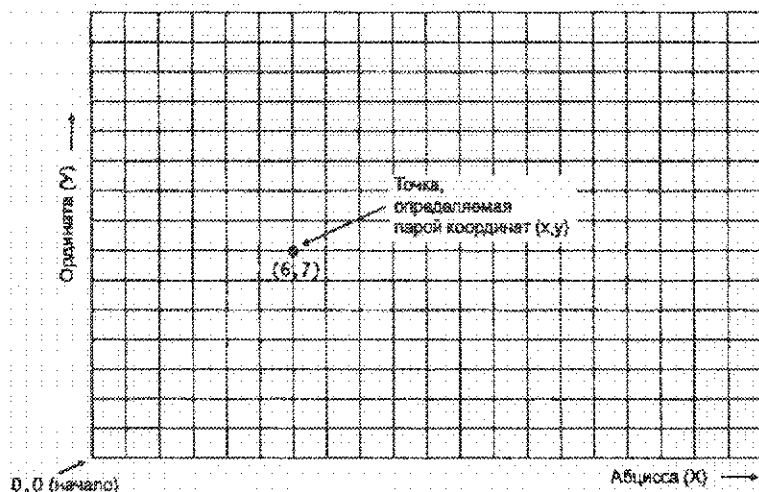


Рисунок 3.5. Декартова система координат. Классическая система прямоугольных координат. Каждая точка определяется парой величин — координатой  $X$  (абсциссой) и координатой  $Y$  (ординатой).

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 положительными, 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 нас 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

UTM 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 UTM 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.

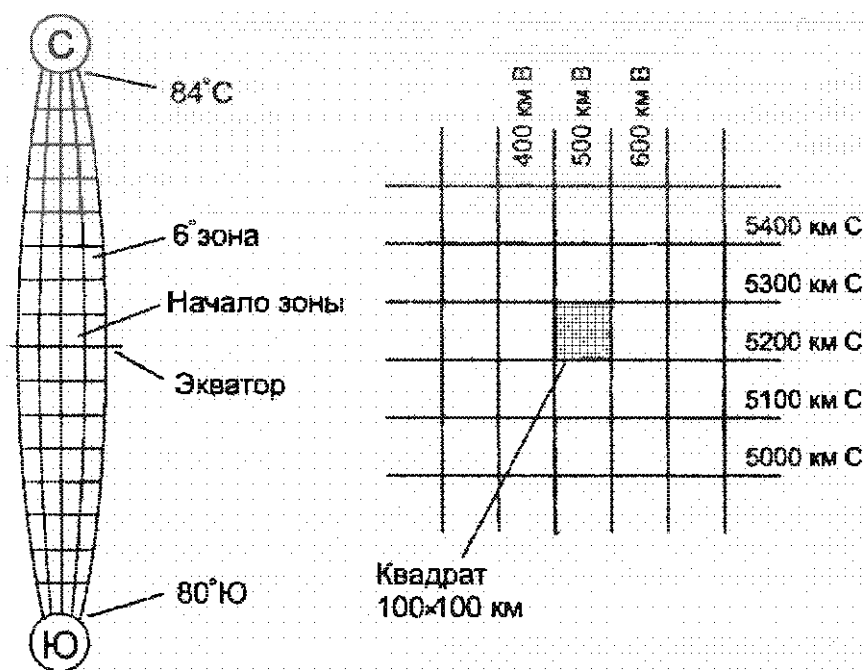


Рисунок 3.6. Универсальная поперечная координатная система Меркатора (UTM).

С метром в зависимости от области применения (различаются, например, миля: морская и сухопутная, футы: простой, американский геодезический, модифицированный американский, барка, 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 раздельно. Это важно отметить, так как это создает еще один уровень представления. Если мы не знаем, как данные первоначально собирались, мы не знаем, являются 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 измерений. 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 различных значений 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 базу 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.<sup>1</sup> 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

нерегистрированные во время сбора данных объекты будут помещены в базу данных картографического документа. Конечно, в некоторых случаях 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 социально-экономических 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.


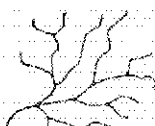
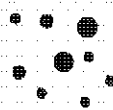
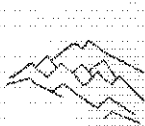



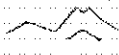
Острова	Реки	Города	Горы	
				Крупный масштаб
				Малкий масштаб

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.

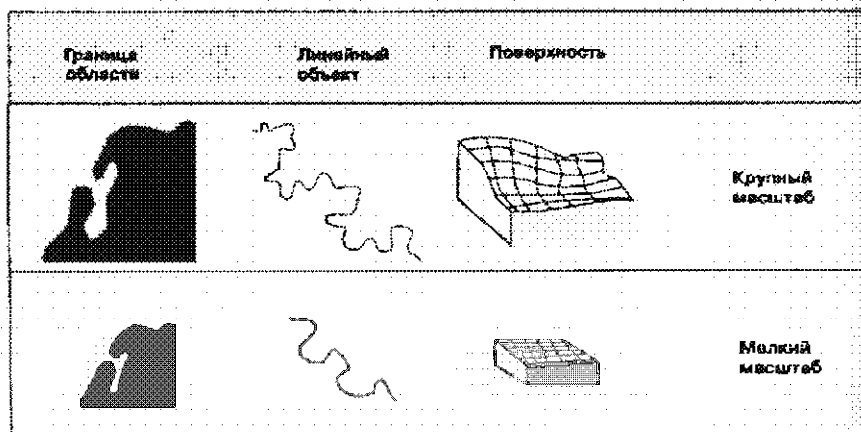


Рисунок 3.10. Изменение масштаба и сглаживание. Заметьте, как объекты упрощаются до сохранения только наиболее представительных характеристик.

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

мало 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 считать 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 истинного 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 соответствует 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 гнездовых 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

набжения 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 визуально различными краями, или штриховками, нанесенными на аэрофотоснимки расследуемой 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 [Auer 1973]. Короче говоря, все проблемы, связанные с использованием аэрофотоснимков в качестве средств для создания карт, применимы и к наземным картам. Конечно, поскольку аэрофотоснимки снимаются непосредственно с самолета, пролетающего над земной поверхностью, нет определенной проекции для этих карт, что затрудняет точные измерения. Кроме того, 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 регистрировать 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" [Rapaport, 1982]. Какой бы вы ни выбрали, вам нужно будет знать о передвижении 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 пикселов (от англ. "picture elements"). Размер порции земной поверхности, покрываемой одним пикселом, 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 нас 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 пикселей, не могут быть обнаружены (случай недостаточного разрешения), однако их присутствие влияет на количество излучения, которое попадает на сенсор, создавая проблему так называемых смешанных пикселей. 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.

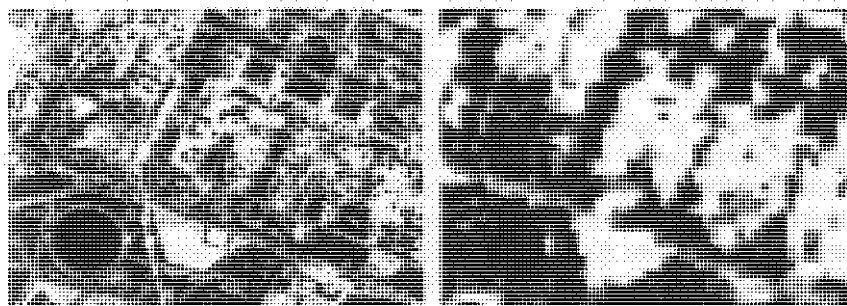


Рисунок 3.12. Квантование географического пространства. Квантование участка земной поверхности в виде прямоугольных пикселей для снимков с различным разрешением.

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 проекции для различных видов географического анализа.

10. Опишите координатную сетку UTM. 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 и 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.

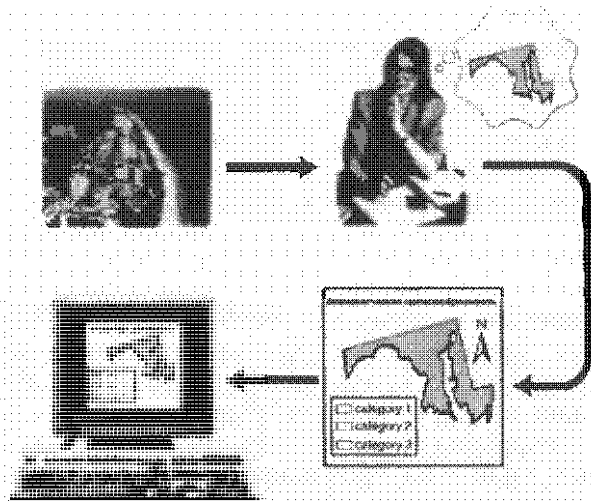
По мере чтения главы вы будете знакомиться с этими структурами в порядке роста их сложности. Не пожалейте время на понимание простых типов структур данных прежде чем переходить к более сложным моделям данных ГИС. Если в вашем распоряжении имеется несколько геоинформационных программ, вам следует определить, 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 группы 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.



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.

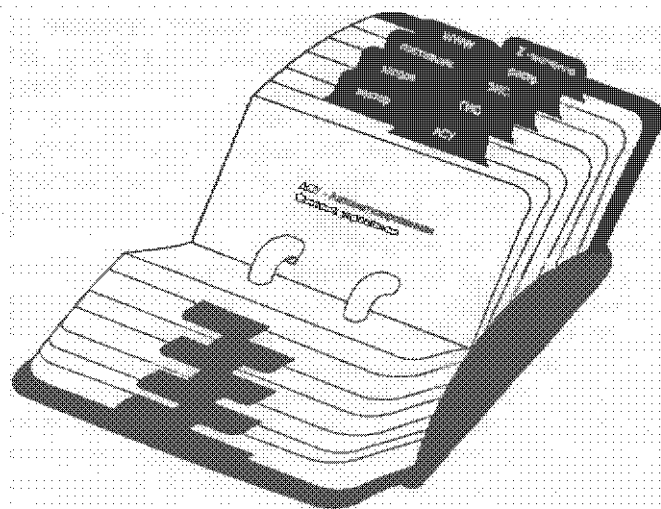


Рисунок 4.3. Последовательно упорядоченный файл. Иллюстрация структуры файла как упорядоченной картотеки. В данном случае сортировка производится с использованием алфавита.

Таким образом, программе не требуется просматривать большую часть файла. Среднее количество операций в этой стратегии определяется как  $\log_2(n+1)$ . 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.

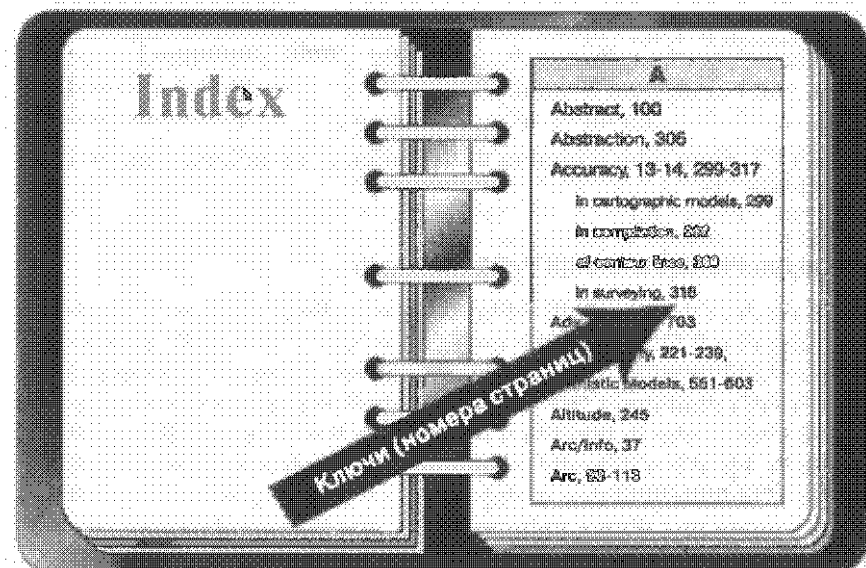


Рисунок 4.4. Индексированная структура данных. В качестве примера индексированного файла — указатель книги, который показывает, как найти информацию в большем файле с помощью ключевой характеристики.

## 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 изделия	Свойства				
	Км. ло- миска	Уклон	Напря- жение	Натяж, %	Состояние
1	15	8	С.СЗ	14	Хорошее
2	5	27	С	25	Плохое
3	21	8	СЗ	<3	Отличное
4	11	10	Ю	20	Посредственное
5	6	18	ЮЗ	15	Плохое
8	18	7	СЗ	10	Хорошее

→

Состояние	Номер изделия
Плохое	2, 5
Посредственное	4
Хорошее	1, 8
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" [Burrough, 1983]. Это отношение подразумевает, что каждый элемент данных 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.

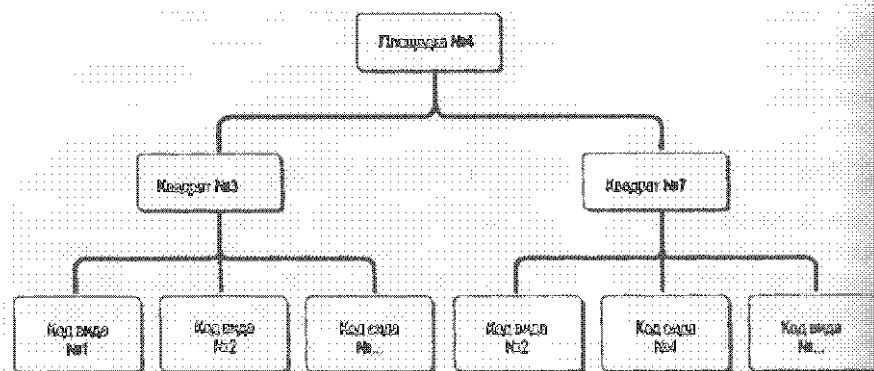


Рисунок 4.6. Иерархическая структура БД. Показано ветвление от предков к потомкам на основе ключевых атрибутов.

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, потерянным 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.

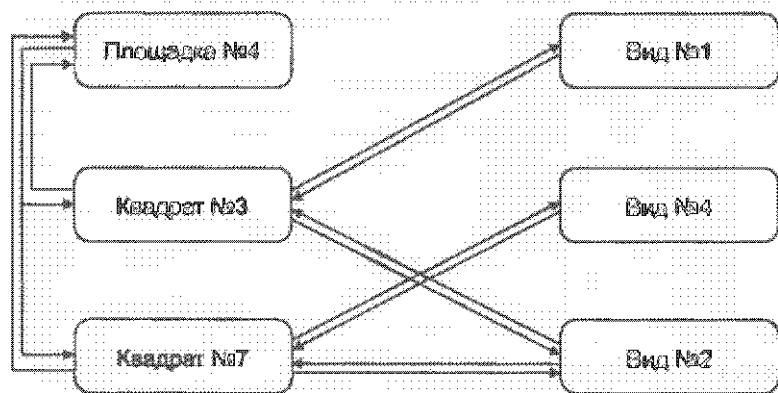


Рисунок 4.7. Сетевая структура БД. Эта структура позволяет пользователю перемещаться от одного элемента данных к другому через цепочку указателей, которые выражают взаимоотношения между элементами данных.

## 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.

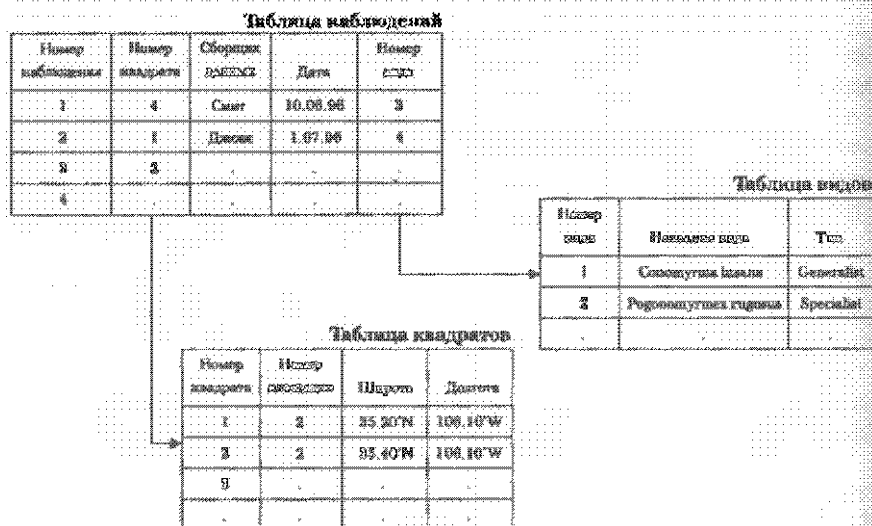


Рисунок 4.8. Реляционная структура БД.

Реляционные системы основаны на наборе математических принципов, называемых реляционной алгеброй или алгеброй отношений [Ullman, 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 будет "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 останется 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 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 [Healey, 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 раstra, 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 квадролеревом. 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 раstra, 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 раstra, и каждая точка линии должна находиться где-то внутри одной из ячеек раstra. Легко увидеть, что эта структура данных изображает линии ступенчатым образом (Рисунок 4.9). Этот ступенчатый вид также обнаруживается при изображении областей с помощью ячеек раstra (Рисунок 4.9).



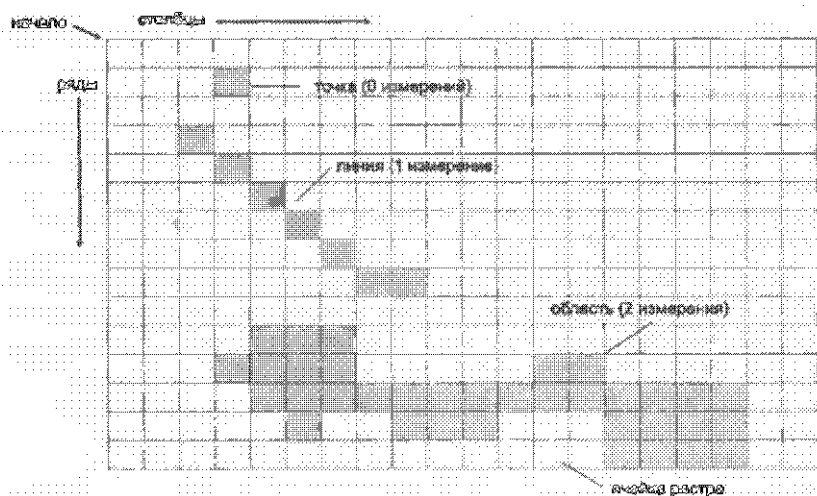


Рисунок 4.9. Растровое представление графики. Рисунок показывает точки, линии и области как объекты квантованного географического пространства. Растровые структуры не содержат точной координатной информации для таких объектов.

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.

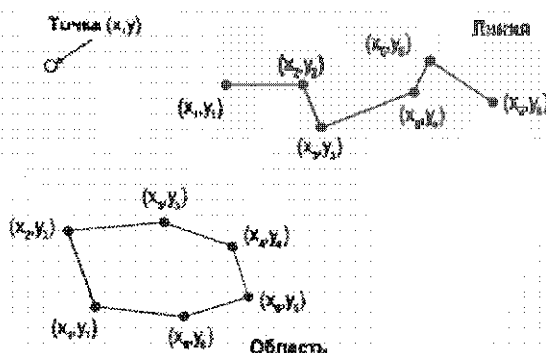
Ячейки растра примыкают друг к другу для покрытия всей области. Благодаря этому мы можем использовать номера ячеек по вертикали и горизонтали в качестве координат, а также можем сопоставить с этими номерами обычные декартовы координаты (см. Главу 3). Как мы уже видели, системы прямоугольных координат 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, пиксели 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 черепашьего 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 вершины, 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

Поэтому 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 из 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 присоединена каждому отрезку, чтобы сообщить пользователю, что движение может продолжаться вдоль каждого отрезка до изменения атрибутов, возможно, до того момента, когда двухсторонняя улица станет односторонней. Другие коды, связывающие эти отрезки, могут включать информацию об узлах, которые их соединяют. Узел, например, может иметь знак остановки, светофор или знак запрета разворота. Все эти дополнительные атрибуты должны быть определены по всей сети, чтобы компьютер знал присутствующие реальности отношения, которые этой сетью моделируются. Такая важная 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 — *прям. 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 двухмерного массива ячеек, где каждая ячейка представляет атрибут отдельной темы. Такой двухмерный 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 связанный 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 растра. Аналогично представляются отдых, промышленность и жилье, причем прямо адресуется теперь каждый признак, а не ячейки растра, как было в модели данных GRID/LUNR/MAGI. В конечном итоге, слои можно сложить "вертикально" для получения единой карты.

Система IMGRID имеет два основных преимущества. Во-первых, мы имеем непрерывную структуру, которая больше напоминает карту. То есть, мы храним двухмерные 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 растра, и это третье преимущество. Например, в некоторой ячейке растра 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 растра. 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 IMGRID 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

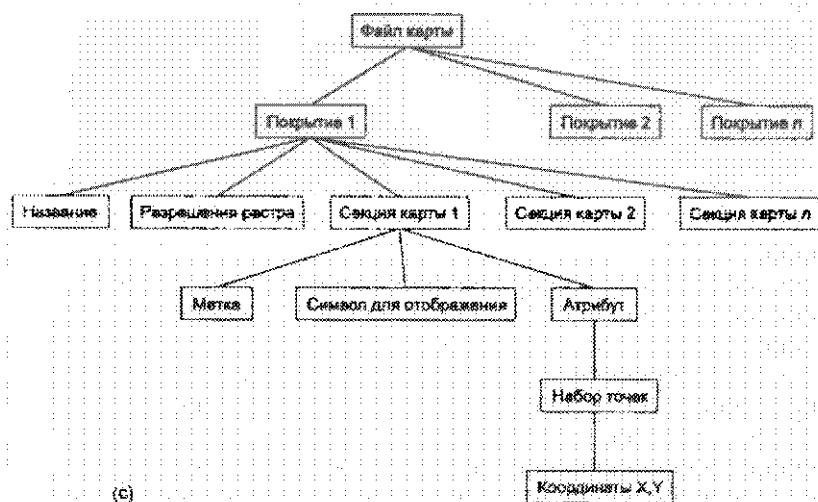
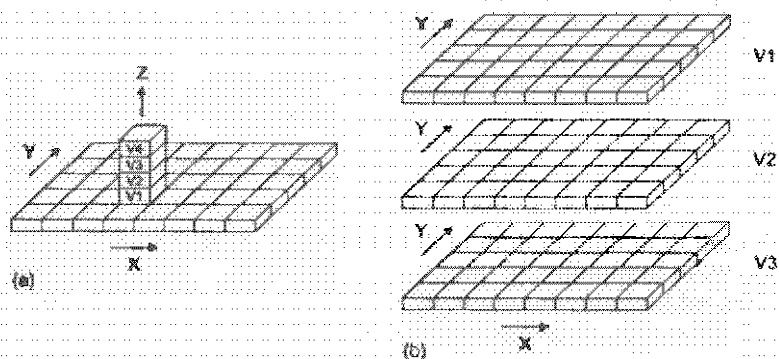


Рисунок 4.11. Три растровые модели данных для множественных покрытий:  
 а) Модель GRID/LUNE/MAGI; б) Модель IMGRID; в) Модель MAP.



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) [Buttough, 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 растра 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 растра 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 растра, 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.

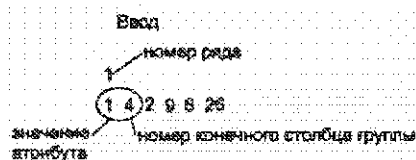
## Методы сжатия растровых данных

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, иллюстрированы 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 числовое значение, соответствующее данным карты, которые вводились (обычно с клавиатуры) в компьютер. Например, для карты размером 200 x 200 ячеек потребуется ввести 40'000 чисел. Если ваш преподаватель сейчас услышит ваше хихиканье, не удивляйтесь, обнаружив себя за этим занятием в качестве выражения 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,

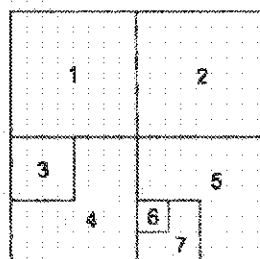
Групповое кодирование:



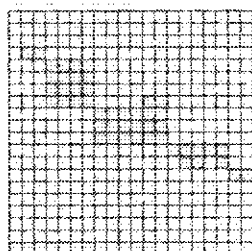
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...
1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	8	...
2											
...											

Результаты ввода

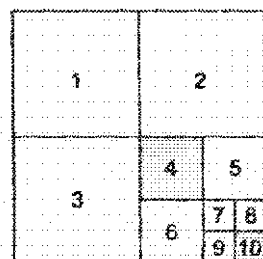
(a)



(b)



(c)



(d)

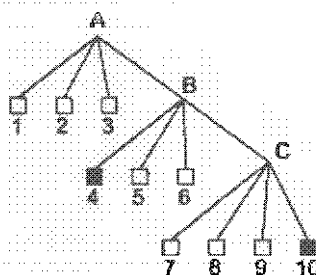


Рисунок 4.12. Методы сжатия растровых данных. а) групповое кодирование, б) блочное кодирование, в) цепочечное кодирование, г) квадрандерво.

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, квадродерево 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 [Witough, 1983].

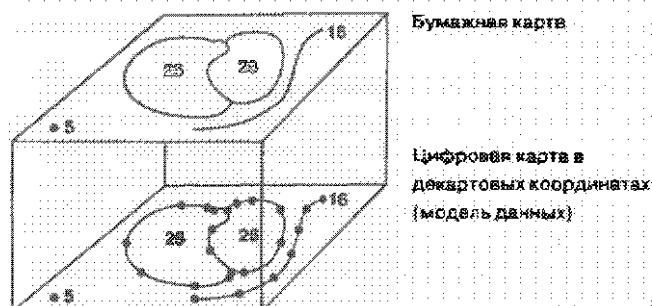
Системы, основанные на квадродереве, называются системами с переменным разрешением, так как они могут оперировать на любом уровне деления квадродерева. Пользователи могут решать, какой уровень разрешения нужен для их расчетов. Кроме того, благодаря высокой степени компрессии данных этого метода, в одной 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 [Dangermond, 1982] (Рисунок 4.13), 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

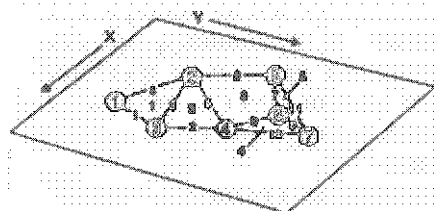
свой уникальный набор линий и пар координат. Хотя, конечно, общие стороны областей, даже будучи записанными отдельно в компьютере, должны иметь одинаковые наборы координат.

Поскольку сплетти-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 сплетти-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 сплетти-модели обычно довольно быстра по сравнению с другими.

В отличие от сплетти-модели, топологические модели [Dangernmond, 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.



Файл узлов

Номер дуги	Координата X	Координата Y
1	19	6
2	15	15
3	27	13
4	24	19
5	8	24
6	20	28
7	22	38

Файл областей

Номер области	Список дуг
1	1, 4, 3
2	2, 3, 5
3	3, 6, 7, 8
4	8, 9, 10
5	7, 11, 9

Файл дуг

Номер дуги	Правый полигон	Левый полигон	Начальный узел	Конечный узел
1	1	0	3	1
2	2	0	4	3
3	2	1	3	2
4	1	0	1	2
5	3	2	4	2
6	3	0	2	5
7	5	3	5	6
8	4	3	6	4
9	3	4	7	8
10	4	0	7	4
11	0	5	5	7

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

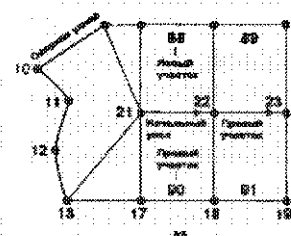


общие из них с тем, чтобы выяснить, как можно их реализовать. Возможно, наиболее известной является модель GBF/DIME (geographic base file/dual independent map encoding), созданная Бюро переписи США для хранения в компьютере уличной сети, используемой при переписях, проходящих каждые десять лет [U.S. 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].

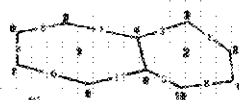
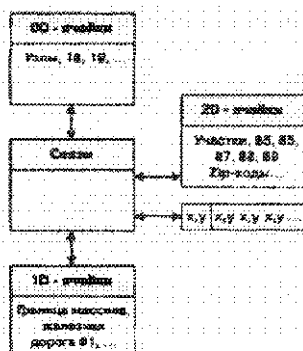
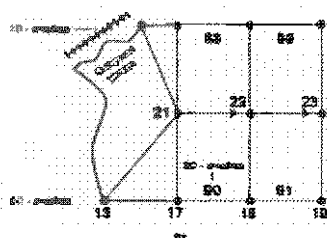
Дополнительным полезным свойством системы GBF/DIME является то, что для каждой дуги явно определены почтовые адреса и координаты UTM, что обеспечивает доступ к адресам через координаты. Однако, эту модель данных преследует та же проблема, что и базовую топологическую модель и, конечно, спагетти-модель 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 форма линии, 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 (topologically 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

перепишью.



Начальный узел	Конечный узел	Участки		Адрес слева		Адрес справа	
Узел карты	Узел карты	Левый	Правый	Нач-кон	Вос-кон	Нач-кон	Вос-кон
3	21	3	22	54	50	131	1000
						102	104



Полигоны		Список участков		Цепочки					
		Цепочки участков							
Имя полигона	Идентификационный номер	Список участков	Имя участка	Цепочки участков	Длина цепочки	Узел "от"	Узел "до"	Левый полигон	Правый полигон
1		4	4	к, у, к, у		4	3	2	1
2		3	3						
		5	5						
		6	6						

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

colVerTer) (Рисунок 4.15с). Как и TIGER, она устраняет неэффективность хранения и поиска, присущую базовой топологической модели, раздельным 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 [Reuquet, 1984]. Главным недостатком 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.

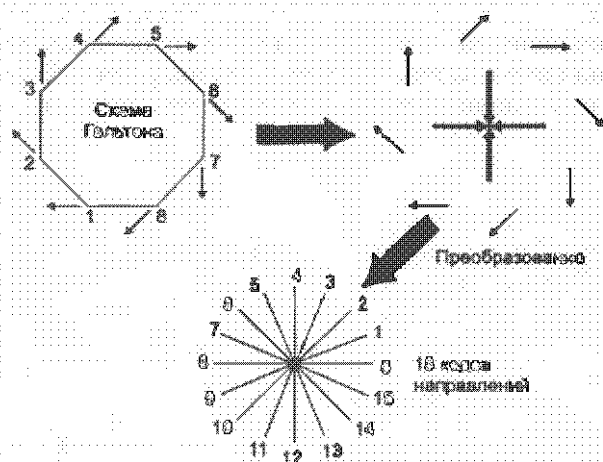


Рисунок 4.16. Цепочечные коды. Сравнение компактных моделей для указания направлений: разработанной сэром Фрэнсисом Гальтоном и усовершенствованной в виде цепочечных кодов Фримэна-Хофмэна. Обратите внимание на сильное сходство между старой и новой моделями.

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

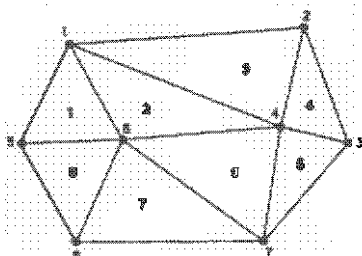
14), эти модели эффективны для выполнения быстрого вывода на плоттер

## 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.

Точка	X	Y	Z
1	X	Y	Z
2	X	Y	Z
3	X	Y	Z
4	X	Y	Z
5	X	Y	Z
6	X	Y	Z
7	X	Y	Z
8	X	Y	Z

Файл точек



Треуголь- ник	Вершины			Соседние треугольники		
1	1	8	5	2	8	-
2	1	4	8	1	3	9
8	1	2	4	-	6	2
4	2	3	6	5	-	5
3	4	3	7	4	-	8
6	8	4	7	2	5	7
7	8	7	9	5	-	8
5	5	2	9	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 минералоги или кристаллографы описывают минералы. Каждый кристалл имеет набор гладких граней, соединенных точками и линиями, которые показывают значительные смены его структуры. 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 закрасненными 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 достает той же эффективности в управлении атрибутивными данными [Atkinson, 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 квадродередре 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 разделенным хранением графики и атрибутов называются также геосепарационными.

Другим подходом к хранению графических и атрибутивных данных является интегрированная модель данных. В этом случае ГИС является процессором пространственных запросов, настроенным 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 [Healey, 1991]. Кроме того, атрибуты могут размещаться в тех же таблицах, что и графика.

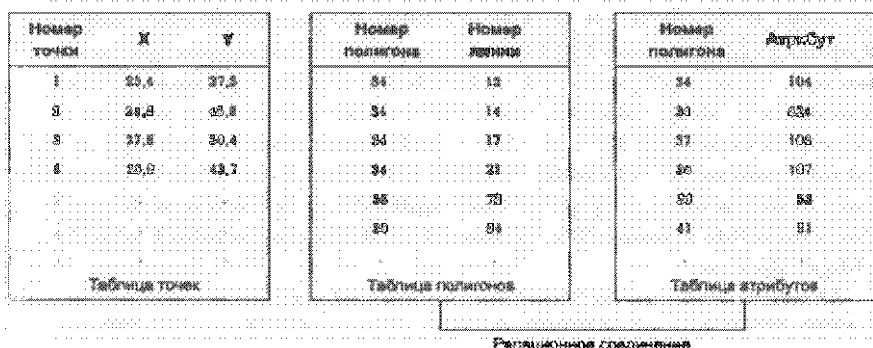


Рисунок 4.19. Интегрированная ГИС. Для хранения графики и атрибутов может быть организована единая БД.

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 Кодда, 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, хотят 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 [Nealy, 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 [Aronson, 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 даст 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).

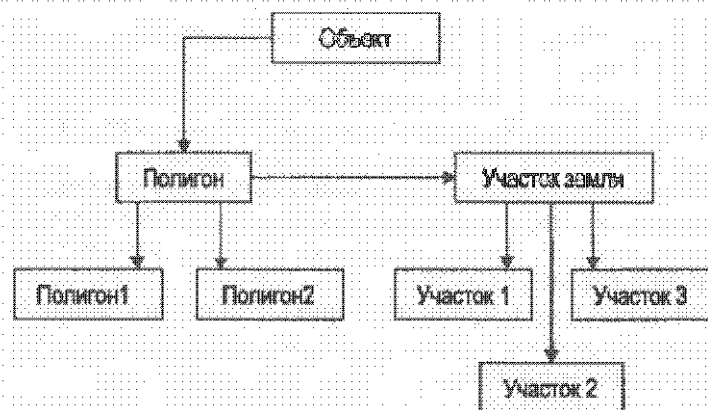


Рисунок 4.20. Объектно-ориентированная ГИС. Пример иерархии классов объектов, как они могли бы быть сконфигурированы в объектно-ориентированной ГИС.

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 надкласс *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? 120

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 спэгетти-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.

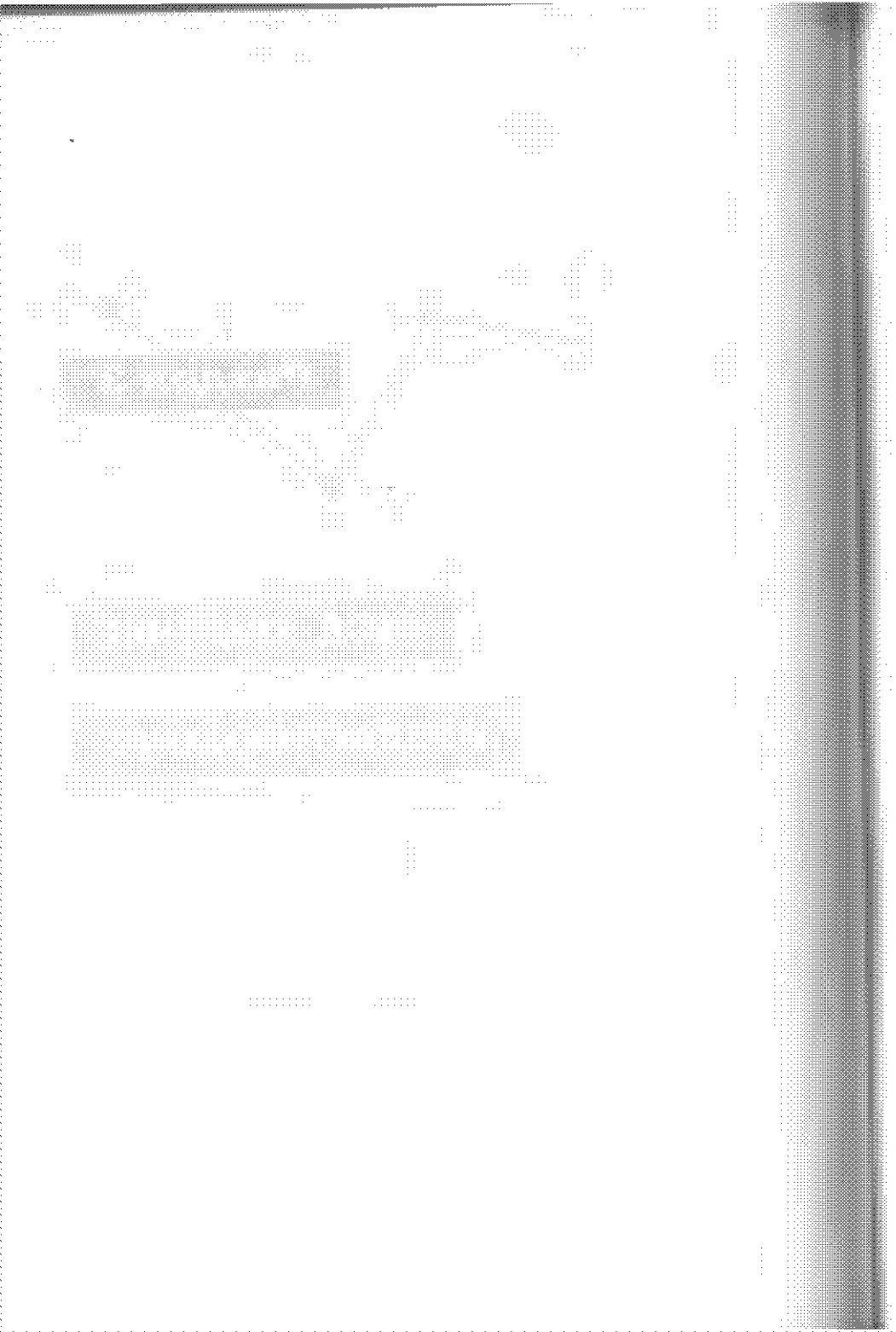




**Раздел 3**

**ВВОД, ХРАНЕНИЕ**

**И РЕДАКТИРОВАНИЕ**



## Глава 5

### 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 увлекательна, 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 от того, 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 раstra 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 раstra. Представьте себе, например, измерение расстояния на основе количества ячеек раstra: вам нужно будет знать, от чего вы отсчитываете, — от сторон ячеек или от их центров. В конце концов, помните, что всякая ячейка раstra 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].

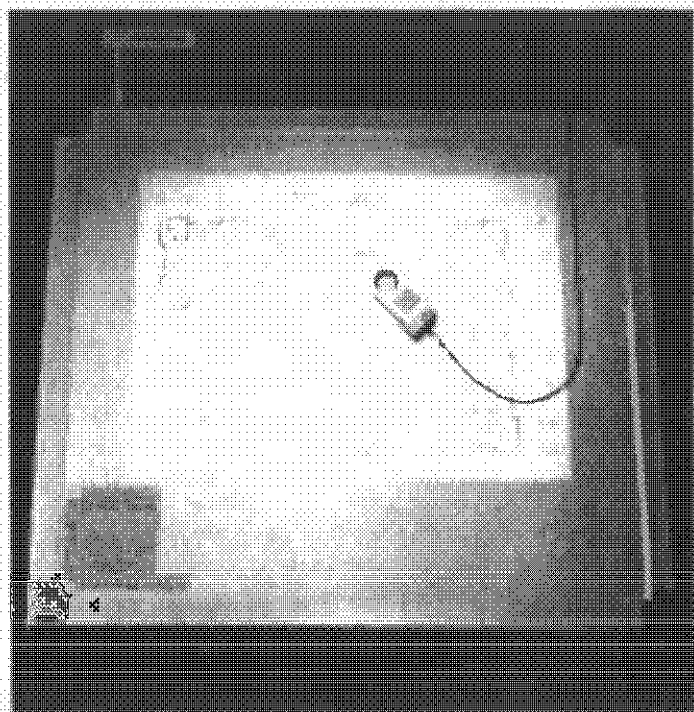


Рисунок 3.1. Крупноформатный дигитайзер. Большинство таких столов позволяют менять высоту и угол наклона рабочей поверхности.

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 близко будут отсчеты? Хорошие дигитайзеры должны обеспечивать расхождение не более 0.03 мм [Sameton, 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, перекос является мерой прямоугольности 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 ошибиться на сложных картах и картах с низкой контрастностью изображения. Например, когда линия расщепляется на две, 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 двигается 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.

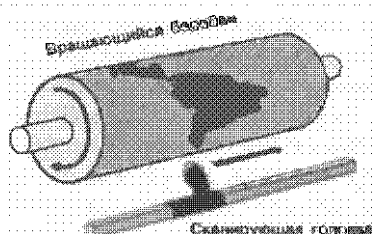


Рисунок 5.2. Принципы сканирования карты. Рисунок показывает барабанный сканер с вращающимся барабаном и перемещающимся вдоль него сканирующим устройством.

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. Чаще 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 ячеек 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 придется 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 (гомететия)** (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  $T_y$ :

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

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  $S_y$ :

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

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 ( $\theta$ ) и прибавлением произведения исходной ординаты, умноженной на синус угла поворота. Для ординаты новое



значение получается умножением ее на синус угла поворота ( $\Theta$ ) 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  $\Theta$  – угол поворота.

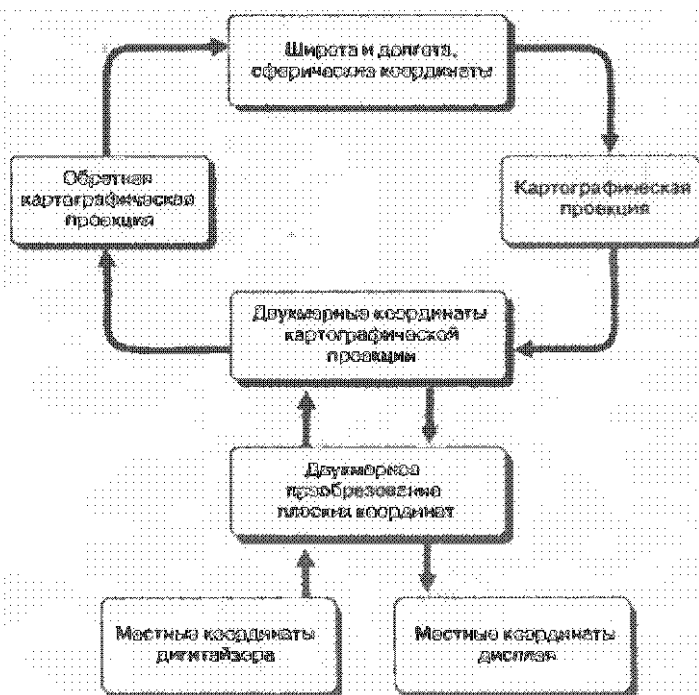
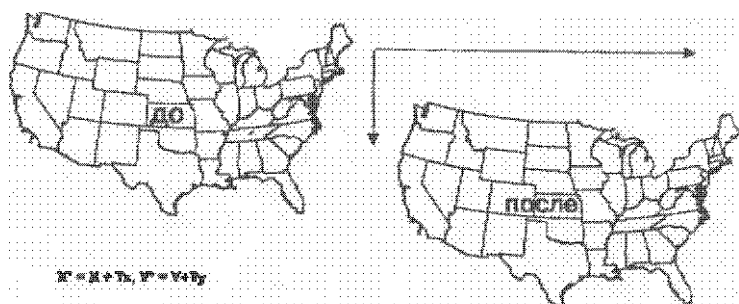
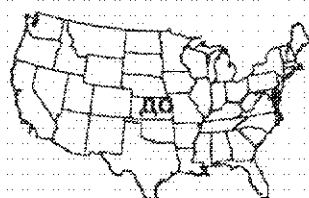


Рисунок 5.3. Преобразования координат в ГИС. Шаги преобразований из декартовых координат дигитайзера в двухмерные координаты проекции карты, через обратную картографическую проекцию, — в широту и долготу. Для вывода карты процесс обращается преобразованием в конечном итоге к декартовым координатам устройства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

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

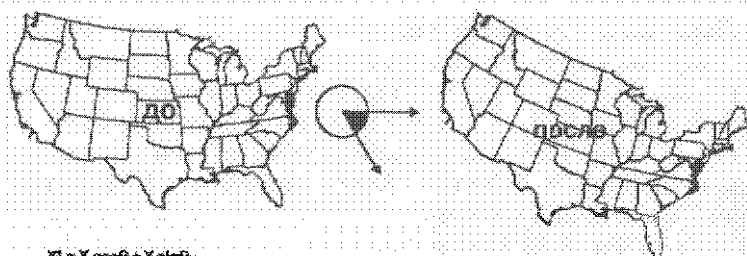


Перенос на  $(T_x, T_y)$



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

Масштабирование в  $(S_x, S_y)$



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

Поворот на угол  $\theta$

Рисунок 5.4. Перенос, масштабирование и поворот. Три основных графических преобразования, необходимые при проспирозинии: а) перенос для перемещения объекта в координатном пространстве; б) масштабирование для изменения размера объекта; в) 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 нас 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 пространство 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 нашем 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 приклеиваться отрезки фиксирующего скотча. Нельзя использовать клей, и приклеплять фиксирующий скотч непосредственно к бумаге, что может привести к порыву карты или сдвиганию 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 теми, 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 база данных 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 (TM) данных разрешения 30 м со спутника LANDSAT по сравнению с мультиспектральными (MSS) 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, создаст 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 USGS) 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, сельское, 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 IMGRID. 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 лекторной 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.

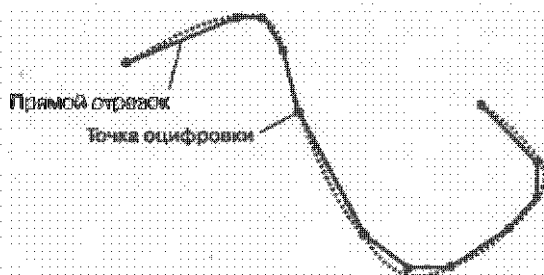


Рисунок 5.5. Оцифровка сложной линии. Пример аппроксимации прямой отрезками при дискретизации кривой линии. Записываемые точки выбираются в зависимости от изменения направления линии. Каждая точка — дополнительная порция информации, содержащейся на карте.

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 не меньшей

мере вчетверо меньшей площади (вдвое по длине стороны), чтобы гарантировать обнаружение этой фермы в вашей ГИС. Иначе говоря, это значит, что ячейки раstra 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 раstra. Подробно мы рассмотрим это в дальнейшем, а пока отметим то же практическое правило: делайте больше подсчетов при большем объеме информации.

Как для раstra, 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 масштабной 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 [Chrisman, 1987]. Одни (например, POLYVRT) 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 шпательки, 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 растра будет представлять различные имеющиеся темы. Помимо разрешения растра, 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 глаза, 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 смещением мельчайших точек красок небольшого числа цветов. При сканировании эти незаметные на глаз точки, превращаются во вполне самостоятельные пиксслы, образующие "виньетку" 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 растра. 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 LANDSAT TM имеют радиометрическое разрешение в 236 градаций яркости в каждой зоне спектра, а данные AVHRR, полученные с погодного спутника NOAA, 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 USGS 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 Peuquet, 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 *LANDSAT TM*. 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 нецелесообразно 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 *LANDSAT*. 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 I). Бюро переписи США имеет файлы TIGER и DIME, как и его канадские коллеги (см. Приложение I). 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 *Geonfo 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 к 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. Базам 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 (гомтетин). 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?

## Глава 6

### 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? Нет ли 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 встроиться 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 сделает 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 тодами 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.

## ХРАНЕНИЕ БД ГИС

Анализ конкретных компьютерных методов хранения баз данных ГИС далеко выходит за рамки данной книги, также как и все 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 квадродерева. 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 помещения 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 использовать 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 тщательностью 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 ищите 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 изображения здравого смысла говорят вам о прямой пространственной корреляции между наибольшей смертностью от рака и высокотоксичными веществами, наш 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 [Erstein, 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.

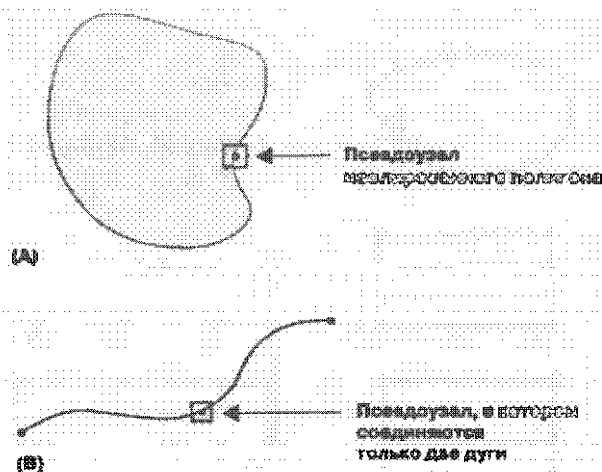


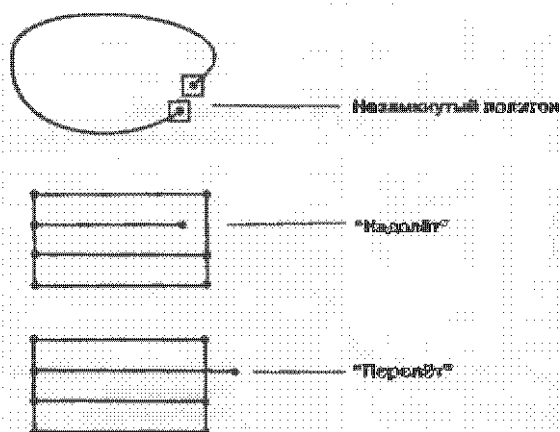
Рисунок 6.1. Псевдоузлы. Два типа псевдоузлов, которые могут быть ошибками.

\* 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 таких 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.

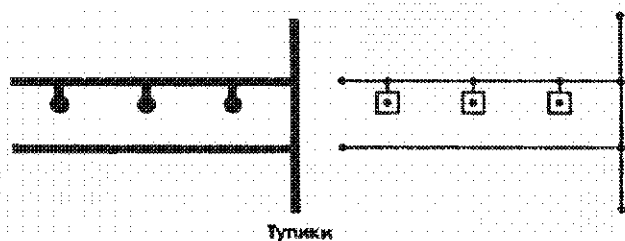
Если программа сообщает, что ваше покрытие содержит один или более псевдоузлов, то для исправления ошибок можно использовать подготовленную карту. Во-первых, вам нужно определить, являются ли псевдоузлы на самом деле ошибками. Законные псевдоузлы (т.е. такие, которые присутствуют для определенной цели)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



**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 ни с чем не соединенном конце линии (Рисунок 6.2). Возможны три вида ошибок, создающих висящие узлы: незамыкание 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.

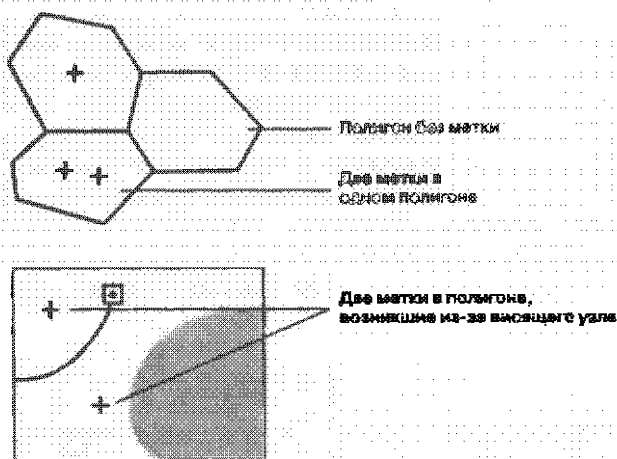


Рисунок 6.4. Ошибки с метками. Внутри каждого полигона должна быть одна точка, к которой присоединяются атрибуты. Ошибки возникают, когда метки нет или когда их больше одной.

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.

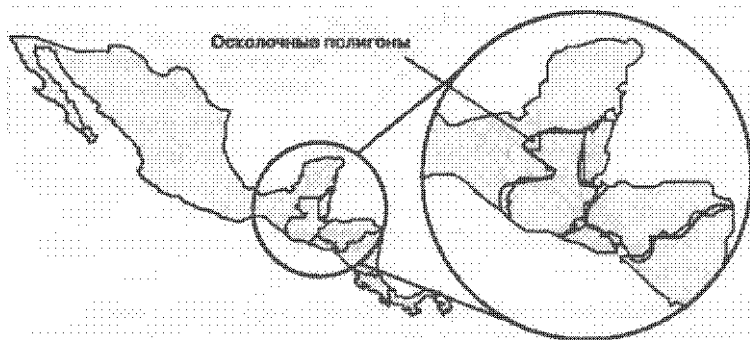


Рисунок 6.5. Осколочные полигоны. Они возникают из-за плохой оцифровки вдоль общих границ, где линия должна вводиться более одного раза. Сильно нерегулярные границы государств, как в Центральной Америке, особенно подвержены такой "кудрявости" (fuzziness) оцифровки.

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\*.

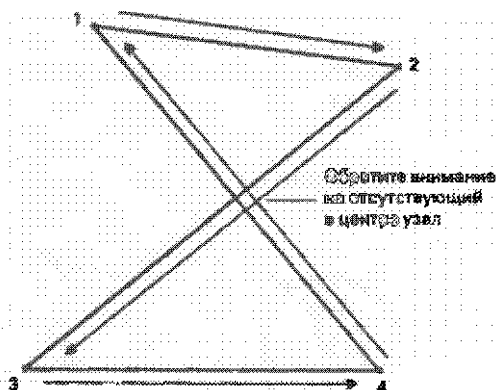


Рисунок 6.6. Странные полигоны. Пример создания странного полигона в результате неправильной последовательности ввода точек. Хотя графически мы имеем два полигона, точка, в которой линии пересекаются, не имеет узла.

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 ARC/INFO, 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.

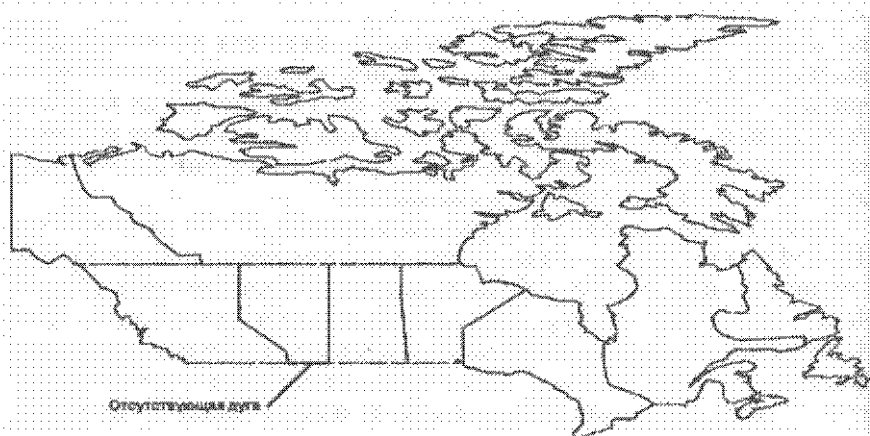


Рисунок 6.7. Отсутствующая дуга. Иллюстрация сравнения с исходной картой для определения обычных графических ошибок. Заметьте пропущенную дугу в цифровой версии этой карты Канады.

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 растра 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.

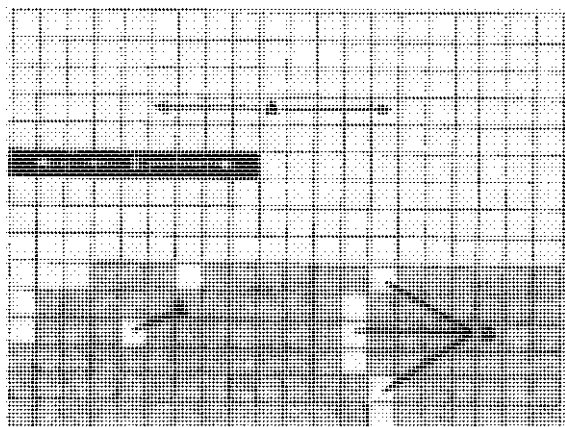


Рисунок 6.8. Ошибки атрибутов растра. Обычные ошибки атрибутов растра, определяемые по тому, как они искажают изображение: А — пропущенный ряд; В — неправильные или смещенные атрибуты (выглядят как один или более рядов существенно различных значений); С — одиночные неправильные атрибуты; D — ошибки атрибутов 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 растра они встречаются в виде потери целых рядов или колонок или частей рядов или колонок ячеек растра. Они могут быть обнаружены потому, что известность очертаний исходной карты предупредит



нас об отсутствии некоторого числа ячеек растра, существенно изменяющем весь вид карты (Рисунок 6.8). Пропуск рядов или колонок в растре чаще всего вызывается смещением позиции при наборе значений ячеек растра 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 растра 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 растра могут быть выбраны и изменены индивидуально.

На растровых изображениях, имеющих мало относительно однородных областей (например, необработанные топографические карты), неправильные значения будут плохо заметны на двумерном 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. Чаше 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. Повушка 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 буквенно 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 впечатываются 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 проверки 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 фиксированного 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.

## ОШИБКА 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.

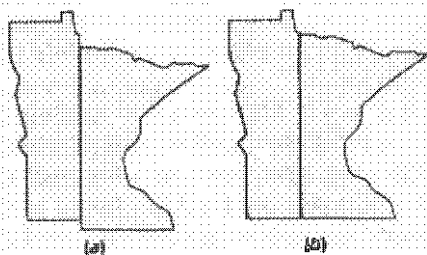


Рисунок 6.9. Стыковка вдоль границы. Два соседних листа карты до (а) и после (б) стыковки.

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 стыковались. 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 LANDSAT. 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 стыкуются. 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 Бугзевского. — прим. перев.

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

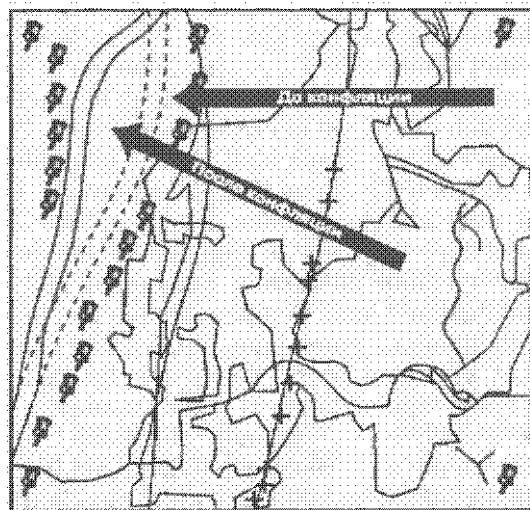
## КОНФЛЯЦИЯ (RUBBER SHEETING)

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. Далее вы должны наложить четыре полученных 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 выделывают 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, по как правило это приводит к нежелательным искажениям объектов, которые первоначально имели вполне правильные положение и форму. Лучше потратить некоторое время на отбор областей, положение и форма которых желательно сохранить, и позволить процедуре конфликации изменить остальное. Кроме того, вы можете обнаружить, что ваша первая попытка не была столь успешной, как хотелось бы. Это потребует дополнительных подтонок 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 конфликации. 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 конфлиции 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 отсеечения 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 одинаковую форму, размер и координаты.

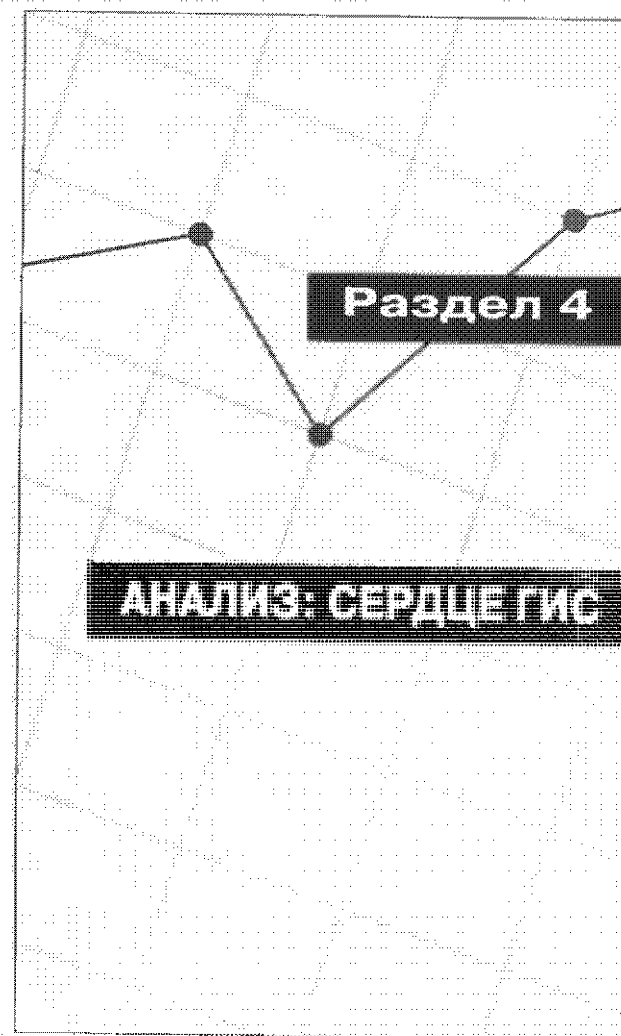
Важное замечание относительно статистических характеристик нескольких покрытий. Вполне возможно, что после применения шаблона ко всем вашим покрытиям, будут небольшие расхождения в общей площади



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 площади. 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 от данного 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 вызваны? 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 создасте. 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 ее 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. Отиравляясь 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 мечете. 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, имеющихся 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 измерениям 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 остановки 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.

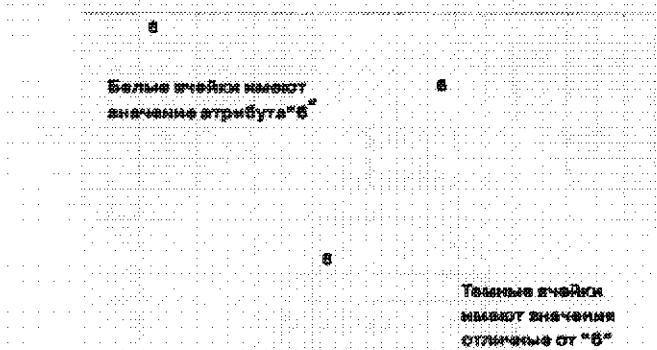


Рисунок 7.1. Поиск атрибутов в растре. Отбор точек по значению атрибута в растровой ГИС. Каждая ячейка раstra идентифицируется цветом или яркостью, которые представляют значения ее атрибутов.

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,

но имеют при этом значительную ширину. Часто наряду с отдельными полигонами рассматриваются **регионы** — группы несмежных полигонов, имеющих одинаковые атрибуты. Из-за способа связи атрибутов в простейших растровых ГИС представление полигонов как объектов требует идентификации их по атрибуту, точно также как мы поступали прежде при отборе точечных данных. И, как и раньше, вы можете использовать курсор для получения номеров ряда и колонки и атрибутов для каждого местоположения. Сведение результатов в таблицу опять покажет численность и процент каждой категории. Опять же, вы должны помнить, что доли от всей БД, занимаемые различными объектами, скорее всего бессмысленны. В случае областей их точность определяется главным образом методом, использованным для образования категорий ячеек раstra.

**Таблица 7.1. Список ячеек раstra, выбранных по значениям атрибута**

Категория	Значение атрибута	Кол-во ячеек
Не закодировано	0	225
Лучшие земли	1	642
Городские территории	2	201
Государственная земля	3	188
Пастбища	4	981
Водоемы	5	64

**Таблица 7.2. Список объектов в векторной системе, идентифицированных по значениям атрибута\***

Код землепользования	Наименование	Кол-во полигонов
100	Технические культуры	21
110	Пар	18
120	Зерновью	65
130	Пастбища	3
200	Жилье	982
210	Торговля	124
220	Легкая промышленность	192
230	Тяжелая промышленность	54
Код землепользования	Наименование	Идентификатор полигона
130	Пастбища	25
130	Пастбища	28
130	Пастбища	29

\* Нижняя часть таблицы содержит список полигонов с кодом землепользования 130, которые в верхней части показаны одной суммарной строкой.

Если вам нужно найти в векторной системе точки определенного типа (например, точки, атрибуты которых указывают на то, что это телефонные столбы, места гнездовий птиц и т.д.), то потребуется получить доступ к атрибутивной БД и ее таблицам (см., например, Таблицу 7.2). Чаще всего выполняется поиск, который приводит к отбору строк таблицы, имеющих код соответствующих объектов, которые вы желаете увидеть. И так как эти строки связаны с объектами, вы можете выделить точечные объекты только этого типа. Поскольку векторные структуры данных содержат явную пространственную информацию, вы легко можете получить точные координаты. Они могут быть выданы в табличном виде или просмотрены прямо на экране с помощью операции указания. В одних случаях вы сможете указать на отдельные элементы, в других — окружить несколько элементов рамкой, что даст вам нужную информацию для всех объектов внутри нее. Как и в растровых системах, здесь вы тоже можете получить атрибутивную и координатную информацию.

Поскольку в векторных структурах данных координаты хранятся в явном виде, вы также можете получить информацию о линейных и площадных объектах, выбирая их по отдельности. Например, вы можете отобразить все точки покрытия, просто отобразив только точки, или получить список, обратившись к таблицам атрибутов, относящимся к точкам. Это верно также и для линий всех видов и полигонов. Чтобы узнать точные координаты для одномерных и двумерных объектов (т.е. линий и областей), вам понадобятся пары координат каждой из точек, используемых для определения всех отрезков, с помощью которых эти объекты заданы. Опять же, это может быть сделано указанием на отдельные объекты или выборкой их рамкой, в зависимости от программы. И, как и с точечными данными, любой линейный или полигональный объект может быть также выбран на основе запроса к таблицам атрибутов БД.

## **Для чего нам нужно находить и определять местоположения объектов**

Практически в любой ГИС можно делать поисковые запросы, но перед тем как двигаться дальше, мы могли бы задаться вопросом: а для чего нам нужна возможность поиска и определения положения объектов в БД ГИС? Ответ будет с одной стороны совершенно очевидным (“поскольку это основной процесс, сравнимый с чтением традиционной карты”), а с другой — несколько скрытый (“для обеспечения более сложных вычислений”).

В первом случае важно иметь возможность отбирать, подсчитывать и определять положения объектов, так как эти действия дают нам понимание общей сложности тематических покрытий карты. Объекты на карте

представляют объекты на земле. На основе традиционной парадигмы сообщения, одним из главных назначений карты является отображение этих объектов, позволяющее выявлять пространственные отношения среди них и с другими объектами ландшафта. Чем больше объектов определенного типа имеется в некоторой области покрытия, тем выше их плотность в реальном мире. Важно, например, знать, имеется ли в некоторой области множество домов, или их всего несколько. Это число прямо соотносится с плотностью населения, которая может быть, в свою очередь, жизненно значима для определения степени угрозы населению от утечек опасных веществ, наводнений, землетрясений и других несчастий. Подобным же образом, численность растений или животных может быть тесно связана с качеством окружающей среды региона. Или, количество проезжих дорог может быть важно для маршрутизации потока грузовых машин. Наконец, информация об отсутствии этих объектов также может быть полезной при определенных обстоятельствах. Другими словами, количественные характеристики группы объектов позволяют выполнять прямые аналитические сравнения с другими тематическими покрытиями или другими показателями того же покрытия.

Наличие объектов, их местоположения и распределения обычно очень важны. Сравнения с другими объектами ландшафта могут использоваться для выяснения причин возникновения определенных картин распределения или, по меньшей мере, для выдвижения гипотез о сильной пространственной связи между показателями. Например, подсчет числа домов может быть полезным для определения площади земли, имеющейся для нового жилищного строительства.

Простая нумерация объектов и определение их местоположений позволяют нам исследовать их связи с более важными или крупными объектами того же покрытия. Например, специалисты по ландшафтной экологии часто интересуются отношениями между малыми, обособленными полигонами, которые они называют лоскутами (*patches*), и тем, что они называют матрицей (*matrix*), или общим фоном изучаемой области. Зная, сколько лоскутов имеется в изучаемой области и какую часть ее площади они занимают, экологи получают меру фрагментации, которая считается одним из индикаторов общего состояния ландшафта. Имеются и экономические применения; например, положения торговых центров могут быть очень разбросаны, требуя дополнительных дорог и предприятий общественного назначения, создание которых должно оправдываться важностью или эффективностью работы этих торговых центров.

Последние два примера показывают, что одной из наиболее важных причин для поиска объектов и определения их местоположений на карте является возможность выполнения дальнейших измерений и сравнений. От абсолютных величин мы можем перейти к относительным. Например, мы

можем перейти от общего числа домов, дорог или полигонов определенного типа землепользования к относительным числам домов на единицу площади, относительному числу километров дороги на квадратный километр или отношению числа полигонов с типом землепользования 1 к числу полигонов с типом землепользования 2. Каждый набор измерений и сравнений улучшает наше понимание нашего окружения. И все они требуют использования начальных возможностей обособления, подсчета и определения положений отдельных объектов в пределах БД ГИС.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ИХ АТТРИБУТОВ**

Только лишь возможность находить точечные, линейные и площадные объекты на карте имеет мало ценности. Большинство объектов выбираются не столько по их типу, сколько в зависимости от того, что они представляют в реальном мире. Как мы не стали бы просто записывать точки как точки, линии как линии и области как области в нашем полевом исследовании, так же мы не храним их как стерильные сущности в нашей БД ГИС. Наоборот, как и в поле, мы отмечаем типы точечных, линейных и площадных объектов, их количества и категории, величины каждого, так как наибольший интерес представляют их атрибуты, то есть описания. По той же причине мы чаще всего ищем и подсчитываем объекты и отмечаем их вложения, используя в качестве критерия поиска атрибуты этих объектов. Здесь мы рассмотрим три типа объектов — точечные, линейные и площадные; поверхности будут рассмотрены отдельно (Глава 10), так как они хранятся в БД часто совершенно иным образом.

### **Определение точечных объектов на основе их атрибутов**

Точечные объекты, как и все другие объекты, различаются не только по их местоположению, но, что более важно, по их атрибутам, характеристикам. Деревья отличаются от домов, которые отличаются от машин, которые отличаются от предприятий и т.д. Эти различия дают нам разные, но часто взаимосвязанные пространственные распределения каждой группы объектов. Точечные объекты могут различаться по отнесению их к таким типам, как деревья, дома, машины, предприятия. Эти типы могут также делиться на подкатегории. Например, деревья могут подразделяться на клёны, дубы, сосны, берёзы и т.д. Дома могут быть разделены на коттеджи или одной семьи, дома с фундаментом, двухэтажные, многоэтажные дома и т.д. В каждой из названных подкатегорий есть присущие им свойства для выделения их из большей категории.

Точечные объекты могут быть разделены по типам (номинальная шкала измерения данных), они также могут быть разделены и классифицированы в соответствии с порядковой шкалой. Мы можем, например, ранжировать деревья по некоторой мере здоровья или силы, или даже по величине даваемой ими тени. Например, мы могли бы иметь плохую, среднюю и хорошую категории деревьев с точки зрения качества тени, которую они могут предоставить. С другой стороны, лесозаготовительная компания может разбить множество деревьев на порядковые категории, отталкиваясь от предполагаемого качества пиломатериалов, которые можно будет произвести из них по созреванию. В третьем случае для выборки нам могло бы понадобиться знание отношений между существующими видами деревьев.

Конечно, мы можем различать точечные объекты также и по значениям в шкалах интервалов и отношений. Например, дома могут различаться по рыночной стоимости: до 50000 долларов, от 50001 до 100000 и т.д. Эти величины могут храниться в БД для обеспечения возможности отбора соответствующих точек. Другие примеры могут включать годовой объем продаж отдельных предприятий, объем связывания азота для выбранных растений, рост отслеживаемых по телеметрии оленей. Эти количественные показатели позволят нам выбирать в широком диапазоне групп, или классов каждого вида объектов в зависимости от наших потребностей.

Очень важно, чтобы работоспособная ГИС могла определять каждую категорию отдельно и вносить в таблицу результаты поиска. Кроме того, нам нужна возможность создания графического покрытия из точечных объектов заданных категорий или значений показателей, и только этих категорий или значений. Другими словами, нам нужна возможность обособлять эти группы точечных объектов от тех, которые не существенны для целей нашего анализа. Поскольку ГИС функционирует в рамках аналитической картографической парадигмы, нам нужна возможность выборки всех исходных данных и последующей группировки результатов любым образом, который подходит для наших целей.

Помимо просто обособления объектов определенных категорий, ГИС должна позволять нам определять положение каждого элемента и отдельно из каждого класса объектов и сравнивать его с другими объектами того же типа, что и он сам. То есть, нам нужна возможность показать пространственные отношения между одними объектами выбранного точечного класса с другими объектами того же класса для того, чтобы мы могли впоследствии выполнять аналитические операции по количественному определению этих отношений. Находятся ли все дома стоимостью до 50000 долларов в пределах заданного расстояния друг от друга? Распределены они регулярно или случайно? Группами или сравнительно равномерно?

Если нам нужно показать пространственные отношения между объектами одного типа или близких значений атрибутов, то это для того, чтобы в дальнейшем мы могли сравнить их с другими подобными точечными объектами другого типа или значений. Нам нужна возможность показывать и в дальнейшем выражать численно отношения между, например, домами, продающимися за 50000 долларов или меньше, и теми, что стоят 50001 доллар или больше. Более того, нам наверняка потребуется показывать пространственные отношения между точечными объектами одного типа, например, домами, и другого типа, например, уличными фонарями. И как нам нужно сравнивать численности и пространственные положения одной группы точечных объектов и другой, то также нам потребуется показывать отношения между объектами разных размерностей. Например, отношения между домами и имеющимися мощеными дорогами, линиями канализации, водопроводом и линиями электропередачи, парками и торговыми центрами. Конечно, как мы скоро увидим, объекты каждого из этих других типов также нужно будет разделять по типу и величине.

Перед тем, как закончить рассмотрение точечных объектов, важно отметить, что хотя большинство ГИС-пакетов позволяет выбирать, обеспечивать и определять положения точечных объектов, многие из них, особенно самые простые, не ориентированы на определение пространственных отношений между этими объектами (это справедливо не только для точечных объектов). Все же, даже если программное обеспечение не позволяет нам выполнять продвинутые аналитические операции с этими объектами, мы должны иметь возможность выполнять, по меньшей мере, указанные базовые функции и обмениваться данными с другими программами; тогда мы сможем применять альтернативные аналитические программы, чтобы узнать больше о существующих пространственных отношениях. Как минимум, ваша ГИС должна позволять вам создавать выборку только тех элементов, которые вам нужны, и только их, вместе с их атрибутами и координатами. После такого отделения вы должны также иметь возможность создания из них отдельного покрытия для обеспечения дальнейшего их анализа либо в рамках этой ГИС, либо с использованием другого программного обеспечения.

## **Определение линейных объектов на основе их атрибутов**

Как вы помните, линейные объекты это одномерные сущности, определяемые двумя точками или более, с соответствующими парами координат. Линейный объект может также содержать узлы, которые являются точками, указывающими начала и концы дуг или изменения

атрибутов вдоль нее. Линейные объекты, как и точечные, могут характеризоваться атрибутами, выражаемыми с применением различных шкал измерения данных. Примеры линейных объектов включают железные дороги, улицы, линии геологических разломов, изгороди, реки. Каждый из них может быть выделен среди остальных, так как все они различаются по типу. Другими словами, должна существовать возможность идентификации, выборки и определения положения каждого отдельного объекта. И, конечно, должна быть возможность сводить их в таблицу и отдельно отображать для определения уникального паттерна, создаваемого каждым из них на ландшафте.

Подобно точечным, линейные объекты должны разделяться на основе порядкового ранжирования или некоторой иной меры. Такие типы шоссе как однорядное, двухрядное, трехрядное и межрегиональная скоростная магистраль являются примерами линейных объектов, организованных по рангу. Эти ясно различающиеся типы дорог могут сравниваться только в пределах этого спектра типов шоссе; численные сравнения с другими дорогами, не относимыми к шоссе, скорее всего, не будут иметь смысла. Примером линейных объектов, которые могут иметь измеримую разницу в значениях атрибутов, являются реки, дебит которых может измеряться в кубометрах в секунду.

В некоторых случаях одна линия может иметь изменения в значениях атрибутов вдоль своей длины. Например, дорога может превратиться из однорядной в двухрядную, дебит реки может возрасти за счет притоков, а транспортная нагрузка городской улицы может измениться на пересечении с другой улицей. Используя узлы для индикации изменений и храня каждый отрезок между узлами с соответствующими атрибутами, мы можем определить каждый сегмент линии как отдельную идентифицируемую сущность, то есть дугу\*. Таким образом, атрибуты могут использоваться для выборки как целых линий, так и их частей.

Другие характеристики включают не просто атрибуты самой линии, но сравнение того, что оказывается по ее сторонам. Например, мы могли бы описать изгородь, указывая типы ландшафта по ее сторонам. Мы могли бы, например, идентифицировать все изгороди, у которых с одной стороны — лес, а с другой — поле, или все изгороди, у которых поля — с обеих сторон [DeMers et al., 1995]. В растровых системах подобные действия могут быть трудны, требуя выполнения операций, называемых анализом соседства. В векторных системах, использующих топологическую модель данных, отношения между линией и прилежащими к ней полигонами записываются в БД в явном виде во время ввода или построения топологии. Для раstra это может потребовать создания отдельного покрытия линейных объектов для

\* См. комментарий о динамической сегментации в предыдущей главе.



хранения таких атрибутов или, если эта растровая система использует СУБД, такие атрибуты могут храниться в ней в отдельных колонках таблицы атрибутов. В векторных системах используется преимущественно второй подход.

Для определения положения линии необходимо знать пары координат всех точек, которые образуют линию в векторной системе, или значения рядов и колонок всех образующих ее ячеек раstra в растровой системе. Это добавляет три других параметра, которые могут использоваться для выборки линии: ее длина, ориентация и форма. Линейные объекты могут быть прямыми с простой ориентацией или зазубренные и извилистые с неоднозначной ориентацией, такие как улицы, дороги, или реки, где каждый прямой отрезок имеет свою ориентацию. Одни линейные объекты просты и состоят из одной линии, другие — сложны, с разветвленной сетью, наподобие разветвляющейся реки. Все это трудно подсчитать в большинстве растровых ГИС, но векторные системы легко могут определять длину (см. Главу 8) и ориентацию. Расчет длины — всего лишь вопрос определения расстояния между двумя точками с использованием теоремы Пифагора, если координаты даны в декартовой системе, или между точками по дуге большого круга, если мы имеем дело с географическими координатами [Robinson et al., 1995]. Меры ориентации используют стандартные формулы тригонометрии на сфере [Robinson et al., 1995]. Мерой формы для линейных объектов чаще всего является извилистость (*sinuosity*), определяемая как отношение суммы длин сегментов линии к расстоянию между ее крайними точками. Возможен и более сложный анализ, включающий комбинации этих чисел [Mark and Xia, 1994].

Три этих основных меры — длина, ориентация и форма — могут быть приписаны как отдельные атрибуты к каждому линейному объекту или к каждому отдельному участку линейного объекта. Например, мы могли бы найти все изгороди, которые длиннее 80 метров, или выделить все дороги, которые имеют ориентацию вдоль меридианов, или отобрать наиболее извилистые реки. В некоторых случаях линейные объекты могут выходить за края карты. Если вы хотите иметь возможность их учета, может быть полезным включение атрибута, показывающего, что линия не завершена. Анализ, который не учитывает неполные линейные объекты, может оказаться ошибочным. Большинство таких операций нацелены на получение общей статистики карты, такой как средняя длина линейного объекта в покрытии, или среднее азимутальное направление, или средняя извилистость. Иногда может потребоваться создание в покрытии областей однородности (регионов), где длины, азимуты и/или извилистости имеют близкие значения, но различаются от одной области к другой. Этот вопрос был рассмотрен в Главе 9.

## Определение площадных объектов на основе их атрибутов

Как и точечные и линейные объекты, площадные, или полигональные, объекты могут быть определены, обособлены и выбраны на основе категории или размера. Каждая из этих характеристик должна храниться в явном виде в БД, либо как атрибуты ячеек раstra, либо как атрибуты векторных полигонов. Выделение и выборка осуществляются точно также, как и с точками и линиями. Но в отличие от них, площадные объекты имеют дополнительное измерение, которое позволяет присваивать им больше атрибутов на основе их геометрии.

Среди полезных атрибутов полигональных объектов находится мера их формы. Форма может быть строго евклидовой в том смысле, что она может представляться как некоторая вариация известной геометрической фигуры, такой как круг или квадрат. Известны меры формы, которые используют фрактальную геометрию, использующие нерегулярность внешней границы полигона. Связанной с формой является мера вытянутости (*elongation*) полигона, или отношение длин его длинной оси к короткой. Хотя такая функция обычно не встроена в векторные ГИС, измерение осей и получение отношения — сравнительно простое дело. Координаты вершин полигона могут использоваться для нахождения наиболее удаленных в определенном направлении точек. Но это требует использования объекта более высокого уровня, центроида, относительно которого оценивается положение других точек полигона (о центроидах — см. далее в этой главе). Конечно, вытянутость подразумевает, что может возникнуть потребность определять ориентацию вытянутых полигонов по отношению к главным направлениям горизонта. Хотя измерения формы применяются не часто в геоинформационном сообществе, существует растущий интерес к взаимосвязям между антропогенными и природными площадными объектами и их функционированию [Forman and Godron, 1987]. По меньшей мере, некоторые простые меры формы могут быть полезны для обособления, отбора, сведения в таблицы и отображения полигонов заданного класса форм и ориентации. Мы рассмотрим измерения формы и ориентации более подробно в Главе 8. А пока их следует представлять как атрибуты, которые могут использоваться для определения положения и подсчета полигонов определенного диапазона размеров.

Другим, более широко используемым атрибутом полигонов, является их площадь. В растре площадь определяется как количество ячеек заданной категории, образующих полигон. Эти ячейки могут относиться к более чем одному полигону, то есть просто показывать общее число ячеек раstra с заданным значением. Для изоляции полигонов часто требуется процесс

перекодировки значений ячеек, т.е. переклассификации (см. Главу 9), после чего их площадь может быть найдена уже простым подсчетом числа ячеек растра, образующих полигон. Конечно, измерения формы не будут особенно точными из-за дискретной природы растра. Периметр векторного полигона легко подсчитывается сложением длин отрезков, образующих границу; площадь же определяется так же, как и в растровую, — разбиением полигона на прямоугольные треугольники и суммированием их площадей, каждая из которых является половиной произведения длин катетов. Чем сложнее полигон, тем больше вычислений должно быть произведено. Но в общем, любая коммерческая ГИС должна давать быстрый ответ на запрос о вычислении площади, тем более, что однажды рассчитанные площади и периметры полигонов (также как и длины линий) часто заносятся в таблицы атрибутов объектов. Для отбора полигонов на основе их периметра или площади требуется только определить интервалы значений, образующие категории, распределить по ним полигоны, после чего можно выполнить простую операцию выборки среди этих категорий. Размер полигонов, как и длина линий, чаще всего (но не обязательно) определяется для каждого полигона и затем усредняется по каждой категории для занесения в таблицу. Это позволяет определить процент площади полигонов заданной категории по отношению к площади всего полигонального покрытия.

Здесь должны быть также упомянуты две другие характеристики полигонов, хотя они будут рассмотрены более подробно в Главе 8. Первая называется целостностью (*contiguity*), она является мерой перфорированности полигона [Berry and Tomlin, 1984]. Полигон, который содержит множество отверстий (меньших полигонов, целиком содержащихся в нем), имеет меньшую величину целостности, чем такой, в котором всего лишь несколько отверстий или их нет вовсе. Величина целостности может потребоваться при анализе мест распространения животных или угрозы пожара для лесных территорий. Большинство растровых ГИС имеют некоторые средства определения целостности, но векторные ГИС, за исключением векторно-топологических, меньше приспособлены к такому анализу. Определяя значения целостности и классифицируя результаты по группам, аналитик сможет легко выбирать и отображать эти группы или использовать их в дальнейшем анализе.

Вторым дополнительным атрибутом, который может быть полезен для площадных объектов, является однородность области, не обязательно являющейся одиночным полигоном [Berry and Tomlin, 1984]. Однородность является мерой того, сколько площади данной части карты находится в прямом контакте с площадными объектами, имеющими те же атрибуты. Например, два полигона, имеющих идентичные атрибуты, могут касаться друг друга только вдоль небольшого участка. В этом отношении

однородность очень похожа на простую величину размера. Однако однородность может быть также определена так, чтобы включать величину внутренней неоднородности области. Можно, например, сгруппировать некоторое число полигонов не на основе сходства их атрибутов, а на основе некоторой разнородной смеси атрибутов. Например, у нас могла бы быть область леса, в которой растут деревья двенадцати различных видов. Мы могли бы отобрать все области, которые имеют внутри себя двенадцать или более видов деревьев как меру разнообразия (называемого в данном случае видовым разнообразием). Таким образом мы могли бы нанести на карту область с высоким разнообразием видов деревьев. Или мы могли бы интересоваться областями, которые, например, имеют высокую степень этнического сходства (противоположность разнообразия) в жилых зонах. Затем мы могли бы выбрать все области, которые имеют менее трех этнических групп, чтобы показать величину этнического разделения в городе.

И растровые и векторные ГИС, как правило, имеют некоторые возможности для выполнения подобного анализа, хотя в некоторых системах непосредственно такие функции отсутствуют. Тогда может быть использована некоторая последовательность команд для достижения того же результата. Как всегда, эти вычисляемые атрибуты должны позволять нам обособлять, выбирать и выводить результаты индивидуально по категориям. Когда мы начнем рассмотрение классификации в ГИС, мы вернемся ко всем этим методам как средствам переклассификации имеющихся атрибутов.

## **ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ ВЫСОКОГО УРОВНЯ**

До сих пор мы работали с точками, линиями и областями, обращаясь к либо уже имеющимся атрибутам, либо атрибутам, которые могут так или иначе вычисляться. Одни объекты образуются во время ввода, например, узлы, которые кодируются в процессе оцифровки. Другие, такие как центроиды, должны быть вычислены, построены на основе введенных объектов. Мы называем их "объектами высокого уровня" вследствие этой их особенности и важности для анализа. Здесь эти объекты высокого уровня делятся на точечные, линейные и площадные и рассматриваются по отдельности.

### **Точечные объекты высокого уровня**

Два основных типа точечных объектов высокого уровня это центроиды и узлы. Центроид (centroid) обычно определяется как точка, находящаяся в точном географическом центре области или полигона (Рисунок 7.2а). Ед

нахождение просто для простых многоугольников, таких как прямоугольники; когда многоугольники становятся более сложными, объем необходимых вычислений также растет. Растровые ГИС не очень хорошо приспособлены к этой процедуре. Во многих случаях даже векторные ГИС не имеют соответствующей функции. Простые, или географические, центроиды в векторном случае вычисляются по правилу четырехугольников (trapezoidal rule), которое делит многоугольник на некоторое число перекрывающихся четырехугольников. Затем вычисляются центроиды, или центральные координаты, каждого четырехугольника, потом — их взвешенное среднее (Рисунок 7.3)\*. Центроид может быть нужен, когда вы создаете карту поверхности по значениям, определенным в разных ее областях. Например, если вам нужно провести изолинии (линии равных значений) или создать fishnet map населения США, но данные собраны на уровне округов, то вам понадобится разместить центроиды в каждом из примерно трехсот округов. Затем, через интерполяцию, на основе этих точек могут быть построены изолинии или поверхности. Центроид выполняет функцию точечного объекта, к которому при известных обстоятельствах можно отнести данные полигона.

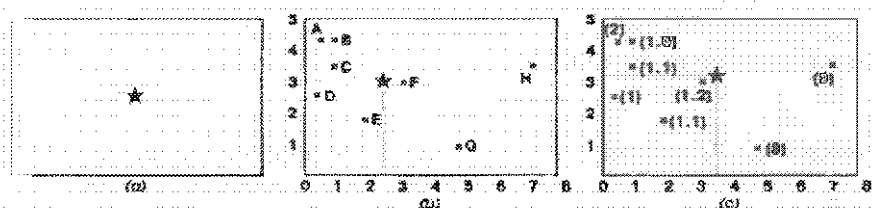


Рисунок 7.2. Простой центроид (а), центр масс (b), взвешенный центр масс (с). Числа в скобках показывают присвоенные веса, приведенные в Таблица 7.4.

Центроиды могут также помещаться в центре распределения некоторого явления, а не в абсолютном географическом центре многоугольника [Clarke, 1996]. Продолжая наш пример с картой изолиний плотности населения, мы могли бы обнаружить, что в некоторых округах большая часть населения сосредоточена ближе к одной из сторон. Хотя мы могли бы всё же использовать центроид округа для точечного представления населения, было бы более правильно поместить представительную точку ближе к центру

\* Существуют и другие способы построения центроидов. Например, центроидом может считаться центр прямоугольника, описанного вокруг полигона, или центр инерции полигона. Каноническим для ГИС центроидом является центр эллипса, наиболее близкого по форме к контуру полигона. Это определение может также использоваться для сложных линий. Кроме того, оно позволяет использовать большую ось эллипса для определения ориентации полигона или сложной линии — прим. перев.

распределения. Эта точка, называемая центром тяжести (center of gravity), требует раздельного усреднения координат  $X$  и  $Y$  по всем точкам в покрытии [McGrew and Monroe, 1993; Muehrcke and Muehrcke, 1992] (Таблица 7.3, Рисунок 7.2b).

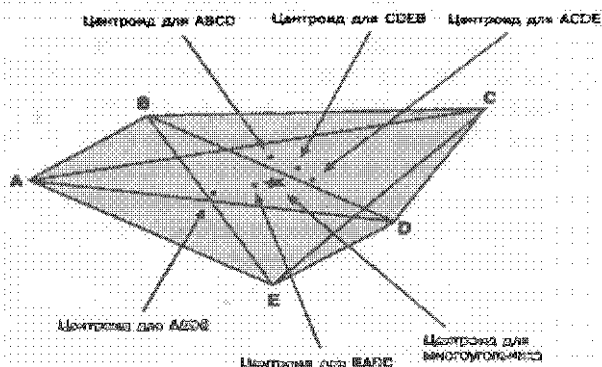


Рисунок 7.3. Правило четырехугольников. Каждый перекрывающийся четырехугольник имеет свой центроид. По этим центроидам может быть определен центроид всего многоугольника.

Таблица 7.3. Расчет центра масс. Координаты центра масс группы точек определяются как частные от деления сумм координат  $X$  и  $Y$  на число точек.

Точка	$X$	$Y$
A	0.5	4.5
B	1.0	4.5
C	1.0	3.5
D	0.5	2.5
E	2.0	2.0
F	3.0	3.0
G	5.0	1.0
H	7.0	3.5
	20.0	24.5
Центр масс	2.5	3.0625

Конечным результатом будет одна пара координат, представляющая центральную точку этого распределения точек. Кроме того, если эти точки имеют свои веса (например, если точки указывают и местоположения, и объемы продаж каждого магазина), то мы могли бы переместить центр распределения с учетом этого дополнительного весового фактора.

Определение такого взвешенного центра тяжести (weighted mean center) требует перемножения каждой координаты на взвешивающий коэффициент (в последнем примере — объем продаж), суммирования одноименных координат и деления сумм на общую массу [McGrew and Monroe, 1993] (Таблица 7.4, Рисунок 7.2с). В результате получаем пару координат центра распределения с учетом весовых коэффициентов.

Таблица 7.4. Расчет взвешенного центра тяжести с учетом весов, присвоенных каждой точке.

Точка	X	Y	k	kX	kY
A	0.5	4.5	2.0	1.0	9.0
B	1.0	4.5	1.5	1.5	6.75
C	1.0	3.5	1.1	1.1	3.85
D	0.5	2.5	1.0	0.5	2.5
E	2.0	2.0	1.1	2.2	2.2
F	3.0	3.0	1.2	3.6	3.6
G	5.0	1.0	3.0	15.0	3.0
H	7.0	3.5	3.0	21.0	10.5
Сумма			12.9	45.9	41.4
Центр масс				3.56	3.21

Такие вычисления применяются в крупномасштабном анализе рынка и при поиске оптимального расположения объектов торговли или массового обслуживания. Проведя их, аналитик может выбрать области вблизи вычисленного центра потенциальной территории сбыта для размещения нового торгового центра или иного предприятия. Существуют, конечно, и другие причины поиска простых центроидов; примеры включают исследование активности животных в питании [Коерри et al., 1985] и анализ движения центров населенности во времени как меры крупномасштабной миграции [McGrew and Monroe, 1993]. Многие растровые ГИС не имеют такой встроенной возможности, но большинство коммерческих векторных ГИС способны находить центроиды и центры тяжести.

Второй тип точечных объектов высокого уровня, узел, был упомянут в главе 4. В этом случае точки важны не сами по себе, а как некоторые отметки на линейных и площадных объектах. Узлы не существуют как определенные объекты в растровых ГИС. Поскольку атрибутивные узлы вводятся для указания на изменение атрибутов\*, возможность их идентификации жизненно важна для многих процедур работы с атрибутами. В общем случае узлы кодируются явным образом в процессе ввода и должны легко отделяться или идентифицироваться простыми процедурами поиска в ГИС. Трудность возникает только тогда, когда узел был по ошибке закодирован не как узловая, а как обычная формообразующая точка. Это еще одна иллюстрация

\* в случае, если ГИС не поддерживает динамическую сегментацию — прим. перев.

важности правильной организации данных и тщательного выполнения ввода.

Здесь нужно упомянуть еще одну ситуацию, которая будет рассматриваться в следующих главах, а именно, использование групп точек для определения областей. Например, там, где имеется большое количество точек, что бы они ни представляли, образуемая ими область явно отличается от областей, в которых точек мало. Например, в определенных частях сельскохозяйственных полей может быть обнаружено большое число сорняков, что показывает на их отличие от других. Остается только определить причину различий: нарушение равновесия, недостаток пестицидов или нечто присущее местной почве или способам её обработки.

Другие характеристики распределения точечных объектов, такие как равномерность или случайность, также могут использоваться для определения областей как специфических сообществ (communities), или областей имеющих общие рисунки распределений (Рисунок 7.4). Такое определение областей не свойственно большинству ГИС, но обычно его все-таки возможно реализовать и в растровых и в векторных системах. К этой теме мы еще вернемся.

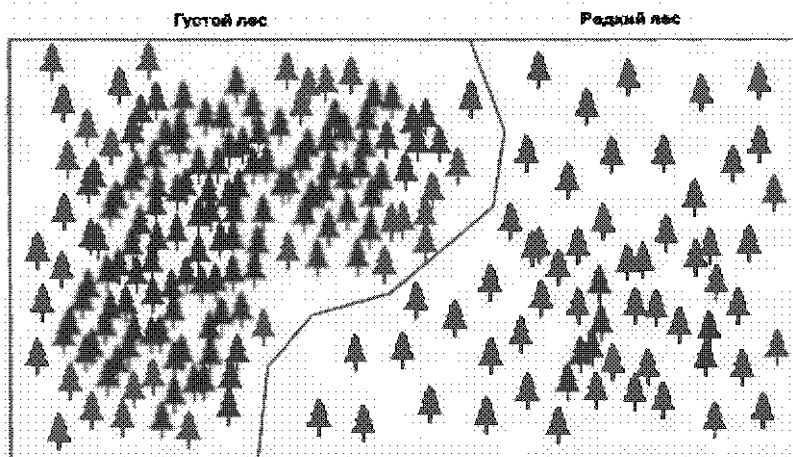


Рисунок 7.4. Сообщества, образованные на основе плотности точечных объектов.



## Линейные объекты высокого уровня

Три типа линий особенно важны и оправдывают свое название объектов высокого уровня. Первый упоминался при обсуждении отношений между атрибутами линий и прилежащих к ним полигонов. Эти линии чаще всего называются границами (borders), при пересечении которых подразумевается значительное изменение одного или многих атрибутов местности. Другими словами, важность границ обусловлена их функцией по отношению к прилежащим полигонам.

Возьмем простой пример государственной границы между США и Канадой. Линия, служащая границей, должна позволять идентифицировать все штаты и округа США южнее её как принципиально отличающиеся от провинций и территорий Канады севернее её. Хотя это кажется очевидным, но если эта линия не имеет атрибутов, явно показывающих её статус как границы государств, вам, возможно, придется принимать специальные меры для различения США и Канады, вместо того, чтобы просто пользоваться граничной линией.

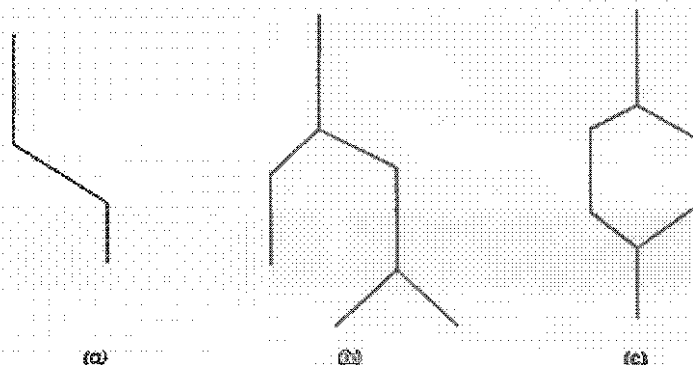


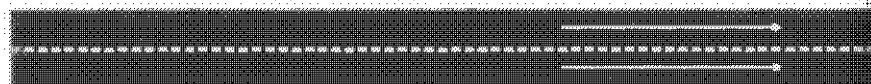
Рисунок 7.5. Виды сетей. Показаны три основных вида сетей: а) прямолинейные, б) древовидные, в) контуры.

Линии могут также становиться объектами высокого уровня, когда они связаны друг с другом некоторыми отношениями. В таких случаях это не просто изображения линейных объектов или границ между полигонами, а особые структуры, которые вместе с узлами образуют сети (networks) (Рисунок 7.5). Сети могут быть определены как набор соединенных линейных объектов, вдоль которых возможно движение от одного узла к другому. Как мы увидим в Главе II, сети позволяют моделировать множество видов потока: движение автомобилей и поездов, транспортировку грузов,

перекачку нефти, газа, воды, и даже миграции животных по миграционным коридорам. Во всех этих случаях нам нужна возможность производить операции на сетях, поэтому линии должны иметь специальные атрибуты, необходимые для анализа этих потоков (ограничения скорости, сопротивление и т.д.). Растровые ГИС не подходят для работы с сетями, так как в них нет средств явного определения сетей.

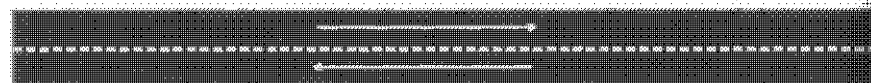
Сети или их части бывают трёх основных видов: прямолинейные, как автомагистраль (Рисунок 7.5а); древовидные, как речная сеть (Рисунок 7.5б); контуры (circuits), как ведущая в исходную точку комбинация улиц (Рисунок 7.5с) [Muehrcke and Muehrcke, 1992]. Они могут быть направленными или ненаправленными. В **направленной сети** (directed network) поток может иметь только одно направление (Рисунок 7.6а). Например, реки при нормальных обстоятельствах текут только вниз по склону. Аналогично, на улицах с односторонним движением запрещено движение в одном из направлений. В случае если один отрезок сети пересекается с другим, может иметь место изменение направления потока, или может потребоваться ограничить места, в которых допустимо выполнять повороты при переходе с одного отрезка на другой. Например, на пересечении двухсторонней и односторонней улицы нельзя сворачивать с первой на вторую против встречного потока. В **ненаправленных сетях** (undirected networks) поток может двигаться в любом направлении (Рисунок 7.6б), хотя, в общем случае, сопротивление движению во встречных направлениях может не быть одинаковым.

Улицы с односторонним движением



(а)

Улицы с двухсторонним движением



(б)

Рисунок 7.6. Направленные и ненаправленные сети. Направленные сети (а) ограничены одним направлением потока, в то время как ненаправленные сети (б) допускают потоки в обоих направлениях.

Поскольку сети могут моделировать потоки как направленным, так и ненаправленным образом, и поскольку одни отрезки сети соединяются с

другими, но не стретыми (например, когда одна дорога проходит под другой в тоннеле), все эти характеристики должны быть закодированы явным образом. Почти все векторные ГИС имеют возможность хранения таких атрибутов и моделирования потоков с их помощью. В действительности, некоторые из них были разработаны именно для этого (см. Главу 11). В случае отсутствия атрибутивных данных для сетей существенно ограничивается использование линейных объектов как сетевых объектов высокого уровня. Линии, соединенные друг с другом без атрибутов, показывающих, что они обеспечивают пути для потоков, не создают основы для сетевого моделирования.

Подобно точечным, линейные объекты высокого уровня могут образовывать сообщества. Возможны области высокой густоты дорожной сети, или области с малым числом изгородей. Мы можем определять эти области как сообщества благодаря высокой или низкой пространственной плотности линейных объектов. И, как и для объектов других типов, возможны дополнительные характеристики распределений, такие как регулярность или случайность, которые могут использоваться для идентификации сообществ линейных объектов. Большинство ГИС не содержат алгоритмов специально для этого. Чаще всего вам придется использовать дополнительные программы или модифицировать работу самой ГИС с помощью встроенного макроязыка или средств расширения.

## **Площадные объекты высокого уровня**

Как и точки и линии, области также могут быть объектами высокого уровня. Сами полигоны могут использоваться для определения регионов сходных географических характеристик. На самом деле, среди наиболее важных аспектов географических исследований прошлого и настоящего находится определение регионов, участков земной поверхности, которые имеют некоторое единство характеристик. Например, политические регионы определяются национальными границами, этнические — сходством происхождения, биогеографические — на основе сходных черт организмов. Внутри ГИС выделение этих регионов может основываться на атрибутах, определяющих каждый полигон или набор полигонов. Например, мы могли бы определить регион, отобрав все полигоны, в которых главным растительным компонентом является лес. Это даст нам "лесной" регион. Мы должны будем знать заранее, какие регионы собираемся искать, и как они должны определяться. Поскольку определение регионов — задача не простая сама по себе, велики шансы, что просто выбор подходящих полигонов или наборов ячеек растра не будет достаточным для создания определений. Скорее всего, для определения регионов нам придется

объединять наборы атрибутов из нескольких различных покрытий. На самом деле, возможность определения регионов на основе большого разнообразия характеристик является одной из самых замечательных черт ГИС. Это ведет нас к другой классической проблеме географии – классификации, которая будет рассмотрена в Главе 9. Пока же выбор регионов должен мыслиться как обособление однородных наборов или комбинаций данных. В некоторых случаях регионы могут представляться как области, содержащие подобные смеси разнородных атрибутов, а не как имеющие только одинаковые атрибуты.

Регионы различаются не только атрибутами, но и своей конфигурацией в пространстве. Имеются три основных вида регионов: сплошные (односвязные), фрагментированные (неодносвязные) и перфорированные (contiguous, fragmented, perforated) (Рисунок 7.7). Сплошной регион образует одну сплошную область, при этом атрибуты входящих в него полигонов могут быть одинаковыми (гомогенный регион) или различными (гетерогенный регион). Фрагментированный регион, опять же гомогенный или гетерогенный, составлен из двух или более полигональных фигур, разделенных пространством, которое не относится к этому региону. Например, лесной регион может выглядеть как некоторое число полигонов, разбросанных по карте, имеющих при этом единый набор видов деревьев.

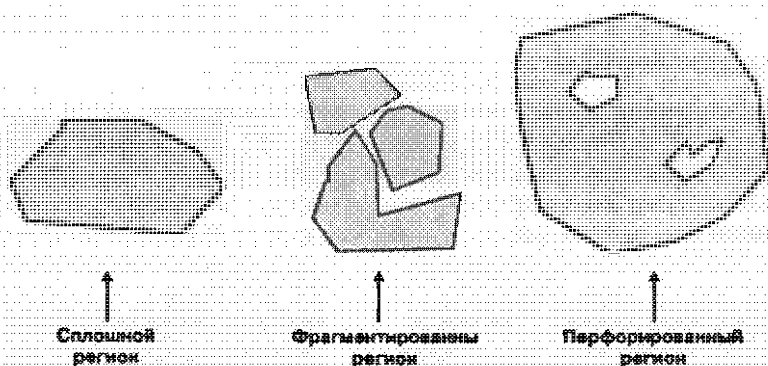


Рисунок 7.7. Виды регионов. Три основных вида регионов: сплошной, фрагментированный и перфорированный.

Для фрагментированных регионов нет ограничений на расстояние между образующими их полигонами, пока сохраняется сходство атрибутов. Перфорированный регион, в отличие от фрагментированного, не состоит из отдельных полигонов, а исключает их. То есть, такой регион представляет

собой связную область, из которой исключены некоторые внутренние полигоны, называемые отверстиями или островами. Очевидно, что между перфорированными и фрагментированными регионами может быть какая-то связь. Если полигоны, содержащиеся внутри перфорированного региона, имеют общие между собой атрибуты, то они могут образовывать регион, но уже фрагментированный.

Все рассмотренные объекты, как простые, так и более высокого порядка, должны распознаваться системой, чтобы с ними были возможны операции для дальнейшего анализа. Для каждого из них должна иметься возможность быть выделенным, отдельно затабулированным и отображенным. В векторных и растровых системах, связанных с СУБД, эти объекты чаще всего выбираются в результате поиска в таблицах атрибутов. В простых растровых системах выделение этих объектов может выполняться с помощью переклассификации (тема Главы 9). Но сперва Глава 8 проведет нас через некоторые виды измерений, которые необходимы для более серьезного анализа.

## Вопросы

1. Объясните, почему подсистема анализа ГИС нередко является наиболее неправильно используемой подсистемой, и приведите примеры, подтверждающие ваше объяснение.
2. Объясните, что мы имеем в виду, когда говорим, что коммерческие ГИС не являются полным набором средств географического анализа. В чем причина этого?
3. Если ваша профессиональная деятельность ориентирована на создание баз данных, а не на анализ, то почему вам всё-таки нужно знать об аналитических возможностях и ограничениях ГИС?
4. Почему важно иметь возможность обособлять, идентифицировать, разделять и табулировать и отображать индивидуальные элементы?
5. Опишите процесс обособления, подсчета и идентификации точечных объектов на основе их атрибутов в растровых и векторных ГИС. Почему мы должны использовать атрибуты для поиска этих объектов?
6. В чем различия в поиске точечных, линейных и площадных объектов?
7. Какие измеримые атрибуты могут использоваться для поиска линий? Областей?
8. Что такое объекты высокого уровня? Чем они отличаются от простых объектов?
9. Приведите некоторые примеры точечных, линейных и площадных объектов высокого уровня.
10. Что такое центроиды? Как их найти в векторной ГИС? Каковы

различные виды центроидов? Чем они отличаются с точки зрения поиска в векторной ГИС?

11. Что такое сети? Чем они отличаются от простых линий? Какие виды сетей существуют? Что нужно для определения сетей в ГИС в противоположность простым линиям?

12. Какова разница между направленными и ненаправленными сетями?

13. Что такое регион? Каковы сходства и различия между сплошными, фрагментированными и перфорированными регионами?

14. Приведите примеры образования сообществ группами точек, линий, областей.

## Глава 8

### Измерения

Наше путешествие в мир геоинформационного анализа только началось. Мы сделали такие же шаги, как и наши предшественники, но на существенно иной почве и с существенно отличающимися инструментами. Тем не менее, эта аналогия полезна. Мы начали путешествие с рассмотрения отдельных объектов и групп объектов. Мы подсчитали, сгруппировали их, отметили, где они находятся, чтобы иметь возможность найти их в дальнейшем. Но простые идентификация, перечисление и определение местоположения объектов обеспечиваются только лишь самой примитивной картиной нашего мира.

Как и исследователям прошлого, нам нужно знать, что за объекты, где и в каком количестве имеются, насколько они велики, как далеко от нас они расположены и каково расстояние между ними. В этой главе мы займемся измерениями параметров объектов: длин, площадей и периметров, а также рассмотрим взаимосвязи между этими мерами, такие как отношения длины к ширине и периметра к площади. Это даст нам количественные характеристики объектов, которые мы сможем использовать в анализе для сравнения объектов в пределах одного покрытия, а также между покрытиями.

Расстояния между объектами могут быть простыми, показывающими кратчайшее физическое расстояние. Но мы можем также обнаружить, что не всегда можно двигаться по кратчайшему пути. От нас может потребоваться следовать по проложенным ранее дорогам. Поэтому мы будем определять расстояние между двумя точками с учетом маршрутов, по которым вынуждены двигаться, препятствий, которых должны избегать, холмов, которые нужно преодолевать. В одних случаях мы будем определять расстояние по приросту, прибавляя к общему пройденному пути длину каждого нового этапа. В других — искать пути получше, легче проходимые места, в общем, наиболее легкие и дешевые маршруты. Эти маршруты наименьшей стоимости могут строиться между двумя точками или от одной точки ко многим другим на нашей местности, давая подсказку будущим путешественникам.

Путешествия имеют свою цену. Мы будем отмечать растущую стоимость продвижения по лесам, болотам и пересеченной местности. Мы встретим непреодолимые препятствия, такие как скалы и широкие реки. Иногда реки

могут быть пересечены вброд, и мы это отметим для последователей, то есть мы научимся различать барьеры абсолютные и относительные, позволяющие продвижение, но с трудом. И мы найдем меру относительной трудности проходимых барьеров.

Добравшись до Главы 13, посвященной картографическому моделированию, вы увидите, как простые меры длины, расстояния, площади и им подобные могут быть скомбинированы со многими другими аналитическими функциями с целью создания намного более сложных моделей, чем было бы возможно без привлечения ГИС. И для того, чтобы получать осмысленные результаты, мы должны знать, как наилучшим образом выполнять измерения.

## ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИНЫ ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ

Мы знаем, что помимо поверхностей существуют три типа объектов: точечные, линейные и площадные. Точки не имеют пространственных измерений, линии одномерны, области имеют два измерения: длину и ширину. Поскольку точки не имеют пространственной протяженности (а только значения атрибутов), они выпадают из данного рассмотрения.

Линии имеют одну меру величины — длину, если не считать значения иных атрибутов, которые могут просто выбираться из БД. Но, как мы увидим, длины линий также могут использоваться в качестве атрибутов, по которым может проводиться классификация линейных объектов. Определение длины вертикальных или горизонтальных линий в растре проводится подсчетом числа ячеек, через которые линия проходит, и умножением его на размер одной ячейки (разрешение) раstra. Если линия занимает 15 ячеек по вертикали при разрешении раstra 50 метров, то ее общая длина составит  $15 \times 50 = 750$  метров. Аналогично — для горизонтали.

Но если линия ориентирована не точно по горизонтали или вертикали, наш метод не будет точным. Например, если линия проходит точно по диагоналим ячеек, то ее длина будет очевидно больше (в данном случае в  $\sqrt{2}$  (примерно 1.414) раз), чем произведение разрешения на число ячеек. То есть, для таких линий нужно использовать разрешение раstra, умноженное на  $\sqrt{2}$ . Тем не менее, оказывается, что многие простые растровые системы только лишь подсчитывают число ячеек раstra и используют это число в качестве длины, оставляя за пользователем вычисление реальной длины. Более совершенные системы используют простую тригонометрию для определения реальной длины линии, имеющей произвольную ориентацию [Environmental Systems Research Institute, 1993].

Более сложная проблема возникает, когда мы имеем дело с извилистой (sinuous) линией, проходящей случайным образом по растру. Если для ее



кодирования используется метод присутствия/отсутствия, то вполне вероятно, что такая линия будет выглядеть как некоторое число пар, троек или больших групп ячеек растра, представляющих не прямые части линии. В таком случае может оказаться достаточным простой подсчет числа ячеек, через которые проходит линия, так как точное ее расположение внутри ячеек все равно неизвестно. На самом деле, способность ГИС выполнять тригонометрические операции при подсчете длины представляет небольшую ценность в подобных случаях, так как линейные объекты не так хорошо представляются ячейками растра, которые так или иначе дискретизируют непрерывное пространство. Иначе говоря, точное положение линейного объекта не известно для любой ячейки растра. В зависимости от разрешения растра и извилистости линии, вполне возможно, что целые петли могут быть представлены лишь одной ячейкой растра; в таком случае длина будет преуменьшена независимо от метода ее определения (Рисунок 8.1). Поэтому, если проводимый вами анализ активно использует измерение линейных объектов, то, по возможности, следует использовать векторную структуру данных.

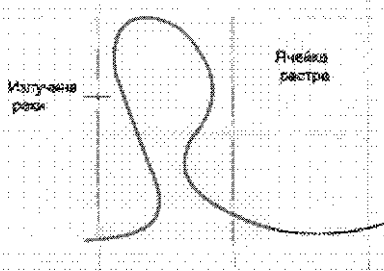


Рисунок 8.1. Линейный объект при низком разрешении. Недостатки измерения длины в растре на примере извилистой реки, целые излучины которой оказываются содержащимися в пределах одной ячейки растра.

Определение длины линейного объекта в векторной системе гораздо более точно (как и само представление линии), чем подсчет ячеек растра. Для каждого прямого отрезка из образующих линию система хранит координаты крайних точек, из которых может быть получена по теореме Пифагора длина этого отрезка. Просто сложив длины всех отрезков линии, мы получим точное значение ее общей длины. Нужно только помнить, что векторное представление линейных объектов также использует своего рода дискретизацию, когда кривые участки линии аппроксимируются прямыми отрезками, и чем больше таких отрезков используется, тем точнее

представление объекта в этой структуре данных и тем точнее будет полученное значение общей длины линии.

## ИЗМЕРЕНИЕ ПОЛИГОНОВ

Площадные объекты двухмерны, поэтому мы можем давать им больше характеристик. Мы можем, например, измерять длины короткой и длинной осей полигона, длину его границы (то есть периметр), занимаемую им площадь. Как указывалось в Главе 7, эти меры могут использоваться в качестве вычисляемых атрибутов для классификации областей по размерам. Мы можем использовать их просто для создания отдельных покрытий полигональных объектов определенных размеров, или сохранять их для дальнейшего использования.

### Линейные меры полигонов

Поскольку ориентация полигонов часто связана с природными процессами, эта характеристика может быть важна для пользователей [Muehrcke and Muehrcke, 1992]. Например, несимметричные лесные участки, ориентированные определенным образом, могут легко наблюдаться птицами, когда они пролетают сверху [Baker, 1989; Forman and Godron, 1981; LaGro, 1991; O'Neill et al., 1988]. А гляциологу, занимающемуся историей движения ледников, может потребоваться информация о том, имеют ли определенные ледниковые образования определенную ориентацию. В сущности, идея ориентации полигонов проста. Это всего лишь вопрос определения направления наиболее длинной оси объекта. Большинство растровых ГИС не имеют команд нахождения длинной оси, поэтому задача определения ориентации в них не проста.

В векторной модели данных решение состоит в определении расстояний между точками каждой пары противоположных вершин. Наибольшее расстояние соответствует большой оси полигона, а ее угловое направление определяется методами сферической тригонометрии [Robinson et al., 1995]. Аналогично, но уже как минимум, находится малая ось.

Но иногда аналитику требуется не ориентация, а соотношение между большой и малой осями. Оно даст простую меру формы, которая может использоваться, например, для выделения объектов с заданным соотношением осей. Пользователю может понадобиться обнаружение всех длинных и узких полигонов, так как они имеют определенную ландшафтную функцию. Такие объекты граничат с окружением на большем протяжении, так что полигон такого типа, являющийся озером, будет иметь большую протяженность береговой линии, что важно для застройщика прибрежной

территории. Эколога, исследующего мелких млекопитающих, могут интересовать длинные узкие участки леса рядом с сельскохозяйственными угодьями, в которых эти животные прячутся [Turner, 1991]. В любом случае очевидно, что возможность определения отношения длин короткой и длинной осей является полезной функцией ГИС.

При определении большой и малой осей полигона гораздо легче иметь дело с выпуклыми полигонами\*. Если имеются вогнутости или полигон сильно неправилен, вычисления становятся труднее для описания, а результаты — менее полезными. Один из подходов, называемый наименьшей выпуклой оболочкой (*least convex hull*), позволяет решить эту проблему, заменяя полигон как бы натянутой на него резиновой оболочкой, которая обязательно будет выпуклой. Но эти расчеты уже выходят за рамки данной книги.

## Определение периметра

Определение периметра полигона состоит в суммировании длин отрезков, составляющих его границу, которые могут быть получены с помощью теоремы Пифагора. Опять же, растровые структуры данных не очень хорошо подходят для этого, но, как и в случае с измерением расстояний, можно определить и периметр. Для этого нужно выделить все пиксели, образующие периметр (довольно часто это требует активного участия пользователя в процессе), подсчитать их количество и умножить его на разрешение раstra. Как и в случае с линиями, чем больше будет диагональных отрезков и чем сложнее граница, тем ниже точность результата.

Определение периметра — полезная функция, если требуется окружить некоторую область линейным объектом. Например, это может быть дорога вокруг озера. Зная стоимость строительства единицы длины дороги и требуемую длину, легко получить общую стоимость ее строительства. Аналогично можно выяснить необходимое количество материалов для сооружения ограждения вокруг полей фермы. В то время как сам периметр является полезной характеристикой, он часто используется в форме отношения периметра области к ее площади. Сейчас мы рассмотрим определение площадей, а затем вернемся к этому отношению.

---

\* Выпуклым называется такой полигон, который целиком лежит по одну сторону всякой прямой, содержащей одну из сторон этого полигона — *прим. перев.*

## Вычисление площадей полигональных объектов

Определение площадей полигональных объектов — функция ГИС, не менее ценная, чем определение периметра. Застройщикам нужно знать, сколько имеется еще не проданной территории для покупки. Специалисты по живой природе могут быть заинтересованы в вычислении площадей, так как животным определенных видов требуется для существования определенная территория.

В растре площадь подсчитывается простым умножением площади ячейки (а это есть разрешение в квадрате) на количество ячеек, занимаемых областью. Вопрос же определения региона рассматривался в Главе 7; для этого вам нужно выбрать все ячейки с определенным значением атрибута. При этом вы получите не только количество этих ячеек, но и их процент от общего числа ячеек покрытия. Можно выполнить и другие сравнения с использованием числа ячеек.

Если же вы хотите определить площадь лишь одного или нескольких полигонов из образующих фрагментированный регион одного атрибута, то дело несколько усложняется. В этом случае вы можете переклассифицировать нужные группы ячеек так, чтобы они получили уникальный атрибут. Как мы увидим в следующей главе, в растровых системах обычно имеются функции для отбора отдельных областей по размеру, что облегчает определение полигона, который вы хотите измерить. Если же в покрытии имеется много полигонов примерно одного размера, то вам придется делать выбор по номеру ряда и/или колонки или регистрацией по отдельности ячеек целевой области с использованием имеющихся функций редактирования. В любом случае процесс не труден, просто нужна некоторая предусмотрительность и планирование.

Определение площади простых геометрических фигур, таких как треугольник, прямоугольник, параллелограмм, трапеция, круг, эллипс, знакомо вам еще по школе. Вычисления усложняются только тогда, когда полигоны становятся очень сложными. Наиболее простое решение состоит в делении сложного полигона на несколько простых фигур, площади которых легко определяются по формулам, после чего эти числа суммируются [Clarke, 1990]. Во многих векторных ГИС площади полигонов подсчитываются при их вводе и заносятся в таблицы атрибутов, так что в дальнейшем определение площади требует только выборки соответствующего значения из БД.

Часто требуется рассмотрение отношения периметр/площадь области, которое является наиболее сжатой характеристикой формы, мерой сложности полигона. Наименьшее такое отношение из всех фигур имеет круг, в то время как вытянутые полигоны имеют большее значение этого отношения. Хотя оно может показаться бессмысленным, многие задачи,

особенно связанные с природными ресурсами, используют его. Например, чем меньше это отношение для участка леса, тем больше вероятность обнаружения в нём животных, предпочитающих внутренние области для обитания, что может быть важно для сохранения этого вида. И наоборот, если вы хотите заняться разработкой приозерной территории для туризма, то чем выше это отношение для озера, тем больше длина пляжей, которые можно предложить потенциальным покупателям участков.

## МЕРЫ ФОРМЫ

Как вы только что видели, существует тесная взаимосвязь между формой (очертаниями) и такими мерами, как периметр и площадь для полигонов и длина для линейных объектов. Во многих случаях очертания полигонов и меры извилистости линейных объектов обеспечивают понимание взаимоотношений между объектами и их окружением [Boyce and Clark, 1964; Lee and Sallee, 1970]. Например, извилистость реки связана с такими функциями, как объем переносимого осадка, уклон и расход воды (дебит). В свою очередь, эти функциональные отношения существенно связаны с состоянием реки: происходит ли налив осадка, находится ли река в состоянии баланса или деградирует. Гидрологи, геоморфологи и другие специалисты используют эти величины в общем анализе состояния региона. И, как мы видели, соотношение между периметром и площадью, как простая мера геометрии полигона, связана с функционированием антропогенных и природных объектов. Следовательно, важно иметь хотя бы общее понимание, что это за измерения, и как они могут выполняться в ГИС. В следующей главе мы увидим, как эти меры могут использоваться в переклассификации участков ландшафта.

В ГИС присутствуют лишь относительно простые меры формы, хотя в литературе описаны и более сложные из них [Moellering and Rayner, 1982]. Это опять же указывает на то, что коммерческие ГИС движимы главным образом рынком: в таких измерениях больше всего заинтересовано научное сообщество, но академические исследователи составляют относительно малую часть рынка продаж ГИС. Кроме того, в настоящее время недостаточно развита теория измерений необычных фигур. Традиционная евклидова геометрия ограничивает нас довольно коротким списком известных фигур, параметры которых исследованы и обчислены. Но уже растет интерес и к нетрадиционным видам геометрии, например, к фрактальной, использующей минимые числа для определения форм. Этот подход не типичен, так что ваш преподаватель спокойно может его проигнорировать. Всё же интересно отметить, что были предприняты по меньшей мере две крупные попытки внедрения этих мер, как и других мер

формы и взаимодействия объектов, в векторные и растровые ГИС [Baker and Cai, 1992; McGarigal and Marks, 1994]. А пока мы ограничимся простыми мерами формы, которые имеются в большинстве современных систем.

## **Измерение извилистости**

Существуют две простые меры извилистости, которые могут использоваться для характеристики линий. Первая, с которой мы уже познакомились, это отношение суммарной длины отрезков, составляющих линию, к расстоянию между ее крайними точками. Чем ближе это значение к единице, тем менее извилиста линия, для прямой линии это отношение составляет ровно единицу.

Но часто о форме кривой линии требуется знать больше. Например, очень резкие изгибы дороги с большей вероятностью могут стать причиной аварий. А острая излучина реки вызывает активную эрозию внешнего берега и нанос осадка на внутреннем берегу. По этой причине полезно знать радиус изгиба линейного объекта. Чтобы определить его, мы принимаем, что изгиб является по сути крутовым, хотя так может быть не всегда [Strahler, 1975]. Затем мы вписываем окружность в каждое закругление и измеряем ее радиус. Если река представлена полигоном, то появляется возможность измерить еще и отношение радиуса к ширине реки, которое даст еще одну полезную характеристику формы.

Как в растровых, так и в векторных системах измерение радиуса кривизны обычно требует участия оператора. Многие ГИС не имеют адекватных средств для таких измерений, но многие специальные системы позволяют проводить такие измерения средствами внешних программ, которые возвращают данные обратно в систему для дальнейшего анализа. Чаще всего пользователю приходится самому вписывать окружности, что может быть довольно утомительно. Поэтому вам нужно оценить важность таких измерений для ваших задач и способность вашей системы производить их.

## **Меры формы полигонов**

Как мы видели, имеются два основных аспекта измерения формы полигонов. Первый, на основе идеи перфорированных и фрагментированных регионов, имеет общее название пространственной целостности (spatial integrity). Вторая мера, — на основе идеи конфигурации границы, — более близкая к нашему прежнему рассмотрению отношений периметра и площади. Эта мера часто используется совместно с другими функциями, которые позволяют отделять каждый непрерывный полигон от полигонов с теми же самыми значениями атрибута. Другими словами, мы

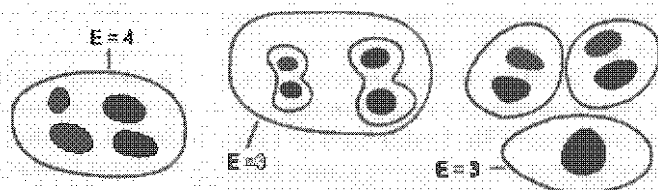
можем измерять конфигурацию границы каждого полигона отдельно от остальной части возможно фрагментированного региона, а не просто отмечать размер всего региона, составленного из нескольких отдельных полигонов.

Наиболее распространенной мерой пространственной целостности является функция Эйлера [Berry, 1993]. Одни виды, например, птицы, предпочитают большие непрерывные области определенного типа ландшафта, в то время как другие, такие как олени, ищут большие участки леса, перемежающиеся с меньшими участками лугов или других типов ландшафта. Участок леса, который не имеет разрывов, называется непрерывным; если он полностью окружает меньшие полигоны, то называется перфорированным; если он полностью отделен от аналогичных участков участками другого типа, тогда мы называем его фрагментированным. Функция Эйлера представляет численное выражение степени фрагментированности и перфорированности. Рассмотрим ее идею.

На рисунке 8.2 изображены три возможные конфигурации полигонов. Функция Эйлера сопоставляет с каждой из них одно число, называемое числом Эйлера (Euler number), которое определяется так:

$$E = H - (F - 1),$$

где  $E$  — число Эйлера,  $H$  — суммарное количество отверстий во всех полигонах региона,  $F$  — количество полигонов во фрагментированном регионе.



**Рисунок 8.2. Примеры чисел Эйлера.** Три различные конфигурации и связанные с ними числа Эйлера: а) четыре отверстия в одном сплошном регионе:  $4 + (1 - 1) = 4$ ; б) два фрагмента, по два отверстия в каждом:  $4 - (2 - 1) = 3$ ; в) три фрагмента, два с двумя отверстиями каждый и третий — с одним:  $5 - (3 - 1) = 3$ . Заметьте, что во втором и третьем случаях число Эйлера одно и то же, несмотря на то, что конфигурации различны.

Как следует из совпадения значений числа Эйлера для разных конфигураций, приведенных на Рисунках 8.2а и 8.2б, нужно осмысленно подходить к объяснению результатов. Вы можете рассмотреть и другие конфигурации, в том числе дающие отрицательные значения числа Эйлера (например, область из трех фрагментов без отверстий:  $E = 0 - (3 - 1) = -2$ ). В Таблице 8.1 приведены некоторые конфигурации с соответствующими

значениями числа Эйлера, из которой вы можете увидеть соотношения параметров, дающие одинаковые значения числа Эйлера.

Таблица 8.1. Числа Эйлера для различных комбинаций количеств отверстий (H) и фрагментов (F).\*

H	F								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7
2	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6
3	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5
4	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4
5	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3
6	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2
7	7	6	5	4	3	2	1	0	-1
8	8	7	6	5	4	3	2	1	0
9	9	8	7	6	5	4	3	2	1

Вторая группа мер полигонов, относящихся к их границам, довольно многочисленна. Встречаются меры на основе отношения осей, на основе только периметра, на основе только площадей, на основе соотношений периметра и площади, площади и длин осей, а также другие, измеряющие, например, округлость сторон. Формулы для них вы можете найти в пятой главе одной хорошей книги по использованию математических методов в геологии [Davis, 1986], когда достаточно разовьется ваш интерес к анализу форм, и вы будете иметь достаточный опыт в геоинформатике для их использования. Одни специальные меры имеются в коммерческих ГИС, другие — в геостатистических программах или в составе дополнительных модулей коммерческих ГИС [Baker and Cai, 1992; McGarigal and Marks, 1994].

Большинство этих мер связано с отношением периметра к площади. На самом деле, само это отношение может рассматриваться как мера полигональной формы. Однако, оно не описывает реальную геометрическую форму объекта. Вместо простого отношения было бы неплохо иметь некоторую более “формообразную” меру. Для этого мы чаще всего сравниваем имеющиеся полигональные фигуры с более знакомыми фигурами, которые можем легко описать [Muehrcke and Muehrcke, 1992]. Например, мы могли бы сравнивать их с параллелограммами, трапециями и треугольниками. Но даже эти фигуры очень разнообразны, в то время как круг является наиболее простой, компактной и легко определяемой фигурой. По этой причине основным методом измерения формы является сравнение ее с кругом.

\* Отметим количество конфигураций с одним числом Эйлера. Обратите также внимание на отражение с противоположным знаком чисел таблицы относительно главной диагонали.



В связи с использованием круга как сравнительной фигуры, мы можем говорить, что эта мера является также и мерой выпуклости или вогнутости (convexity or concavity) полигона. Круг является наиболее выпуклой фигурой, вот почему мы используем его для измерения формы других объектов. Как известно, все другие геометрические фигуры имеют большую длину периметра при том же значении площади. Сравнение имеющегося многоугольника с кругом, по сути, — то же, что рассмотрение величины выпуклости этого полигона по сравнению с выпуклостью круга. Общая формула выпуклости в векторных ГИС такова:

$$CI = k P/A,$$

где:  $CI$  — индекс выпуклости,  $k$  — некоторая константа,  $P$  — периметр,  $A$  — площадь.

Здесь мы имеем отношение периметра к площади, умноженное на некоторую константу. Эта константа определяется размером круга, вписанного вокруг многоугольника, так что индекс принимает значения в диапазоне 1...99, причем большее значение соответствует большему сходству с кругом, а 100 получается, если мы возьмем идеальный круг.

В растре формула основана на той же идее, но здесь площадь определяется как количество клеток, а квадратный корень из нее используется для получения того же диапазона 1...99 значений сходства. При этом надо помнить, что в растре мы физически не можем иметь идеальный круг. Формула определения выпуклости в растре такова:

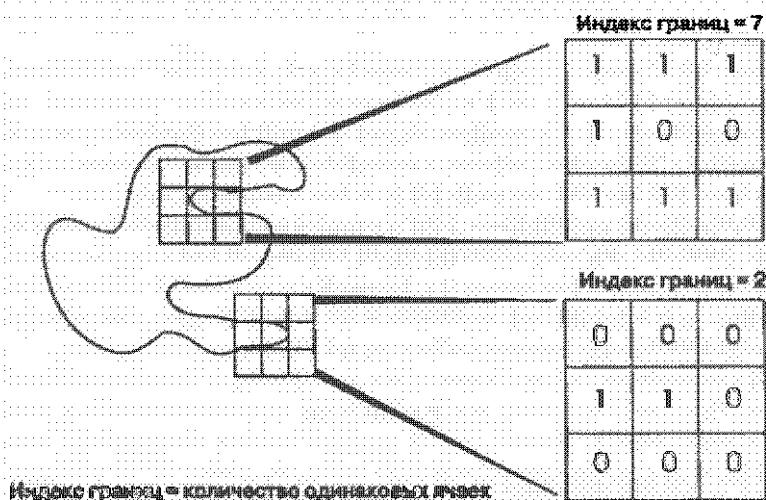
$$CI = P / \sqrt{N}$$

где:  $CI$  — индекс выпуклости,  $P$  — периметр,  $N$  — площадь в растровом формате.

Вернемся к вопросу о том, для чего же нужна мера выпуклости. Задайте себе такой вопрос: почему американские колонисты, атакуемые индейцами, устраивали повозки в круг? Почему не в квадрат, треугольник или как-нибудь еще? Ответ состоит в том, что при заданной площади круг имеет наименьший периметр из всех фигур. Многие существа, в том числе и человек, ценят защитный характер круга, с его более легко обороняемым периметром. Хотя есть и такие, как, например, некоторые мелкие грызуны, которые любят края. Они используют эти края для вылазок на открытые пространства полей, оставаясь при этом вблизи леса для бегства и укрытия.

Имеется еще одна мера конфигурации границ, называемая развитостью границы (edginess) [Berry, 1993], которая использует краевой фильтр. Фильтры (см. Главу 9), используемые для оценки или изменения растровых

изображений, являются матрицами коэффициентов, которые применяются к ячейкам растра, находящимся в "окне" под матрицей. После выполнения операции с одной группой ячеек, матрица смещается на одну ячейку в сторону и операция повторяется, что дало название *скользящее окно* (moving window). В дистанционном зондировании фильтры используются для двух основных задач — подчеркивания деталей (sharpening) и сглаживания (smoothing). Фильтры первого типа подчеркивают линии и края областей, второго — наоборот, ослабляют резкие переходы между значениями соседних ячеек растра. Хотя эти приложения фильтров больше ассоциируются с классификацией, мы рассматриваем их здесь как средства оценки конфигурации границ.



**Рисунок 8.3.** Развитие границ в растре. Использование скользящего окна для определения индекса границ.

Возьмем окно размером 3х3 ячейки, наложенное в двух местах границы области (Рисунок 8.3). Каждой ячейке матрицы мы присваиваем единицу, если она имеет тот же атрибут, что и край, который нас интересует, и ноль, если она имеет атрибуты любого другого объекта покрытия. Индекс границ получается простым подсчетом числа ячеек с единицами, т.е. таких, которые имеют то же значение атрибута, что и наш полигон. Чем больше единиц, тем меньше границ и тем больше внутренней области мы имеем. Поэтому, значение 7 на Рисунке 8.3 указывает на малую развитость границы. Значение

соответствует внутренней области полигона, где все ячейки раstra соединены и вообще нет границ. И наоборот, значение 2 на Рисунке 8.3 указывает, что только небольшое число нужных ячеек раstra имеется в окне, а остальные относятся к фону. Оно указывает на небольшой узкий выступ в окружение. Иначе говоря, во втором случае окно покрывает большое количество краев.

## ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ

Измерения форм сейчас становятся все более важными в географическом анализе, в частности, благодаря растущему пониманию связей между формами и функциями ландшафтов. В то же время, существует устоявшийся интерес к измерению расстояний. Измерение расстояний между объектами важно не только для дальнейшего анализа отношений между ними, но и как непосредственная оценка движения к ним, от них и вокруг них. Как вы видите, расстояние может измеряться довольно просто — как физическое расстояние между двумя точками. Но кроме того, измерение расстояния может учитывать стоимость продвижения по пересеченной местности или по дорожной сети в противоположность движения напрямую, или в обход барьеров, которые препятствуют движению. Эти меры называются функциональными расстояниями (functional distance).

### Простое расстояние

Как мы уже видели, определение простого расстояния, известного также как евклидово расстояние, относительно просто и в растровых, и в векторных ИС. В растровых системах расстояние измеряется количеством ячеек между точками, которое может преобразовываться в стандартные единицы умножением на величину разрешения раstra. Расстояния по диагонали определяются по теореме Пифагора. Кроме такого способа определения расстояния между точками существует и другой, при котором заранее просчитываются расстояния от определенной точки до всех других возможных точек покрытия. В растре это делается созданием набора концентрических окружностей с центром в заданной точке, каждая последующая из которых имеет радиус на одну ячейку больше. В результате образуется изотропная поверхность (isotropic surface), поскольку она одинакова по всем направлениям (Рисунок 8.4а). В трехмерном пространстве она может изображаться как конус, центр основания которого находится в выбранной точке. Карта изотропной поверхности является по сути картой путешествий из заданной точки ко всем другим объектам базы данных. Такая карта имеет тот же эффект, что и полная карта дорог, показывающая

расстояния путешествия по всем направлениям от заданной начальной точки. Ее преимущество очевидно, когда нам требуется выполнить множество измерений расстояния от одной точки, — они уже содержатся в изотропной поверхности. В дальнейшем мы увидим, как мы должны модифицировать изотропную поверхность для учета различий на поверхности и существования барьеров.

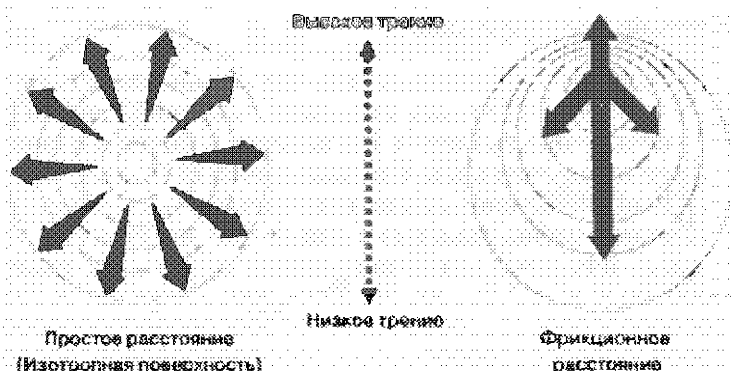


Рисунок 8.4. Простое и функциональное расстояние. а) Отсчет простого расстояния от центральной точки создаст изотропную поверхность. б) Изменение изотропной поверхности из-за сопротивления при передвижении.

Есть также вариант этого метода, в котором расстояния отмеряются не от точки, а от полигона. Например, это могут быть расстояния от границы города. В результате мы опять имеем карту путешествий ко всем точкам покрытия вне города от его границы.

Как уже говорилось, в векторном покрытии расстояние между двумя точками определяется по теореме Пифагора, а общей длиной многосегментной линии является сумма длин составляющих ее отрезков. Поскольку векторные структуры данных не определяют явным образом содержимое пространства в промежутках между введенными объектами, в этих промежутках не могут выполняться и расчеты.

Указанное ограничение также относится и к созданию изотропных поверхностей. Для выполнения таких расчетов требуется другая структура векторных данных, специально созданная для моделирования поверхностей. Наиболее распространенной такой структурой является упомянутая в Главе 4 нерегулярная триангуляционная сеть (TIN), которую мы рассмотрим более подробно в Главе 10. В этой модели могут определяться расстояния, но со значительными вычислительными затратами. Пользователи ГИС,

работающие с моделями поверхностей, чаще всего полагаются на растровые системы, особенно тогда, когда требуется измерять расстояния на поверхностях.

## Функциональное расстояние

Хотя евклидово расстояние полезно, нашу способность двигаться по прямой часто ограничивают препятствия или сложная местность. Например, мы можем быть ограничены либо использованием сетей, таких как авто- и железные дороги, либо потому, что местность слишком пересеченная, образуя **фрикционную поверхность** (*friction surface*), либо из-за ограждений, окружающих промежуточное пространство, которые действуют как **барьеры** (*barriers*) на нашем пути\*. Фрикционные поверхности — это области, которые замедляют наше продвижение, увеличивая время достижения заданной точки по сравнению с поверхностью без сопротивления (Рисунок 8.4). Барьеры бывают двух типов (Рисунок 8.5): **абсолютные** (*absolute*), движение через которые невозможно (скалы, огражденная территория, озеро и т.д.), и **условные** (*relative*), которые идентичны фрикционным поверхностям, но занимают лишь небольшие участки покрытия. Примерами условных барьеров могут быть холмистая местность, мелкие реки, преодолимые внедорожными машинами, или участки леса, которые тормозят, но не останавливают полностью движение стада животных.

Абсолютные барьеры останавливают или отклоняют движение, в то время как относительные барьеры и фрикционные поверхности налагают некоторую стоимость на передвижение, замедляя его или требуя большего расхода энергии.

При движении по изотропной поверхности без барьеров, ГИС просто добавляет одну ячейку растра на единицу пути, и результирующая поверхность функциональных расстояний будет подобна (с разницей лишь в абсолютных значениях) поверхности простых геометрических расстояний. При этом не важно, насколько большое или малое значение импеданса (*impedance*), или сопротивления, приходится на единицу пути.

Представьте себе движение по растру слева направо вдоль строки пикселей. Допустим также, что мы хотим разместить условный барьер от верха до низа карты перпендикулярно этому направлению движения. Мы можем сделать это, приписав пикселям, выстроенным в вертикальную линию, значение импеданса, равное не единице, а, скажем, пяти. Тогда, двигаясь слева направо, до барьера мы испытываем сопротивление в одну

\* Автор недостаточно ясно проводит различие типов поверхностей. Поверхность может быть изотропной, т.е. с одинаковыми свойствами независимо от направления движения по ней, и анизотропной (при этом на ней не обязательно должны быть барьеры). Фрикционная поверхность создает сопротивление, при этом она может быть и изотропной. — *прим. перев.*

единицу на каждую проходимую ячейку раstra. Подойдя же к барьеру, мы должны приложить в пять раз больше усилий (выражаемых количеством бензина, времени, или потерей скорости движения) на преодоление только одной ячейки, принадлежащей барьеру, чтобы попасть за него. То есть, если до барьера график затрат выглядел бы как наклонная прямая линия, то в месте барьера на этом графике появится вертикальный скачок. Такой барьер называется относительным (или условным), так как он может быть преодолен при приложении дополнительных усилий.

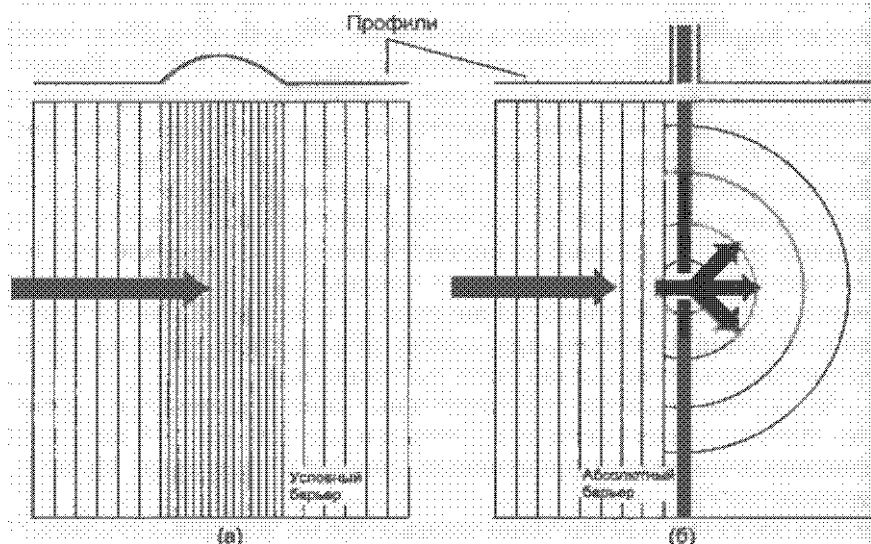


Рисунок 8.5. Условные и абсолютные барьеры. Условные барьеры (а) имеют определенную стоимость их преодоления. Абсолютные барьеры (б) либо полностью останавливают движение, либо отклоняют его к какой-нибудь доступной проходимой точке.

Условный барьер может быть не только тонкой линией, но и площадным объектом. Конкретное значение импеданса может быть связано как с фактом полного прохождения такой области, так и с фактом проникновения внутрь нее на единичное расстояние. В первом случае обычно говорят о барьере, а во втором - о распределенном импедансе, о райнировании территории по величине затрат на передвижение, о поверхности, представляющей функцию затрат. Возможен также предельный случай, когда значение импеданса будет разным в каждой ячейке раstra. И даже более того - значение импеданса

даже в одной ячейке может быть различным при передвижении через нее по разным направлениям. Например, оно может зависеть от направления ветра или от ориентации снежных застругов в тундре.

Абсолютный барьер можно представить себе как некоторое продолжение идеи условного барьера. Для линейного объекта мы просто присвоить ему значение импеданса, непреодолимое в рамках решаемой задачи. На Рисунке 8.6 ячейкам барьера приписано значение импеданса 1000, которое считается непреодолимым, и, следовательно, делает барьер абсолютным. В других случаях этого значения может оказаться недостаточно, поэтому вы должны сами решать, какое значение использовать для вашей конкретной задачи.

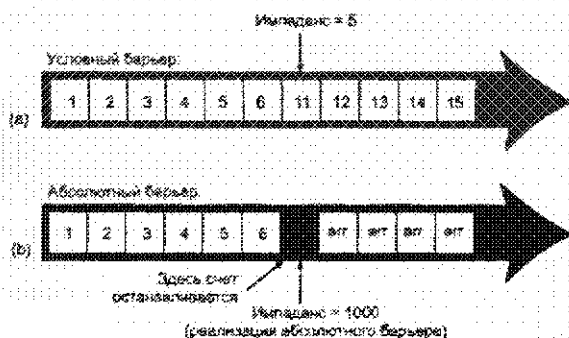


Рисунок 8.6. Импеданс. Нарастающие значения стоимости передвижения при встрече с условным барьером (а) и абсолютным барьером (б).

Хотя сама идея присвоения значений импеданса — проста, использование ее часто вызывает трудности. Каково сопротивление леса для стада оленей, вынужденного через него? Насколько больше бензина тратит автомобиль на подъеме в 15% по сравнению с горизонтальным движением? Насколько дольше крупное млекопитающее переплывает реку шириной 100 метров по сравнению с переходом по мосту такой же длины? Это вполне реальные вопросы, которые должны получать ответы перед тем, как мы создадим наши барьеры и фрикционные поверхности. Чаще всего конкретного ответа не просто нет, а он еще и зависит от таких трудноопределимых параметров, как подвижность оленей, КПД автомобиля или плавательных способностей собор. Другими словами, чаще всего у нас нет точных значений сопротивления. Обычно мы прибегаем к употреблению порядковой ранжирующей системы для присваивания величин импеданса, основываясь на сравнении относительной трудности движения по каждой встречающейся фрикционной поверхности или через барьеры. Это не всегда легко, а

результаты не так точны, как нам хотелось бы. В установке этих величин рекомендуется действовать с осторожностью, убедившись, что использованная система достаточно обоснована, и что сравнения допустимы. Прежде всего, результаты анализа расстояний с использованием барьеров и фрикционных поверхностей должны рассматриваться с определенной критичностью, особенно если эти результаты используются для принятия каких-либо решений.

Перед тем, как приступить к растровым подходам для неевклидовых и функциональных расстояний, мы должны рассмотреть две дополнительные характеристики расстояний. Расстояние может рассматриваться не только как евклидово или неевклидово, изотропное или функциональное, но также и как инкрементное, или нарастающее расстояние (incremental or cumulative distance). Инкрементное расстояние складывается из длин этапов пройденного пути. Каждый последующий этап добавляется просто как мера длины, наподобие того, как это делалось с изотропной поверхностью. Другими словами, инкрементное расстояние — это кратчайший путь между двумя точками без учета сопротивления в пути. Если инкрементное расстояние измеряется по всей поверхности, то в результате мы получаем поверхность кратчайших расстояний (shortest path surface), если же этот метод ограничивается линиями или дугами (или линейными группами ячеек растра), то мы имеем дело с линиями кратчайших расстояний, а не с поверхностью.

Целью определения функционального расстояния на поверхности с сопротивлением (например, топографической) является поиск маршрута наименьшей стоимости (least-cost distance), или кратчайшего расстояния между двумя точками покрытия\*. Аналогично мы можем построить и поверхность наименьшей стоимости для перемещения из одной точки во все другие точки покрытия. Рассмотрим два этих случая по отдельности.

Допустим, что мы имеем дело с реальной топографической поверхностью, и стоимость связана с изменением значения высоты от ячейки к ячейке. Мы могли бы поместить каплю воды на вершину нашей поверхности и проследить ее движение, которое будет путем наименьшего сопротивления. Между прочим, многие программы используют в качестве команд такие слова как "drain" (сток) или "stream" (поток, река). Для создания маршрута наименьшей стоимости (в противоположность кратчайшему маршруту) на растре размером 5х5 мы начинаем с верхней ячейки и ищем среди восьми соседей ячейку с наименьшим значением импеданса (в данном случае — с наименьшим значением высоты). Эта ячейка помечается флажком и становится начальной точкой для следующей итерации. Процесс

\* В реальных задачах обычно учитываются стоимостные показатели нескольких покрытий, которые с помощью весовой функции сводятся к некоторому общему стоимостному покрытию. О построении таких поверхностей см. пример в Главе 13. — *прим. перев.*



продолжается, пока не будет достигнута наименьшая высота покрытия. Таким образом, из отмеченных ячеек мы получаем маршрут от вершины холма к подножию, который требует наименьшее количество усилий (Рисунок 8.7а). Более реалистичная версия такого поиска приведена на Рисунок 8.7б.

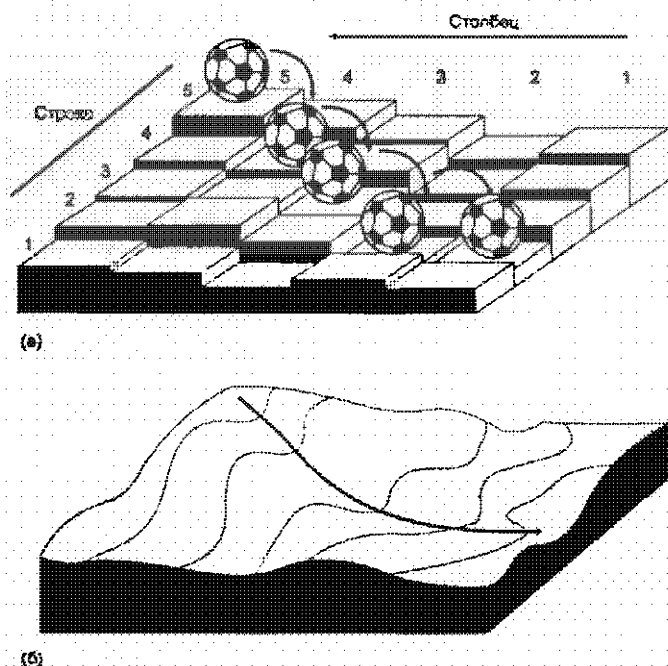
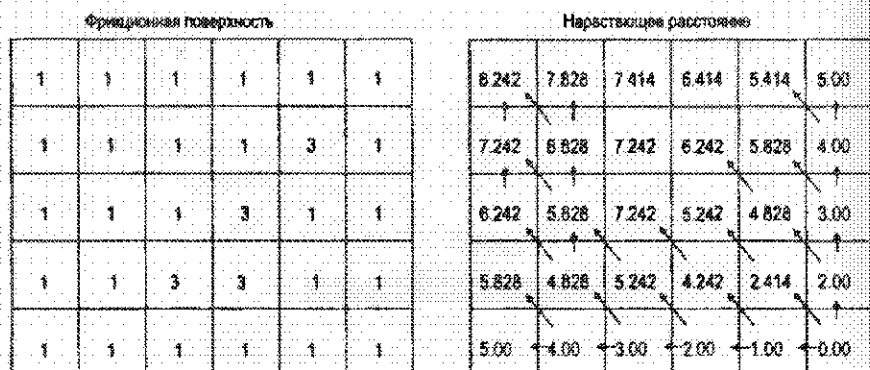


Рисунок 8.7. Маршрут наименьшей стоимости. Определение маршрута наименьшей стоимости требует сравнения начальной ячейки с ее непосредственными соседями: а) пример с футбольным мячом; б) то же в случае реки, текущей по склону холма.

Хотя одного маршрута наименьшей стоимости часто достаточно, может оказаться полезным просмотреть все возможные маршруты из определенного места с учетом стоимости передвижения по фрикционной поверхности. Посмотрите на Рисунок 8.8.

Здесь мы имеем две сетки растра: первая — это массив значений импеданса, вторая — вычисленные значения нарастающего расстояния с

учетом импеданса. Процесс вычисления немного сложнее, чем только что рассмотренный поиск кратчайшего маршрута. Здесь программа не просто ищет наименьшее значение, но вычисляет значение для каждой смежной ячейки с учетом как эвклидова расстояния, так и значения импеданса. При необходимости могут вычисляться и диагональные расстояния между ячейками.



Нарастающее расстояние = предыдущее (функциональное) расстояние +  
+ следующее (функциональное) расстояние ...

Рисунок 8.8. Нарастающее расстояние. Поверхность нарастающей стоимости: а) фрикционное покрытие, б) вычисленные значения. Отметим, что диагональные ячейки используют значение 1.414 в качестве расстояния вместо 1 для горизонтальных и вертикальных. Выделены ячейки со значением импеданса 3. Для накопления расстояния предыдущее значение складывается с вычисленным.

Процесс начинается в ячейке (0,0). Для каждой соседней ячейки расстояние считается инкрементами по полшага умножением каждой занятой ячейки раstra (включая начальную) на ее значение сопротивления и на значение ее ширины (1 для горизонтальных и вертикальных ячеек и 1.414 — для диагональных). Поскольку мы движемся из середины начальной ячейки к середине следующей, мы умножаем каждую на 0.5, чтобы показать инкремент в полшага. Таким образом, формула для каждого шага на половину ячейки раstra такова [Betty, 1993]:

0.5 (расстояние по сетке × коэффициент трения).

Затем мы должны прибавить это к накопленной величине сопротивления. Так, для движения из ячейки (6,6) к ячейкам (5,5), (4,4) и (5,6) вычисления

Рядовы:

5,5	0.5 (1.414 x 1.00)	=	0.707
	0.5 (1.414 x 1.00)	=	<u>0.707</u>
	Вместе	=	1.414
	+ Предыдущее значение	=	0
	Итого	=	1.414
4,4	0.5 (1.414 x 1.00)	=	0.707
	0.5 (1.414 x 3.00)	=	<u>2.121</u>
	Вместе	=	2.828
	+ Предыдущее значение	=	1.414
	Итого	=	4.242
5,6	0.5 (1.000 x 1.00)	=	0.500
	0.5 (1.000 x 1.00)	=	<u>0.500</u>
	Вместе	=	1.000
	+ Предыдущее значение	=	0
	Итого	=	1.000

Следующий шаг — выбор наименьшего накопленного расстояния для каждой прилежащей ячейки. Затем процесс повторяется. Расстояния с сопротивлением на всех шагах складываются вместе для получения нарастающего итога. Как видите, процесс довольно утомителен, — вот почему мы используем компьютеры. В результате мы получаем поверхность наименьшей стоимости, а не один маршрут, и мы можем выбрать маршрут наименьшей стоимости из любой и в любую точку покрытия. Это делается просто выбором смежных ячеек с наименьшими значениями стоимости.

В случае векторных координат, описывающих точечные, линейные и площадные объекты, для определения расстояний может использоваться серия модификаций стандартной теоремы Пифагора. Вначале вспомним исходную формулу для эвклидова или прямолинейного расстояния между двумя точками:

$$d_e = \sqrt{(X_i - X)^2 + (Y_i - Y)^2}$$

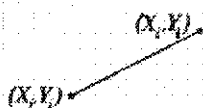
Однако, если мы не можем двигаться по прямой, т.е. имеется некоторое препятствие, вынуждающее нас отклоняться от прямой, то мы можем обобщить эту формулу в неэвклидову форму:

$$d_e = [(X_i - X)^4 + (Y_i - Y)^4]^{1/4}$$

где степень 2 заменяется на  $k$  (соответственно корень будет не второй, а  $k$ -й степени), — некоторое из диапазона возможных значений [McGrew and Monge, 1993].

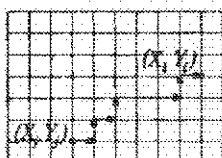
Нетрудно заметить, что подстановка  $k = 2$  превращает эту формулу в предшествующую формулу для расстояния по прямой.

#### Евклидово расстояние

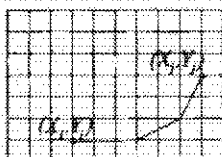


$$d = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2}$$

#### Манхэттенское расстояние



$$d = |X_i - X_j| + |Y_i - Y_j|$$



$$d = |(X_i - X_j)^{0.6} + (Y_i - Y_j)^{0.6}|^{1/0.6}$$

Рисунок 8.9. Измерение расстояния в векторной модели данных. Два способа определения неевклидова расстояния, каждый является модификацией формулы теоремы Пифагора, причем в формуле меняется только параметр  $k$ .

Допустим, например, что мы ищем расстояние между двумя точками в Манхэттене, где десятки высоких зданий и кварталы ограничивают наше движение отрезками под прямым углом друг к другу. В этом случае мы имеем значительные ограничения движения, и переменная  $k$  принимает значение 1, а формула расстояния принимает вид:

$$d_1 = |X_i - X_j| + |Y_i - Y_j|$$

Как видите, любое расстояние в векторной БД может быть определено простым изменением параметра  $k$  в соответствии с имеющимися условиями (Рисунок 8.9). Значение  $k = 1.5$  соответствует случаю где-то между манхэттенским и евклидовым расстоянием. Даже фрикционные

поверхности могут оцениваться с помощью этой формулы. Например,  $k = 0.6$  позволяет нам найти кратчайшее расстояние вокруг некоторого барьера, такого как озеро.

Мы можем определять кратчайшие маршруты и маршруты наименьшей стоимости с учетом импеданса и барьеров также и в случае движения по сетям. Однако, этот вопрос относится скорее к связности, чем к измерению расстояний, так что мы рассмотрим его в Главе 11.

## Вопросы

1. Опишите простейший из возможных методов измерения линии в растре. Как полученный таким образом результат может быть преобразован в реальную меру длины при горизонтальном или вертикальном расположении ячеек раstra? Что делать, если они расположены диагонально?

2. Каковы возможные проблемы при измерении длины в растре, особенно с учетом того, как ячейки раstra представляют линейные объекты?

3. Как измерить длину извилистого линейного объекта в векторной системе? Как соотносится длина оцифрованной линии в векторной системе с длиной этой линии при ее измерении на местности?

4. Для чего измеряются большая и малая оси полигона?

5. Почему важно отношение между периметром и площадью полигона? Как различия в этом отношении могут быть значимы в естественной среде? Как — в антропогенной?

6. Как измеряется периметр полигона в векторной модели? Как — в растровой?

7. Как измеряется площадь полигона в векторной модели? Как — в растровой?

8. Зная о связи между формой объектов и их функцией, почему в ГИС имеется так мало рабочих методов анализа формы?

9. Опишите два метода измерения извилистости линейных объектов. Приведите два примера таких мер, которые могли бы быть полезны для пользователя ГИС.

10. Что такое пространственная целостность? Как мы можем ее измерить? Почему число Эйлера не определяется однозначно количеством отверстий и числом областей региона?

11. Опишите, как может быть измерена конфигурация границы полигона. Что такое мера выпуклости? Почему круг наиболее часто используется для сравнения с ним полигональных фигур?

12. Как может использоваться скользящее окно для определения меры конфигурации границы полигона в растре?

13. Как измеряется расстояние от некоторой точки ко всем другим точкам покрытия в растре? Что такое изотропная поверхность, и каково ее значение?

14. Что такое фрикционная поверхность? Барьер? Каковы два типа барьеров? Какая связь существует между условным барьером и фрикционной поверхностью?

15. Опишите простой растровый метод измерения расстояния на фрикционной поверхности.

16. Какова разница между инкрементным и нарастающим расстоянием? Как мы можем определить путь наименьшего сопротивления (наилучший путь) по растровому покрытию? Каков более точный метод измерения нарастающего расстояния (поверхности наилучшего пути) в растровой ГИС по сравнению с простым сложением значений сопротивления?

17. Как мы можем модифицировать теорему Пифагора для учета движения вдоль городских кварталов, вокруг барьеров и по фрикционным поверхностям в векторной системе?

18. Каковы потенциальные проблемы выбора значений импеданса для моделирования расстояния?

### Классификация

Классификация наземных объектов — старая проблема. Она привлекала умы ученых разных направлений, каждый из которых смотрел на Землю своими глазами, используя свой лексикон и свой интеллектуальный фильтр. Хотя идея классификации разбросанных по поверхности Земли объектов кажется довольно простой, практические аспекты этой задачи далеки от полной очевидности. То, как мы классифицируем то, что видим, получит отображение в том, как мы анализируем данные, и что означают наши выводы. На самом деле, то, как мы классифицируем данные, может даже предопределять, какие выводы мы получим. К этому процессу нельзя относиться беспечно, так как плохая классификация может сбить нас с пути.

Давайте посмотрим назад, в начало 19-го века, когда путешественники, блуждавшие по местам, где теперь находятся центральные штаты США, классифицировали луга центральных равнин. Термин, который они использовали, был “Великая американская пустыня”. Слово “пустыня” предполагает, что эти области не пригодны для земледелия.

Однако мы знаем, что в действительности это была прерия (степь), а не пустыня, и ее производство зерна снискало ей звание “мировой хлебной корзины”. Вот — два совершенно разных взгляда.

Более современный пример также показывает, как неправильная классификация может сбить с толку тех, кто принимает решения. Допустим, в нашем распоряжении есть ГИС, созданная первопроходцем в этой области. Среди многих тематических покрытий имеется одно под названием “тип ландшафта”, в котором присутствует категория под названием “мокрые земли” (болота) (wetlands). Вроде, нет проблем — мокрые, так мокрые\*. Но перед тем как двигаться дальше, давайте рассмотрим следующие вопросы и утверждения. Допустим, у вас есть большой приусадебный участок, в полгектара (5000 кв.м). Вы только что его полили, и теперь на нем имеются участки стоячей воды. Это мокрые земли? Или мокрые земли это противоположность плоскогорья (uplands)? Некоторые признанные системы

\* В русском языке нет эквивалента слову wetlands, обычный перевод “болото” или “топь” которым больше соответствуют swamp и marsh — весьма приблизительно. Но даже у тех, для кого английский язык — родной, есть сложности с точным определением этого термина, что указывает приводимый автором пример. — *прим. перев.*

классификации скажут, что — да. Насколько большей должна быть увлажненная область, чтобы мы назвали ее мокрыми землями? Или мокрые земли это там, где обитают водные (водоплавающие) птицы? А что, если они появляются только в периоды миграции при смене времен года?

Все эти вопросы показывают, что то, как мы классифицируем вещи, имеет много общего с тем, как мы на них смотрим, при каком разрешении или масштабе, и как мы используем данные впоследствии. Способ классификации влияет и на выбор средств наблюдения — наземных, воздушных, космических. Классификации могут быть простыми, на основе одного критерия, такого как тип ландшафта, или сложными, на основе многих критериев (высота, количество осадков, экологическое функционирование и т.д.). Некоторые классификации могут создаваться комбинированием многих параметров разных покрытий. Способы классификации одного набора покрытий могут полностью меняться в зависимости от тех вопросов, которые мы хотим выяснить.

В этой главе вы познакомитесь с задачей классификации земли, которая часто интересовала ученых, исследующих природу. Мы рассмотрим вкратце некоторые системы классификации и некоторые базовые методы классификации, которые могут использоваться в ГИС. Наконец, мы увидим, как сами классификации могут быть разложены на составные части или объединены с данными других покрытий для переклассификации того, что мы имели вначале.

Число возможных методов классификации и переклассификации бесконечно. Все они сильно зависят от потребностей пользователя, как и работа всей ГИС в целом. Не закливайтесь на самих классификациях; сейчас аргументы в пользу одной системы перед другой вам, как новичку в ГИС, не важны. Лучше потратьте время на общие методы классификации и вопросы производительности. Это позволит вам в дальнейшем приспособиться к любой среде и любой задаче.

## ПРИНЦИПЫ КЛАССИФИКАЦИИ

Классификация — одна из самых естественных вещей, которые делают люди. Даже самые заурядные вещи подвергаются классификации. Мы носим одежду различных типов, водим машины разных марок, имеем различные категории занятости. Мы мужчины или женщины, члены той или другой политической партии или независимые, взрослые, подростки или дети, и т.д. Используемые нами классификации приводят людей, места и вещи в некоторую систему, которая дает нам понимание того, как они функционируют: подобно другим членам своих групп и отлично от членов других групп или классификаций. В этом — суть классификации.



Свойство людей создавать классификации давно распространяется на анализ природных образований на земной поверхности. Многовековая история картографии показывает, как люди группировали природные образования по физическому типу (суша и воды), политическим подразделениям (государства), присутствию людей (обитаемые и необитаемые). Веками эти классификации помещались на карты без теоретического обоснования того, как они должны организовываться, и учета влияния, которое они могут иметь на принимаемые решения. Проблемы классификации были подробно исследованы лишь тогда, когда была признана важность классификации содержимого карт как средства принятия решений и научного инструмента [Saueg, 1921]. Хотя интерес к влиянию классификации территорий начал распространяться в начале 1900-х годов среди организаций, управляющих природными ресурсами и землеустройством, потребность в них возрастала параллельно с развитием других технологий — спутникового ДЗ, компьютерной картографии, ГИС. Благодаря способности этих систем поддерживать и обрабатывать большие объемы пространственной информации, пришло время созревания интереса к лучшему классифицированию участков земной поверхности. Сейчас, как и тогда, важно, чтобы, иногда банальная, задача классификации не принималась на веру, а рассматривалась в меру скептически из-за потенциальных ограничений, которые накладываются классифицирующими фильтрами на наши интерпретации и решения.

Классификация зависит от типов объектов, которые мы собираемся группировать. Существуют отдельные классификации для растительности [Kuchler, 1956], почв [Soil Survey Staff, 1975], геологических формаций и увлажненных земель [Cowardin et al., 1979; Klemas, et al., 1993], сельского хозяйства, землепользования и типов ландшафта [Anderson et al., 1976; U.S. Geological Survey, 1992]. Эти классификации могут быть простыми, как классификация растительности на основе только видов растений, или они могут быть более функциональными, как картографирование экосистем, а не одной только растительности [U.S. Department of Agriculture, 1993; Walter and Vox, 1976]. Варианты классификации диктуются масштабом, когда, например, растительность отображается не для малых регионов, а для целой Земли [UNESCO, 1973]. Или, система может быть целиком ориентирована на полномочия определенной организации [Klemas et al., 1993; Wilen, 1990]. Другие случаи классификации определяются больше техникой, используемой для получения исходных данных, такой как спутниковое ДЗ [Anderson et al., 1976]. Бывают и такие, которые адресованы известным или предполагаемым взаимодействиям факторов, как показывает пример карт физико-биологических комплексов, анализа потенциала земли или ее пригодности для конкретных целей; эти классификации довольно похожи,

но отражают тонкие различия в том, как классификация должна применяться. Физико-биологические комплексы используют комбинацию пространственно упорядоченных проявлений биологических и физико-географических феноменов, связанных, например, с почвами или топографией, для оценки жизнестойкости природных систем. Анализ потенциала территории чаще всего относится к ее способности поддерживать жилищное строительство, сельскохозяйственную деятельность, дикую природу и другие важные категории. Карты пригодности отражают области, классифицированные не только по типам почв, но и по другим биологическим и физическим характеристикам, они используются для оценки пригодности соответствующих регионов для разнообразной человеческой деятельности.

Все вместе, эти классификации и тысячи других, которые созданы и которые создаются, имеют одну общую черту: все они учитывают целевую аудиторию, или конечных пользователей. Пользователи одних классифицированных наборов данных, таких как классификации пригодности земли для одного типа землепользования, очень конкретны. В других случаях карта будет использоваться гораздо более широкой аудиторией. Система классификации растительности ЮНЕСКО [UNESCO, 1973], созданная до нашествия спутниковых техники, была разработана для унификации классификаций растительности по всему миру, чтобы любой человек на Земле, интересующийся растительностью, мог говорить о растениях, используя единую базовую систему. Хотя этот широкий подход к классификации может быть полезен как общий стандарт, его ценность как средства для принятия решений в конкретных ситуациях ограничена. Представляя некоторые особенности отдельных типов карт в Главе 3, мы отметили негибкую природу традиционных карт, созданных в рамках парадигмы сообщения. Благодаря сегодняшним ГИС мы можем хранить исходные данные, не подвергнутые классификации, и обрабатывать их в соответствии с нашими потребностями. Это наиболее ценная сторона классификации средствами ГИС: чем более точно ваша классификация настраивается на нужды пользователей, тем более полезной она становится. ГИС обеспечивают широкие возможности классификации и переклассификации атрибутивных данных для достижения этого результата. На самом деле, их работу можно отнести прежде всего к переклассификации, так как данные, вводимые в ГИС, часто уже классифицированы. Оператор ГИС либо использует существующую классификацию, либо перерабатывает имеющиеся атрибуты для создания классификации, лучше соответствующей поставленным вопросам или принимаемым решениям. Поэтому в остальной части главы мы будем обозначать эту функцию как "переклассификация".

## ПРОСТЕЙШАЯ ПЕРЕКЛАССИФИКАЦИЯ

Точки и линии могут переклассифицироваться простым перекодированием атрибутов в их таблицах или перекодированием значений ячеек раstra для создания новых точечных или линейных покрытий. В этом простом процессе пользователь меняет сами атрибуты и не более того. Процесс — практически такой же при работе с площадными объектами в растровых системах. Выбрав атрибуты нужных областей, вы просто меняете числа кодов или имена атрибутов для этих ячеек раstra. В простых растровых системах, где нет привязанных к раstrу таблиц атрибутов, вы должны также изменить и легенду нового покрытия для отражения изменившейся ситуации.

Хотя изменение кодов атрибутов в простых растровых системах — процесс достаточно прямолинейный, он может представлять некоторые интересные проблемы, главным образом вследствие порядка, в котором изменяются числа. Допустим, например, что у нас имеется покрытие с кодами атрибутов от 1 до 15, соответствующими сельхозкультурам. Пусть числа от 1 до 5 и 13 представляют зерновые, а остальные (от 6 до 12, а также 14 и 15) — пропашные культуры. Вам нужно создать карту с двумя только категориями: зерновые (код 1) и пропашные (код 2). Вначале вы заменяете числа от 2 до 5 и 13 на 1 (саму единицу менять не надо), а затем числа от 6 до 12, 14 и 15 — на 2. Изменив легенду, вы получаете карту с зерновыми (1) и пропашными (2).

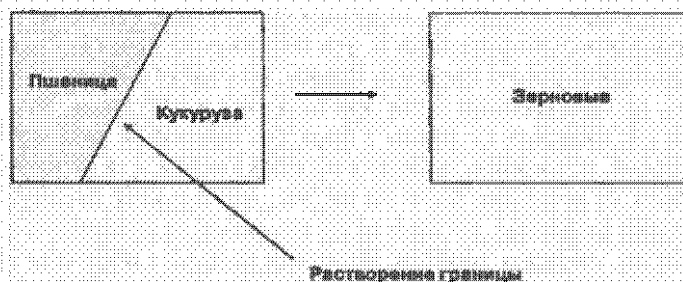
Теперь посмотрим, что получится, если мы сначала перенумеруем пропашные, а зерновые — после. Вначале вы заменяете числа от 6 до 12, 14 и 15 на 2, а потом от 2 до 5 и 13 — на 1. Но, присмотревшись, обнаруживаете, что все двойки, полученные на первом шаге, превратились в единицы на втором, то есть вся карта состоит из одних единиц. А это совсем не то, что предполагалось сделать.

Хотя многие более совершенные растровые ГИС, отслеживая атрибуты, помогут вам избежать проблем, подобных упомянутой, в простых системах нужно проявлять осмотрительность при выполнении переклассификации. Здесь можно предпринять две вещи. Первое, вы можете выбрать новые коды атрибутов, не совпадающие с уже имеющимися в покрытии. Этот прием полезен и в устранении путаницы в процессе первичной классификации. Второй способ, посложнее, состоит в прослеживании, как перенумерация воздействует на результат. Если вы видите, что порядок перенумерации создает новые величины, которые будут изменены на следующем шаге, то вы, возможно, избежите проблем, выполняя процесс в обратном порядке. Если вы все же запутались, используйте первый метод или систему, которая отслеживает имена атрибутов или обрабатывает сами категории как имена таблиц атрибутов, а не отображает пронумерованные коды для атрибутов.

В случае векторов процесс переклассификации требует изменения как

атрибутов, так и графики. Во-первых, надо удалить все линии, которые разделяют два класса, которые должны быть объединены. Эта операция называется **растворением границ** (line dissolve). Затем атрибуты этих двух полигонов переписываются для нового покрытия как единый новый атрибут для обоих. Давайте рассмотрим очень простой пример наподобие предыдущего, но имеющий дело только с двумя полигонами, на одном — пшеница, на другом — кукуруза (Рисунок 9.1). Нашей целью является создание одной категории под названием “зерновые культуры” с помощью “растворения” (удаления) границы, разделяющей две исходные категории. Мы помещаем вновь созданную категорию “зерновые” в таблицу атрибутов и присваиваем ее новому, большему полигону. Теперь мы имеем новое покрытие с только одним значением атрибута. Конечно, в большинстве реальных случаев будет “растворено” гораздо больше границ и изменено гораздо больше атрибутов, но процесс будет таким же по сути как и в этом примере.

И в растровой, и в векторной переклассификации полигонов имеется интересная особенность. В обоих случаях по окончании мы имеем меньшее число категорий, чем имели вначале. Этот результат, называемый **агрегированием данных** (data aggregation), — полезный и распространенный вид переклассификации. Представьте, как бы вы разделили большой полигон на части с пшеницей и кукурузой. Если у вас нет возможности сравнить эту информацию с другим покрытием, найти разделительную линию невозможно. И, конечно, если вы знаете, где она была, то вовсе не нужно выполнять анализа, вы можете просто использовать это покрытие с границей. Существуют полезные методы выделения большого количества деталей из грубой полигональной информации. Эти методы требуют сравнения двух или более покрытий в процессе, называемом **наложением** (overlay), который мы рассмотрим в Главе 12.



**Рисунок 9.1. Переклассификация и растворение границ.** Переклассификация через объединение категорий: объединение классов “кукуруза” и “пшеница” в более крупный класс “зерновые”.

До сих пор мы рассматривали переклассификацию данных лишь номинальной шкалы измерений. Нетрудно представить, как можно было бы переклассифицировать данные других шкал. В картографических методах это делается созданием диапазонов категорий данных, что часто называется **ранжированными** (range graded) классификациями. Такой сценарий требует от нас всего лишь перекодировать эти данные на основе классовых интервалов, в которые они попадают. И, как и в случае данных номинальной шкалы, мы просто переходим ячейки раstra или выполняем замену атрибутов и растворение границ. Одновременно мы можем также выполнить такие операции, как упорядочивание ячеек раstra или значений полигонов, их инверсию или использовать иные преобразования, включающие математические операции (умножение, деление и т.д.) над значениями полигонов с участием других переменных. При этом процесс по сути таков же, как и в случае с данными номинальной шкалы.

Все перечисленные до сих пор методы имеют одну общую черту. Процесс переклассификации направлен на переименование полигонов на основе значений атрибутов на их собственном месте. Это своего рода приземленный взгляд, в котором каждый набор ячеек раstra или каждый полигон рассматривается как отчетливо индивидуальная сущность, а классификация ограничена целевой областью, — как в использовании начальных значений, так и в самой переклассификации. Переклассификация на основе атрибутивной информации — только один из четырех основных методов; остальные основаны на информации о положении, размере и форме. Впрочем, эти представления не выделяются как отдельные методы: все они часто комбинируются друг с другом для создания широкого разнообразия методов переклассификации. Мы рассмотрим их, начиная с функций соседства, затем рассмотрим различные типы, включая фильтры, двух- и трехмерные соседства и буферы. Читая, отметьте частые сходства между этими методами, когда они применяются в различных обстоятельствах.

## ОКРЕСТНОСТИ

Переклассификация на основе "негеометрических" атрибутов очень полезна, но она ограничивает нас атрибутами в пределах каждого объекта. Было бы замечательно, если бы мы могли классифицировать объекты с высоты птичьего полета. Другими словами, если бы мы могли пролететь над территорией, то могли бы узнать не только о существовании определенного объекта, но и о том, как он расположен по отношению к другим. Такие процедуры переклассификации основаны на идее характеризования каждого объекта как части большей окрестности (neighborhood) объектов. Нам свойственно более часто взаимодействовать с теми, кто находится ближе,

чем с теми, кто дальше. В некоторых случаях окрестности определяются политическими или экономическими критериями.

Окрестности могут определяться в терминах объединяющего атрибута всей области (такая классификация называется **общим анализом соседства** (total analysis of neighborhood)), или фокус может быть направлен на меньшие части всей территории (**целевой анализ** (targeted analysis)) [Star and Estes, 1990; Tomlin, 1990]. Целевой анализ, также называемый **непосредственной окрестностью** (immediate neighborhoods), включает только места, непосредственно прилегающие к целевой области или месту. Анализ общего соседства, называемый также **расширенной окрестностью** (extended neighborhoods), включает местоположения, которые находятся в непосредственной близости, а также и удаленные на некоторое расстояние. Хотя такое разделение функций соседства интеллектуально стимулирует и довольно полезно для продвинутого ГИС-аналитика, на начальном уровне оно может внести некоторую путаницу. Набравшись опыта и расширив свой лексикон, вы можете обратиться к книге Томлин [Tomlin, 1990], где дана классификация функций соседства. А пока мы посмотрим на функции соседства, имеющие дело с двух и трехмерными объектами. Мы сможем разделить функции обоих этих типов на **статические** (static neighborhood functions), в которых анализ проводится сразу по всей выбранной целевой области, и **функции скользящего окна** (roving window neighborhood functions), где анализ проводится только в рамках окна, которое перемещается по покрытию. Мы встречали пример "оконной" функции в Главе 8, когда характеризовали развитость границы области.

## ФИЛЬТРЫ

Как мы видели в Главе 8, существуют функции, которые используют окно переклассификации ячеек раstra для определения развитости границы области. Эти оконные функции называются также **фильтрами**, особенно если само окно является матрицей чисел, которые служат операндами в выражениях со значениями ячеек раstra. Довольно часто этот метод используется в обработке изображений дистанционного зондирования [Lillesand and Kiefer, 1995], но имеет такую же применимость и в растровых ГИС. В частности, фильтры используются для выделения краев областей или линейных объектов (**фильтры высоких частот (ФВЧ)** (high pass filters)), усиления общих градиентов и устранения мелких флуктуаций и шума (**фильтры низких частот (ФНЧ)** (low pass filters)), или даже для подчеркивания ориентации (**анизотропные фильтры** (directional filters)).

**Фильтр высоких частот** предназначен для выделения деталей в растровом покрытии, которые могут быть незаметны из-за близлежащих ячеек раstra.

содержащих относительно близкие значения. В дистанционном зондировании эти значения показывают величину отражения электромагнитного излучения. Однако, мы можем использовать практически любые связанные с поверхностью данные. Допустим, что мы заинтересованы в обнаружении мелких гребней в растровом топографическом покрытии. Каждая ячейка растра содержит отсчет высоты, и мы хотим подчеркнуть контраст между несколько более высокими значениями для гребня и несколько более низкими значениями, окружающими этот объект. Типичный метод для выполнения такой фильтрации высоких пространственных частот состоит в том, чтобы создать матрицу фильтра  $3 \times 3$  с весовым коэффициентом 9 в центральной клетке и минус 1 — во всех остальных. Этот фильтр помещается поверх каждой группы ячеек растра  $3 \times 3$  в нашем покрытии, и члены каждой пары соответствующих ячеек растра и матрицы фильтра перемножаются.

То есть, значение высоты в центральной ячейке растра топографического покрытия умножается на коэффициент 9, а все остальные значения умножаются на минус 1. Затем, эти девять только что созданных произведений суммируются для получения результирующего значения центральной ячейки растра (Рисунок 9.2). Другими словами, эта одиночная операция с двумя матрицами по девять чисел производит единственное значение, которое помещается в центр нового покрытия.

Следующий шаг должен переместить фильтр на одну ячейку растра вправо, так, чтобы центральная ячейка в топографическом покрытии была теперь (3,2). Вычисления выполняются также, как и прежде, приводя к новому значению ячейки (3,2). Процедура повторяется для всего покрытия, так что в итоге в результирующем покрытии гребни видны гораздо лучше.

Поскольку края областей и линейные объекты имеют различные ориентации (например, вы можете обнаружить какое-то число гребней, связанных с некоторым геологическим циклом образования складок и эрозии), иногда полезно согласовать фильтр с определенной ориентацией. Например, если вы хотите выделить гребни, ориентированные с востока на запад, вы должны использовать фильтр (размер матрицы оставим тот же), у которого ячейки средней строки содержат положительные числа, а остальные — минус 1. Для ориентации с северо-запада на юго-восток нужно сделать положительными числа главной диагонали матрицы фильтра. То же относится и к другим направлениям, то есть положительные числа ориентированы в том направлении, которое вы желаете подчеркнуть.

Если вы хотите подавить более высокие пространственные частоты, чтобы удалить не имеющие ценности топографические флуктуации, получив таким образом покрытие, которое показывает топографию в более общем (спрошенном, сглаженном) виде, вы можете использовать фильтр с меньшим

-1	-1	-1		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
-1	8	-1	1	41	48	45	44	45	45	39	38	42	40	44	57	57
-1	-1	-1	2	40	45	43	41	43	42	36	36	41	42	47	48	39
			3	39	44	44	42	40	40	43	47	48	47	45	40	37
			4	41	43	44	39	38	43	42	41	48	48	47	47	41
			5	38	43	41	41	43	43	44	42	42	44	44	43	39
			6	38	40	39	37	43	40	36	32	34	37	31	27	38
			7	38	36	36	34	35	35	32	35	38	34	35	38	39
			8	38	39	35	38	39	39	36	35	33	37	40	41	42
			9	37	36	39	39	39	42	40	38	37	41	41	44	45
			10	38	38	40	40	38	40	43	42	41	41	45	47	45
			11	33	37	38	43	43	44	44	39	38	40	41	42	38
			12	38	42	38	42	45	45	40	37	39	42	44	44	43
			13	42	37	38	41	38	38	38	36	35	41	42	44	48

Перемноженная матрица фильтра

Исходные значения точек

Значения точек на выходе фильтра

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	31	60	53	45	56	71	30	27	59	18	20	119	145
2	28	64	37	23	48	47	6	10	29	25	58	74	9
3	18	57	55	45	31	32	58	80	83	59	45	7	21
4	44	53	59	17	20	53	35	17	56	79	83	87	57
5	26	68	43	44	82	57	77	81	53	68	71	78	32
6	7	52	41	21	79	48	21	13	4	33	-21	-59	15
7	41	42	28	8	11	16	0	41	47	23	32	33	40
8	39	52	18	28	52	53	30	30	6	36	51	47	68
9	27	37	48	45	38	84	47	17	27	54	33	50	60
10	59	41	48	41	12	27	80	60	55	45	68	82	72
11	-7	27	22	62	48	56	85	27	21	29	24	31	5
12	38	79	28	54	78	82	36	24	43	58	80	54	50
13	72	26	10	52	24	19	28	19	7	58	44	42	85

Заметьте, что некоторые значения стали намного больше, а другие - намного меньше

Рисунок 9.2. Фильтр высоких частот. Работа ФВЧ с использованием матрицы 3x3, предназначенной для подчеркивания более высоких пространственных частот по сравнению с более низкими.



различием коэффициентов. Наиболее распространен ФНЧ с матрицей  $3 \times 3$ , все коэффициенты которой равны одной девятой (чтобы сумма по всем ячейкам составляла единицу). В результате значения каждой ячейки будут усреднены с соседними.

Хотя обычные методы фильтрации раstra используют стандартные матрицы  $3 \times 3$  с "прошитыми" коэффициентами, нет необходимости к этому привязываться. Большинство программ, выполняющих фильтрацию, позволяют менять размер матрицы и значения коэффициентов. Чем больше размер матрицы, тем большее пространственное усреднение можно получить в случае ФНЧ, поскольку большее число ячеек принимают участие в усреднении. В случае ФВЧ с ростом размера матрицы может быть получено более качественное подчеркивание мелких деталей поверхности. Решение использовать нестандартные размеры и коэффициенты часто возникает в результате экспериментирования.

## ОКРЕСТНОСТИ

Мы знаем, что ГИС должна быть способна измерять размер полигона, или фрагментированного региона, составленного из нескольких полигонов. Представьте, однако, что нас интересует только идентичность полигонов региона в пределах некоторой окрестности или расстояния. Например, мы изучаем распространение новых фермерских методов, чтобы увидеть, не проявляется ли картина подражания, когда фермеры-традиционалисты вооружаются новыми методами, внедренными их соседями. Допустим, нас интересуют зоны использования так называемой нулевой обработки почвы перед посевом. Вначале мы выбираем покрытие, показывающее только места, где данный метод применяется. Затем мы устанавливаем примерный радиус, в котором скорее всего может наблюдаться подражание. Мы можем принять, что оно проявится только у непосредственных соседей, либо что идея укоренится где-нибудь еще. В обоих случаях ГИС возьмет эту величину и начнет просмотр во все стороны, пока не достигнет дистанции радиуса поиска, наращивая по пути объем применения метода (по сути, измеряя площадь полигонов или их групп). В результате получаются малые, средние и большие группы полей, на которых, по-видимому, используется эта новая практика. ГИС обработала исходную территорию таким образом, что все полигоны или ячейки раstra, которые попадают в заданный радиус друг от друга, получают один и тот же атрибут. Группы номеруются по порядку обнаружения. Каждая может быть потом переклассифицирована в соответствии со своим размером. Возможно, что мы придем к выводу, что фермеры в больших группах соседства более общительны между собой, или что сами фермы больше, или что эти фермеры знакомы с людьми из

расположенного поблизости сельскохозяйственного колледжа. В любом случае, полученные значения показывают, что либо в больших окрестностях по сравнению с малыми имеют место различные механизмы распространения этой идеи, либо существуют иные причины различия размеров этих групп. Интерпретация причин получения таких результатов обычно потребует дальнейшей проверки, но здесь важно то, что функция соседства в ГИС позволила нам эти различия обнаружить.

В предыдущем описании окрестностей мы рассматривали одиночный атрибут выбранных групп в пределах заданного радиуса. Однако, часто мы больше заинтересованы в определении сходств и различий в пределах выбранной окрестности, нежели в группах однородных полигонов или групп ячеек раstra. Например, мы хотим определить средний возраст людей в заданном регионе на основе данных переписи. Выбираем радиус поиска, как и раньше, программа просматривает атрибуты всех полигонов участков переписи или ячеек раstra, и затем выполняет простое усреднение этих величин. В конечном итоге мы получаем новое покрытие со средним возрастом на основе этих расчетов.

Но не только усреднение может использоваться для определения новых окрестностей. Например, мы интересуемся определенным видом животных, которых особенно привлекает разнообразие ландшафта. Чем оно выше, тем больше это окружение нравится таким животным, оно дает множество мест для отдыха, питания, укрытия от солнца и от хищников. Нам также известно, что таким животным нужна определенная территория для жизни. Мы преобразуем эту известную величину площади в радиус поиска и далее действуем как и прежде. В данном случае программа просматривает все различные типы ландшафтов в пределах радиуса поиска и подсчитывает их, возвращая число этих типов в качестве пространственного или ландшафтного разнообразия. Области наибольшего разнообразия скорее всего и будут избираться животными этого вида для обитания.

Как вы могли догадаться, раз мы можем выполнять усреднение по полигонам или ячейкам раstra окрестности, то можем также выполнять и другие расчеты. Возможно вычисление некоторого максимального значения по окрестности, как, например, наибольшее число преступлений в окрестности за указанный год. Или мы могли бы поискать минимальное значение, например, среди цен домов этой окрестности, чтобы решить, сможем ли мы себе позволить там жить. Другие операции включают подсчеты общего количества всех видов, определение медианы, наивысшей и наименьшей частот, отклонения от центральной точки по отношению к среднему окружающих значений и даже доли окрестности, имеющей те же атрибуты, что и в центральной точке окрестности.

Указанные в предыдущих двух абзацах операции могут выполняться

многими различными способами. Например, результат операции над окрестностью (среднее, медиана, дисперсия и т.д.) может присваиваться центральной точке, передаваемой в новое покрытие. Мы можем также не означать радиус окрестности, а использовать вместо этого скользящее окно для охарактеризования всего покрытия на основе тех же расчетов, что и прежде (среднее, медиана, дисперсия и т.д.). В этом случае выходная величина будет присваиваться не центральной точке, а всем ячейкам окна, давая нам представление о тенденциях изменений от одной части покрытия к другой.

В одних случаях мы можем создавать окрестность и выполнять операции на основе значений ячеек одного покрытия, в других — использовать разные покрытия для целевых ячеек и для построения окрестности. Например, если мы хотим знать величину разнообразия ландшафта в окрестностях известных местоположений птичьих гнезд, то могли бы взять покрытие с положением гнезд в качестве целевых ячеек, а другое покрытие — с типом ландшафта — для построения окрестностей.

Используя материал Главы 8, мы можем увидеть, что способность ГИС измерять размер и форму дает и другие пути создания окрестностей. Например, измерение размера часто объединяется с определением групп одного значения атрибута полигонов. Чаще всего эта информация используется для ранжирования или упорядочивания результатов аналитических операций, которые группируют данные в локализованные или регионализированные группы. Размеры групп могут быть очень важны в ином анализе. Например, экологи знают о размерах территории, требующейся волкам и другим крупным хищникам [Forman and Godron, 1987]. Они также знакомы с минимальными требованиями отдельных лесных массивов для поддержки необходимого разнообразия животных видов и даже для того, чтобы продолжать существовать как лес. В некоторых случаях может потребоваться объединение меры разнообразия окрестности (где большее разнообразие означает лучшую среду обитания) с определением размеров (когда предпочтительны большие площади). Могут применяться и другие комбинации. Давайте рассмотрим пример.

Ягуары — крупные хищные кошки, которым требуются разнообразные элементы среды обитания, особенно растительность джунглей, для укрытия, и проточные водоемы, так как большая часть их диеты состоит из рыбы. Для простоты скажем, что ягуарам требуется примерно 200 кв. миль территории для проживания и что им требуется только два типа среды — джунгли и речной коридор. Далее примем, что требования к территории таковы, что на одну часть речного коридора должно приходиться 10 частей леса. Мы можем идентифицировать отношение между целевыми точками вдоль реки из речного покрытия и площади окружающего (соседствующего)

леса в растительном покрове, которое включает речной коридор как одну из категорий. Мы можем переклассифицировать покров растительности в речной коридор и лесную растительность, чтобы упростить наши вычисления. Затем, используя функцию соседства, которая вычисляет отношение площади окрестности той же категории, что и целевое местоположение, мы можем определить окрестности, которые имеют по меньшей мере одну десятую речного коридора. Наконец, после создания окрестностей, которые удовлетворяют требованию проживания ягуаров, мы можем рассмотреть размер. Окрестности, которые имеют площадь не менее 200 кв. миль и отношение 1:10 речного коридора к лесу, являются идеальными местами для обитания ягуаров.

Предположим, однако, что обнаруженная в результате нашего анализа окрестность выглядит подобно профилю песочных часов, и река протекает через ее наиболее узкую часть. Области снаружи нашего леса и речного коридора не заселены людьми, которых ягуары обычно избегают. Речной коридор в этом бутылочном горлышке может быть недостаточен для деятельности животных. То есть, два конца этой фигуры могут быть функционально раздельными областями обитания, каждая из которых недостаточно велика для выживания ягуаров. Используя умение ГИС измерять расстояния поперек полигональных объектов, мы можем провести анализ, который обнаруживает и классифицирует регионы на основе некоторой величины узости, обычно самой узкой части полигона. Таким образом, мы применили еще одну меру окрестности, в данном случае основанную на форме.

Но и другие меры формы, представленные в Главе 8 (функция Эйлера, развитость границы, и др.), могут комбинироваться или использоваться по отдельности для описания окрестностей. На самом деле, количество команд и их опций, предназначенных для классификации и переклассификации окрестностей, в большинстве ГИС довольно велико. Нам нет нужды ограничивать себя анализом окрестностей на основе двухмерных покрытий. В качестве источника характеристик окрестностей мы можем использовать также и топографические данные. Хотя конкретно поверхности и операции с ними мы рассмотрим более детально позже, уже сейчас мы можем рассмотреть применение трехмерных поверхностей и переклассифицировании окрестностей. Тогда мы вспомним и о том, как мы могли бы использовать поверхности в описании окрестностей.

## ПЕРЕКЛАССИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Наиболее широко используются следующие четыре характеристики трехмерных поверхностей для описания окрестностей: уклон, азимут

экспозиция склона), форма и взаимная видимость.

В той или иной степени все они могут применяться и в векторных и в растровых ГИС, опять же в зависимости от сложности программного обеспечения. Во многих случаях, как при переклассификации двумерных покрытий, эти характеристики могут быть использованы и в сочетании друг с другом. Сейчас мы рассмотрим их по отдельности. Закончим их сочетаниями для более сложных видов анализа.

## Уклон

Если вы планируете построить домик на горе, то, вероятно, захотите узнать, где находятся наиболее пологие участки, чтобы ваш новый дом не решился однажды переехать к подножию горы. Или, намереваясь спилить некоторую часть деревьев на склоне горы, вы можете использовать этот же уклон, чтобы скатывать только что срезанные стволы вниз (не общепринятый метод, между прочим). Или вы, возможно, планируете лыжную базу и хотите предложить клиентам три разных величины уклона: "новичок", "любитель" и "профи". Во всех этих случаях нужно знать кое-что об уклоне, но нас интересует не столько кратчайший маршрут вниз, сколько общий обзор мест крутого, умеренного и малого уклона. Концептуально процесс довольно прост: вам нужно узнать связь между расстоянием по горизонтали и соответствующей разницей высот. Отношение второй величины к первой и является обычным способом выражения уклона. Чтобы сделать это в векторной системе, вам нужна модель данных, подобная нерегулярной сети триангуляции (TIN), рассмотренной ранее. Конечно, растровая система может сразу же с этим справиться, хотя потребует некоторая компенсация ошибок из-за дискретности растрового пространства.

Обычный метод вычисления уклона состоит в том, чтобы провести наиболее подходящую поверхность через соседние точки и измерить отношение изменения высоты на единицу расстояния [Clarke, 1990]. Вернее, ГИС просчитает это отношение по всему покрытию, создавая набор категорий величины уклона, во многом подобно тому, как мы поступали бы, определяя границы классов. Если нам нужно меньшее число категорий, чем реально получилось, то мы можем переклассифицировать набор, произведенный ГИС. Хотя методы, разработанные для построения уклона на топографической поверхности, применяются широко, поверхность не должна быть обязательно топографической. Как мы увидим в Главе 10, наше представление о поверхностях может быть обобщено на любые виды поверхностных данных, которые измеряются в шкалах рангов, интервалов и отношений. Они называются статистическими поверхностями (statistical

surfaces) и являются поверхностным представлением пространственно-распределенных статистических данных. Таким образом мы могли бы анализировать величину уклона (градиент) в изменении населенности, осадков, атмосферного давления — любой величины, которая является или может быть принята непрерывной по покрытию. Данные номинальной шкалы здесь не подходят по определению. Представьте себе растровую БД со следующими кодами атрибута землепользования: 1 = сельское хозяйство, 2 = город, 3 = производство и т.д. Любая поверхность, созданная на основе этого набора атрибутов, — бессмысленна, так как эти числа, хотя и могущие казаться принадлежащими порядковой шкале, шкале интервалов или шкале отношений, на самом деле к ним не относятся. То есть, в такой попытке мы ошибочно применили бы арифметические операции к несравнимым именам категорий. Здесь мы хотим настойчиво подчеркнуть, что недостаток понимания основных шкал измерения данных может привести к невероятно бесполезным результатам.

Пара примеров правильного и уместного использования уклона может оказаться поучительной. Допустим, мы ищем склоны, крутизна которых менее 25% (т.е. 25 м высоты на 100 м расстояния по горизонтали) для определения областей, пригодных для строительства коттеджа. Для определения уклона программа просто сравнивает разность высот между вершинами каждой грани TIN (TIN facets) с соответствующими горизонтальными расстояниями. На самом деле, поскольку модель TIN хранит эти вычисленные значения в своих таблицах атрибутов, то расчеты вообще не требуется проводить. Каждое значение грани может быть выбрано из БД, и уклоны могут быть сгруппированы на те, что имеют крутизну менее 25%, и те, что имеют 25% или более. Мы можем назвать их как "непригодные" ( $\geq 25\%$  - слишком круто для строительства) и "пригодные" ( $< 25\%$  - приемлемо для строительства). Таким образом мы переклассифицировали топографическую поверхность по величине уклона для содействия принятию решения о пригодности для строительства. Существует множество путей обработки информации об уклонах, в особенности такие, которые используют методы нелинейной интерполяции (о них — чуть позже), и такие, которые генерализуют топографию для показа общего тренда поверхности. Мы обратимся к ним в Главе 10.

Как простые, так и сложные методы переклассификации на основе только лишь уклона могут выполняться и в растровых ГИС. Простейший способ состоит в оценке восьми непосредственных соседей каждой ячейки растрового покрытия. Программа строит плоскость по восьми ближайшим соседним ячейкам поиском либо наибольшей величины уклона для окружения ячеек раstra, либо среднего уклона (обычно выбор — за пользователем). Для каждой группы ячеек программа использует разрешение

растра в качестве меры расстояния по горизонтали и сравнивает значения атрибута (высоты) в центральной точке со всеми окружающими ячейками (Рисунок 9.3).

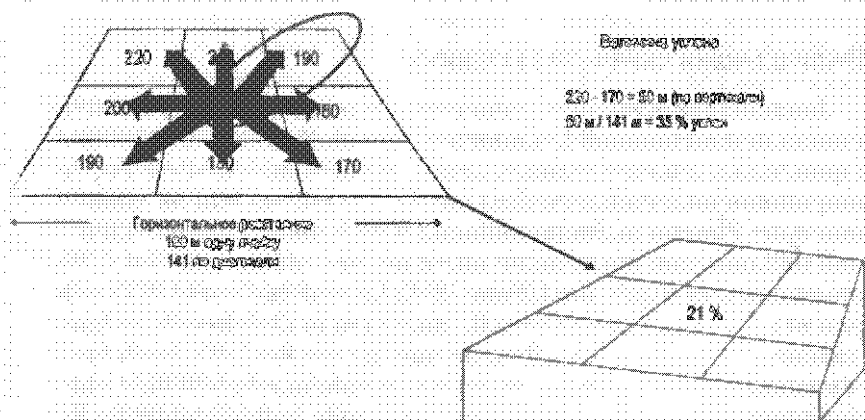


Рисунок 9.3. Поверхность тренда в растре. Растровый метод определения уклона с подгонкой плоскости к восьми соседям центральной ячейки. Растровая ГИС покажет наибольший уклон в результате сравнения центральной ячейки с ее соседями.

Например, если мы строим лыжную базу и хотим отобрать склоны с крутизной не более 15% для новичков, от 16 до 25% для любителей и от 26 до 45% для профессионалов, мы можем создать три этих класса простой переклассификацией, идентифицируя все области с максимальным (или средним) уклоном 0-15%, 16-25% и 26-45%. Все склоны круче 45% будут названы непригодными, так как они слишком круты для лыж.

Как и векторные, растровые ГИС могут применять методы нелинейной интерполяции, такие как кригинг (kriging) и процессы подгонки поверхностей (surface-fitting). Многие из них основаны на применении методов поиска во время выполнения анализа [Hofgspon, 1989]. Если ваша программа не поддерживает их как отдельные алгоритмы, возможен путь создания близкого приближения к некоторым из этих методов использованием нескольких вызовов имеющегося метода. Например, можно спадить склоны для получения поверхности тренда использованием любого алгоритма вашей программы, затем — повторением процесса уже по отношению к результату первого шага. Другими словами, вы выполняете несколько итераций определения уклона. Чем больше итераций, тем более

ровной будет выглядеть ваша поверхность. Если продолжать, то в конце концов вы получите одну лишь плоскость. Технически это называется переходом к поверхности тренда первой степени от некоторой поверхности более высокого порядка.

## Экспозиция склонов (аспект)

Поскольку поверхности имеют уклон, они имеют также и ориентацию, называемую экспозицией или аспектом (aspect). Идея уклона и экспозиции неразделимы как в физическом, так и в аналитическом плане. Без уклона невозможен топографический аспект. Существует множество применений этой идеи. Например, биогеографы и экологи знают, что часто существует заметное различие между растительностью на северных склонах и тех, что обращены на юг [Brown and Gibson, 1983]. Главной причиной этого является различие количества солнечной радиации, поступающей на единицу площади склона, но нас сейчас интересует то, что ГИС позволяет нам разделить ориентированные на север и на юг склоны для сравнения с другими тематическими покрытиями, такими как почва и растительность. Другой пример использования информации об экспозиции склонов — размещение ветроэлектростанций. Их нужно устанавливать высоко на склонах, чтобы они получали максимум энергии ветра, но при этом на тех склонах, которые обращены к преобладающим ветрам, а не на тех, что закрыты от них. Для геологов преобладающий уклон сланцев может быть путем к пониманию подземных процессов. Садовод может пожелать разместить свой сад на солнечной стороне холма, чтобы использовать преимущества большей освещенности. Все эти анализы могут выполняться при помощи функций, которые классифицируют поверхности на основе их экспозиции.

В векторных ГИС, использующих модель данных, подобную TIN, работа с аспектами относительно проста. Каждая грань модели TIN имеет определенные уклон и аспект. Аспект определяется как азимут нормали каждой треугольной грани поверхности [Evans, 1980]. Когда производятся вычисления с участием аспекта, эти значения могут выбираться из БД TIN без дополнительных вычислений. И, как и раньше, мы можем группировать их в классы. Например, если мы — биогеографы, заинтересованные только склонами, ориентированными на юг и на север, мы можем создать три разных класса на основе выбранного критерия. Так, склоны могут быть классифицированы как имеющие северную ориентацию, если их азимут находится в диапазоне от  $345^\circ$  до  $15^\circ$ , а южно-ориентированным склонам будет приписан аспект от  $165^\circ$  до  $195^\circ$ . То есть, классы имеют диапазон в  $30^\circ$  — по  $15^\circ$  с каждой стороны от главного направления. Все остальные значения аспекта могут быть классифицированы как “неподходящие”, так как они



не нужны для анализа биогеографа. Конечно же, вы можете выбрать свои собственные границы классов для этих окрестностей в соответствии с вашими потребностями.

В случае раstra, опять же, нужно провести анализ по всему покрытию, в котором последовательно все точки как центральные точки окрестности сравниваются со своими соседями. Здесь поверхность, подогнанная к матрице из девяти ячеек, дает направление по среднему или максимуму посредством просмотра больших и меньших значений высоты в пределах матрицы. Если, например, наивысшее значение находится в середине сверху, а наименьшее — в середине внизу, решением данного случая будет общее направление на юг (предполагается, что покрытие имеет географическую привязку). Или вы можете обнаружить, что высшая и низшая величины находятся соответственно в левом верхнем и правом нижнем углах. Это даст юго-восточный аспект данного участка поверхности. Результаты растрового анализа аспекта могут выражаться как в градусах (0-360), так и более простым набором векторов, напоминающим цепочечные коды Фримэна, где, например, север, юг, восток и запад могут обозначаться как соответственно 0, 2, 4 и 6, а северо-восток, юго-восток, юго-запад и северо-запад — как 1, 3, 5 и 7. Реальные номера и методы зависят от программного обеспечения.

## Профиль поверхности

Другой полезный пример переклассификации статистических поверхностей — оценка их формы. Простейший способ визуализации формы поверхности — ее поперечный профиль (cross-sectional profile). Это распространенная практика во многих курсах географии и геологии, где от студентов требуют изобразить профиль топографической поверхности вдоль линии, проведенной между двумя точками. Он строится переносом каждого отсчета высоты на лист бумаги в клетку, где по горизонтали откладывается расстояние от одной из выбранных точек, а вертикальная ось несет значения высоты. Процесс легко выполняется в векторной ГИС с использованием модели TIN, где линия (необязательно прямая) проводится по какому-то участку покрытия. Тогда программа создает профиль, идентичный тому, что был бы создан вручную по бумажной карте. Однако помните, что это изображение — не покрытие, и результаты используются лишь как средство интерпретации того, что там имеется. Известно, например, что V-образный профиль чаще всего связан с долинами рек, а U-образный — с долинами водников. Чем больше вы знаете о поверхностных процессах, с которыми работаете, тем лучше может быть ваша интерпретация результатов.

Ваша растровая ГИС может не иметь средств создания поперечных профилей. Однако, многие используют альтернативный метод, который

производит растровое покрытие в результате сравнения центральной ячейки с двумя непосредственными соседями. Вы можете выбрать ориентацию этого поиска такой, чтобы он был способен характеризовать набор профилей для ячеек раstra посредством просмотра горизонтальных рядов, вертикальных колонок, или даже диагональных наборов ячеек раstra. Программа будет брать ячейки раstra группами по три и сравнивать центральную с двумя соседями. Она будет описывать каждую ячейку присвоением одного из номеров типов формы: плоская, растущая, падающая, плоская, затем растущая, плоская, затем падающая, растущая, затем падающая (выпуклая как холм) и падающая, затем растущая (вогнутая как долина). Они характеризуются кодами, помещаемыми в новое покрытие (Рисунок 9.4). Затем коды должны интерпретироваться вручную.

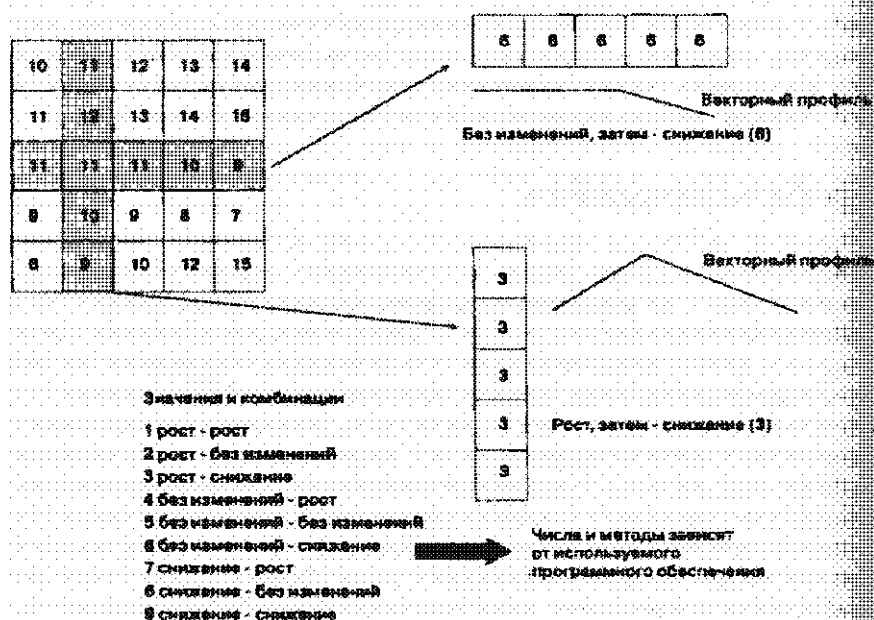


Рисунок 9.4. Описание формы поверхности в растре. Растровые и векторные результаты описания окрестности на основе формы. В векторной модели результатом является поперечный профиль, в растровой — покрытие, которое показывает отношения каждой ячейки с ее двумя непосредственными соседями, которые находятся рядом с ней по вертикали, горизонтали или диагонали.

Оба варианта, растровый и векторный, используют изменения поверхностной величины, которые могут интерпретироваться пользователем для представления определенных образований. Как отдельные топографические объекты при дальнейшем анализе могут идентифицироваться горные хребты, проливы, пики, площади водосбора и т.д. Например, водосбор (watershed) определяется как вся площадь, с которой происходит сток в сеть реки.

Это больше чем просто направление стока, водосборы функционируют как экологически цельные, единые регионы. Экологи, гидрологи, инженеры, эксперты по контролю наводнений и загрязнений и многие другие нуждаются в точном определении этих областей. Мы рассмотрели только простейший метод, но к этому же типу задач применяются другие, более сложные методы. По мере роста вашего мастерства, вы сами сможете узнать об этом больше [Band, 1986, 1989; Douglas, 1986; White et al., 1992].

### Взаимная видимость

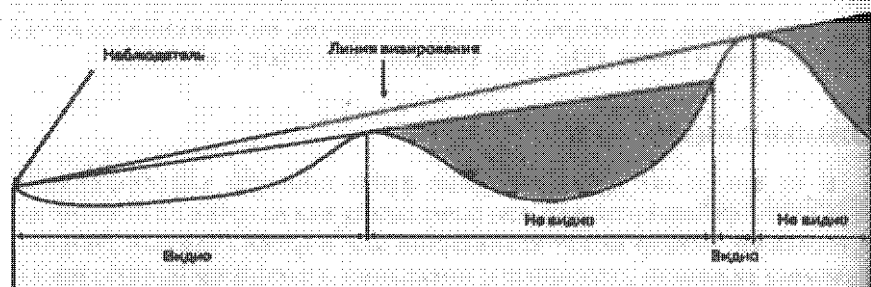
В то время как рассмотренные выше способы классификации поверхностей характеризуют всю поверхность или ее точки по отношению к соседним, рельеф может анализироваться и более сложным образом. Взаимная видимость (intervisibility) показывает, что если вы расположены в определенной точке топографической поверхности, то одни области рельефа будут вам видны (области видимости), а другие нет. Многочисленные применения этого метода включают размещение телевизионных и радиопередатчиков, ретрансляторов сотовой телефонной связи, пожарных башен, прокладку скоростных шоссе, которые не видимы для местных жителей, планирование огневых позиций артиллерии [Clarke, 1990]. Всякое планирование антропогенных объектов, которые должны быть либо хорошо видимы, либо скрыты, может быть улучшено с помощью анализа видимости.

В векторной системе простейший метод состоит в соединении точки наблюдателя с каждой возможной целевой точкой покрытия. Затем выполняется трассировка лучей (ray tracing), т.е. вы следуете вдоль линии (луча), ища отметки высоты, которые выше этой линии [Clarke, 1990]. Более высокие точки будут загромождать для наблюдателя то, что за ними (Рисунок 4.5). Существуют многие способы определения областей видимости для векторных структур данных, включая TIN [DeFloriani et al., 1986; Sutherland et al., 1974].

В наши задачи не входит углубление в эти алгоритмы, поэтому мы лишь кратко рассмотрим идею анализа видимости, чтобы увидеть, что он делает и как он может быть применен.

Допустим, вы планируете построить дом у подножия горной цепи и хотите видеть с крыльца как можно больше окрестностей. Вы ограничилиcя тремя

возможными местами. Для каждого из них, определенного в топографическом (terrain) покрытии ГИС (модель TIN), программа идентифицирует вершины модели во всех направлениях. Затем она выберет значения высоты для этих точек. Затем она сравнит эти высоты с высотой потенциальной строительной площадки. Все области, которые выше (и которые находятся за этими отметками), невидимы от вас и должны быть классифицированы как невидимые; все остальные области видимы. Результирующее полигональное покрытие показывает вам, какая площадь просматривается с каждой потенциальной площадкой. Сравнив площади видимой части для всех трех мест, вы можете легко определить, которое вам больше подходит для строительства.



**Рисунок 9.5. Анализ видимости.** Трассировка лучей: линия визирования (луч) проводится от наблюдателя к каждой точке покрытия. Если на его пути оказываются другие точки выше его высоты, то целевая точка не будет видима.

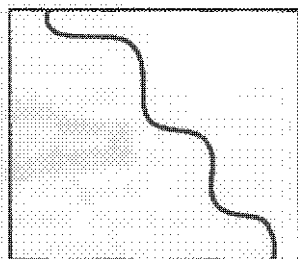
Растровые методы определения видимости действуют почти так же, но они менее элегантны и имеют большую вычислительную стоимость. Процесс начинается с определения ячейки наблюдателя как отдельного покрытия, с которым будет сравниваться покрытие высот. Начиная от положения ячейки наблюдателя, программа оценивает высоту во втором покрытии, которая соответствует этому местоположению. Затем она движется по всем направлениям, по ячейке за шаг, сравнивая значения высоты каждой новой встречающейся ячейки раstra с высотой ячейки наблюдателя. Каждый раз, когда встречается ячейка раstra со значением высоты, большим, чем высота ячейки наблюдателя, она классифицирует ее как невидимую и присваивает соответствующий код. Если же высота этой ячейки ниже, чем наблюдателя, то ей присваивается код видимой ячейки. Это, конечно, простейший способ реализации этого метода. Существуют и другие, и каждый дает различные, но вычислительно достоверные результаты [Anderson, 1982; Dozier et al., 1981]. Имеет смысл заглянуть в документацию на вашу систему с целью

оценки пригодности в вашей работе того или иного метода [Fisher, 1993].

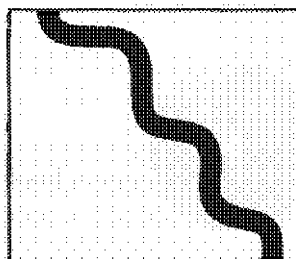
Области видимости обычно строятся на основе только лишь топографических поверхностей, но в некоторых случаях такая поверхность может иметь лесной покров с известными высотами отдельных деревьев или их групп. Для выполнения анализа при известных высотах этих или других препятствующих объектов, они должны включаться в анализ наряду со значениями высот топографического покрытия. Они могут складываться как в векторных, так и растровых системах посредством наложения покрытий с арифметическим сложением (см. Главу 12). Там, где при определении видимости собственно топография не играет роли, высоты препятствий могут использоваться самостоятельно. Применения анализа области видимости неисчислимы, и этот метод широко распространен в анализе поверхностей.

## БУФЕРЫ

Еще одним распространенным методом переклассификации является процесс построения буферов. Буфер (buffer) — это полигон, с границей на определенном удалении от точки, линии или границы области.



Река



Река с буфером

Рисунок 9.6. Буфер линейного объекта. Река и ее буфер, заданный только выбранным пользователем расстоянием.

Поскольку он связан с положением, формой и ориентацией объекта, мы можем легко отнести буферизацию к методам переклассификации на основе положения. Однако, буфер может быть больше чем только отмеренное расстояние от двумерного объекта; он может быть также связан с, и даже управляться, присутствием поверхностей трения, рельефа, барьеров, и т.д. То есть, хотя буферизация основана на положении, она имеет также и другие существенные компоненты. Область, окружающая реку, которая сообщает

что-то о коридоре реки, является примером буфера. На Рисунке 9.6 буфер был создан переклассификацией области на обеих сторонах для отличия его от аморфного фона. Хотя рисунок показывает и реку, и буфер, обычно буфер создается как отдельный объект и часто хранится в отдельном покрытии. Для создания такого буфера требуется всего лишь отсчет заданного расстояния по всем направлениям от каждой точки границы выбранного объекта. Мы знаем, как ГИС выполняет измерение расстояний в растре и векторах; в действительности, создание буфера — всего лишь расширение этой процедуры. Но поскольку эта процедура весьма полезна и часто применяется, большинство ГИС имеют специальные команды для построения буферов.

Буферизация — дело измерения расстояния от объекта, будь то точка, линия или область. В случае точки мы отмеряем одно расстояние по всем направлениям от этой точки (Рисунок 9.7). Буфер линейного объекта показан на Рисунке 9.6. Буфер площадного объекта строится на заданном расстоянии от его периметра. Может даже понадобиться построить второй буфер вокруг первого, третий — вокруг второго и т.д., которые вместе называются многослойным буфером (doughnut buffer), который также показан на Рисунке 9.7. Процедура его построения относительно проста, так как каждый новый слой буфера — всего лишь новый буфер вокруг предыдущего слоя.

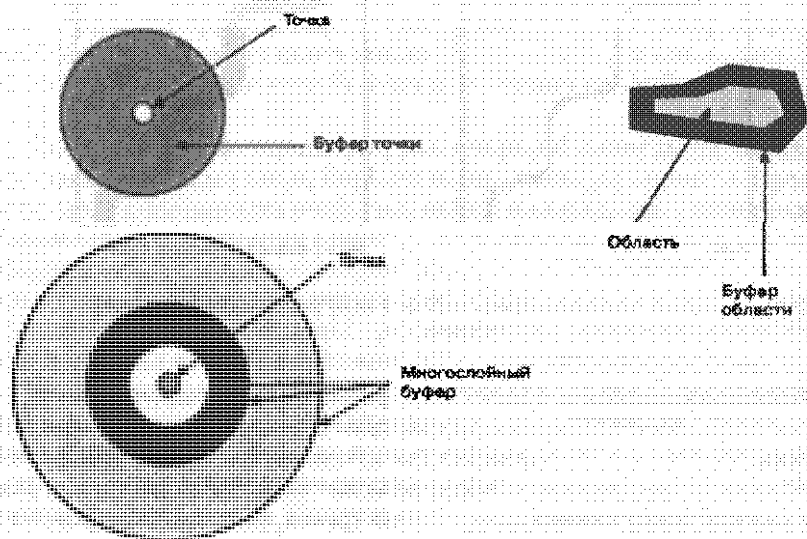


Рисунок 9.7. Буферы точек и областей. Показан также многослойный буфер точки.

В векторных системах мы должны явно закодировать топологическую информацию для каждого вновь создаваемого полигона. В частности, от нас требуется предоставить топологическую информацию о связях между полигонами. Процедура многослойной буферизации пытается создать островной полигон, который не соединен явно с соседним полигоном. Трудность создания многослойного буфера в векторной системе — в основном следствие используемой модели данных, но, следуя указаниям программы, вы, как правило, можете его получить. Возможно, вам стоит поэкспериментировать на тестовой БД перед тем, как создавать многослойные буферы в реальной работе.

Теперь обратимся к вопросу о величине буфера: насколько широким он должен быть? Этот вопрос часто возникает на семинарских занятиях, когда студентов просят создать буфер вокруг некоторого объекта. К сожалению, часто следует ответ: "Это не важно, вам просто нужно попробовать создать буфер". Но: как мы видели, просто создание буфера не многого стоит, если мы не знаем зачем и какой величины. В действительности, цель создания часто если не определяет размер буфера, то, по меньшей мере, влияет на него.

Так какого же размера должен быть буфер? Некоторые буферы показывают, что вокруг объекта, на неизвестное, или даже не могущее быть известным, расстояние простирается регион, который требует защиты, исследования, охраны или иного особого обращения. Такой сценарий не так уж необычен, как можно подумать. Многие буферные зоны в реальном мире так же произвольны, как и те, что мы устанавливаем в наших ГИС. Строители обычно сами создают буфер вокруг стройплощадки, чтобы защитить прохожих от тяжелых машин и падающего строительного мусора. Границы областей, загрязненных ядовитыми газами, радиоактивными материалами, разливами опасных жидкостей обычно устанавливаются правительственными агентствами или правоохранительными органами. Нередко довольно часто эти зоны устанавливаются лишь предположительно, это произвольные буферы (*arbitrary buffers*). Чаще всего предположения строятся на интуиции или дилетантской информации из неизвестных источников.

Однако, все они, как правило, больше, чем необходимо. Лишняя площадь буфера, часто так мешающая населению, обычно добавляется к произвольному буферу для безопасности.

Размеры буфера могут также основываться на любой процедуре измерения или переклассификации, которые нам до сих пор встречались, будь они двухмерные или трехмерные. Например, мы могли бы создать другой тип буфера, основанного на функциональном, а не евклидовом расстоянии от объекта. Это был бы мотивированный буфер (*causative buffer*) основанный на априорном знании площади буфера. Допустим, например,

что мы создаем буфер вдоль реки, чтобы показать возможность загрязнения почвы по обеим ее сторонам. И мы знаем, что с одной стороны реки почва — глинистая, а с другой — песчаная. Поскольку загрязняющие вещества проникают через песок быстрее, чем через глину, буфер должен строиться на основе фрикционных или импедансных свойств (frictional or impedance quality) глинистой почвы. В результате буфер будет менее широким со стороны глины, нежели со стороны песка, отражая различия в проницаемости почв разных типов. Использование фрикционных поверхностей и барьеров — обычная практика при построении буферов, так как они дают некоторое основание для выбора размера буфера. Однако, поскольку точное определение величины фрикционного или барьерного импеданса часто затруднительно, буфер, построенный на основе этой величины, может оказаться не более полезным, чем произвольный буфер, построенный из простых соображений.

Буфер может также быть основанным на мерах взаимной видимости. В таком случае буфер выбирается не на основе произвольной или плохо известной фрикционной величины, а на основе определенной, измеримой величины, это — **измеримый буфер (measurable buffer)**. Это третий тип буферов, который мы можем использовать. Измерения — не произвольны, а весьма точны, так как основаны на измеримых феноменах. Конечно, всегда есть возможность комбинирования второго и третьего методов буферизации, полагаясь на измеримый феномен, чье влияние на размер буферной области трудно четко определить. Например, мы знаем, что деревья вдоль речного коридора могут играть роль фильтра от загрязняющих материалов. Мы также знаем, что чем больше деревьев, тем лучше фильтрация. Поэтому, мы можем измерить плотность растительности вдоль речного коридора и затем использовать эти значения для создания поверхности импеданса, а уже ее использовать для определения размера буфера. Но при этом мы не имеем точного знания о том, как плотность деревьев связана с движением загрязнителя через растительность в реку. Таким образом, у нас есть некоторые измеримые параметры, и они могут быть логично применены, но при этом мы не знаем точных отношений между ними. Такое часто случается при построении буферов.

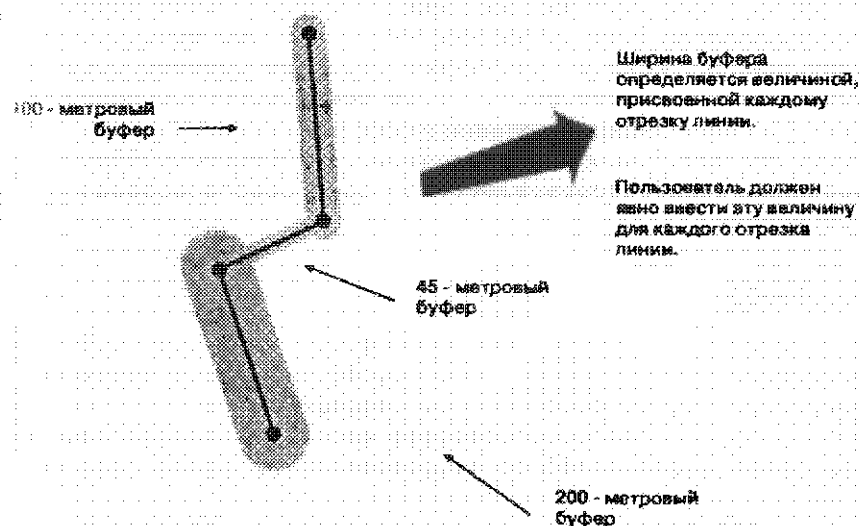
Существует еще четвертый вид буферов — **нормативный (mandated buffer)**, когда буферизация определяется нормативными актами. Например, если вы строите дом в пределах столетней зоны наводнений, то, скорее всего не сможете приобрести страховку от наводнений. Хотя размер этой зоны — измеримая величина, страховая компания могла бы так же легко избрать 75-летнюю зону или 150-летнюю.

Другими словами, сама величина измерима, но выбор ее среди других измеримых величин произволен. Для создания буфера подобного рода



обычно нужна БД местности и возможность рассчитать объем воды, который наполнил бы пойму, если бы действительно случилось наводнение такого масштаба, который вряд ли имеет место более одного раза в столетие.

Но могут применяться и другие нормативные буферы. Нам говорят, насколько близко к пожарному гидранту мы можем парковать машину, и какая часть налеса дикая и действительно принадлежит местному сообществу. Строительные нормы указывают расстояния вокруг объектов коммунальных служб и между зданиями; природоохранные организации создают защитные полосы; вдоль железных дорог и линий электропередачи по закону устанавливаются буферы отчуждения, и т.д. В каждом случае есть нормативное основание для создания буфера определенного размера.



**Рисунок 9.8. Варируемый буфер.** Такие буферы создаются с помощью различных значений импеданса с каждой стороны линии или указанием своей ширины буфера для каждого отрезка линии. Во втором случае каждый отрезок должен иметь идентифицирующие узлы на каждом конце (в векторной системе); или для каждого набора образующих объект ячеек раstra должно отмеряться свое расстояние до границы буфера (в растровой системе).

Независимо от типа буфера (произвольный, мотивированный, измеримый или нормативный) всегда есть вероятность того, что буфер не будет иметь одинаковую ширину вдоль всего линейного объекта или со всех сторон полигона. Такие различия, проиллюстрированные нашим примером

буфера разной ширины вдоль реки в зависимости от типа почвы, создают класс буферов, называемых варьируемыми (variable buffers) (Рисунок 9.8). Варьируемый буфер может определяться импедансом, барьерами или любой другой функцией окрестности. Он может выбираться произвольно, на основе измеримого параметра ландшафта, или устанавливаться законом. В каждом случае при создании буфера должны выполняться специальные процедуры. В векторной модели данных узлы между отрезками линии чаще всего могут использоваться для установления различий буфера вдоль линии. В растровых ячейки должны выборочно колорироваться, чтобы можно было устанавливать буфер для каждой группы ячеек; чаще всего эти буферы позднее объединяются в отдельное буферное покрытие.

Буферы полезны для классификации ландшафта и являются обычной составной частью многих случаев анализа в ГИС. Основная проблема с буферами состоит в том, что они часто требуют от нас больше знаний о взаимодействии элементов нашего ландшафта, чем мы имеем. Вы всегда должны пытаться преодолеть это препятствие поиском всех возможных знаний о каждой ситуации перед тем, как двигаться дальше. Чем больше вы знаете, тем более надежен ваш выбор определенной ширины буфера. Если же у вас недостаточно сведений для выбора размера буфера, то лучше сделать его с запасом.

## Вопросы

1. Какие два технических достижения повысили важность классификации пространственных данных? Почему важно относиться к классификации с известной долей скептицизма?
2. Почему системы классификации данных о связанных с землей объектах так различаются? После указания некоторых причин, выделите то общее, что им присуще.
3. Приведите пример простой процедуры переклассификации, которая объединяет два или более классов в один класс. Как это делается в растровых системах и как — в векторных?
4. Почему при переклассификации в простых растровых системах важно следить за порядком, в котором переклассифицируются ячейки раstra? Приведите поясняющий пример.
5. Что такое растворение границ? Как оно используется в переклассификации областей? Как оно работает?
6. Каково отношение между классификациями данных номинальной шкалы измерений и других типов данных (порядковой, интервальной шкалы и шкалы отклонений)? Что такое ранжированные классификации? Как они используются в процессе переклассификации?

7. Что такое фильтр? Как фильтры применяются в процессах переклассификации? Какова разница между фильтрами со статическим и скользящим окном?

8. Чем различаются фильтры низких и высоких частот? Опишите, как каждый из них работает, и укажите их назначения. Что такое направленный фильтр? Как он работает?

9. Что такое окрестность? Приведите примеры некоторых окрестностей реального мира, с которыми вы знакомы. Каково различие между непосредственной и расширенной окрестностями? Как окрестности относятся к переклассификации? Чем различаются общий и целенаправленный анализ окрестностей?

10. Опишите процесс определения окрестностей на основе одного атрибута. Для чего это может быть использовано?

11. Как мы можем использовать такие математические процедуры как вычисление среднего, медианы, дисперсии для определения окрестности? Перечислите различные математические методы определения окрестности и примеры их использования. Опишите принципы работы одного из этих методов. Изобразите процесс на схеме.

12. Приведите примеры определения окрестностей комбинацией возможных методов (размер, форма, расхождение и т.д.). Объясните, как это делается: какие шаги предпринимаются, как они должны выполняться, в каком порядке. Если есть доступ к ГИС, вы можете создать простую БД, чтобы попробовать применить эти методы.

13. Что такое уклон? Как он определяется в векторной ГИС? Как — в растровой? Как можно использовать уклон для определения окрестностей?

14. Что такое аспект? Как он используется для создания окрестностей? Приведите пример использования экспозиции склона для определения окрестности. Опишите подробно этот процесс. Какие выводы об имеющихся данных позволит сделать полученный результат?

15. Как можно отображать форму поверхности в векторной системе? Как — в растровой? Каково общее название этой операции вывода? Каковы возможные выгоды применения этой методики в переклассификации областей?

16. Что такое анализ видимости? Что такое область видимости? Как она рассчитывается в векторной модели данных? Как — в растровой? Опишите некоторые применения анализа видимости.

17. Что такое буфер? Как рассчитываются простые буферы на основе только расстояния? Что такое многослойный буфер? Почему его труднее создать в векторной системе?

18. Опишите, как могут создаваться буферы на основе функционального расстояния, классификаций окрестностей и т.д. Что такое варьируемый

буфер? Как он строится в растре? Как — в векторной системе? В каких случаях его можно использовать?

### 19. Опишите четыре основных метода определения ширины буфера.

## Глава 10

### Статистические поверхности



Наши цифровые открытия продолжают, теперь уже с новым пониманием того, что мы можем наблюдать. До сих пор мы концентрировались на точечных, линейных, и площадных объектах, но мы делали частые ссылки также и на поверхностные объекты. Мы видели, как последние могут быть смоделированы в компьютерной среде, и мы только что обнаружили, что они могут использоваться для изменения наших идей о том, что такое окрестность и как она работает. Поверхности часто используются для моделирования импеданса. Они могут представлять фазоны и экспозиции, а также области видимости и конкретные объекты — подобие долин, холмов и водоразделов. Но поверхности, с которыми мы столкнемся, не всегда будут топографическими. Как мы увидим, наш топографический фильтр сможет различать поверхности, которые являются непрерывными или дискретными, гладкими или неровными, природными или антропогенными. Другими словами, наше определение поверхностей расширится, чтобы включить данные любого типа, которые либо существуют, либо могут подразумеваться существующими как изменяющиеся величины по всей области.

Конечно, топографическая поверхность понимается легко, и в этой главе мы часто будем встречать рельеф местности в качестве классического типа поверхности. Поскольку значения высот существуют для каждой точки территории, мы говорим, что такая поверхность непрерывна. Однако, когда мы пытаемся записать эту информацию, имея в виду создание обоснованных и количественно определенных описаний, мы обнаруживаем проблему, аналогичную попытке описать все деревья в лесу или все травинки на лугу, — данных так много, что мы просто не можем записать полный набор. Поэтому, как и прежде, мы должны произвести осмысленный отбор значений высоты, из которых мы смогли бы реконструировать топографию с заданной точностью. Имеется большое сходство между топографическими поверхностями и распределениями атмосферного давления, температуры и влажности — это непрерывные поверхности. Их значения также непрерывно распределены, но мы не можем регистрировать их в каждой точке. Вместо этого мы выбираем отдельные точки для представления всего распределения. Мы познакомимся с тем, как это делается, чтобы гарантировать адекватную

запись наших наблюдений.

В то время как даже непрерывные поверхности представляют определенные проблемы для исследователя, многие другие объекты не распределены непрерывно по всей области исследования; наоборот — они встречаются как дискретные объекты в определенных местоположениях. Но поскольку они встречаются очень часто, или потому что мы хотим регистрировать их на очень большой площади, эти дискретные данные также должны подвергаться частичной выборке.

В одних случаях, как с непрерывными данными, мы будем делать отборы в определенных точечных местоположениях; в других мы должны собирать данные на всю площадь сразу. Например, путешествуя по Соединенным Штатам, мы наверняка обнаружили бы разницу в плотности населения в каждом округе. Вместо того чтобы тратить время на объезд всех округов и регистрацию отдельных людей на каждой остановке, мы просто берем число людей для каждого из примерно 3000 округов и используем их в качестве точечных замеров. В обоих случаях мы можем создать карты, которые напоминают изолинии топографической карты, исходя из предположения, что данные присутствуют повсюду. Таким образом, мы можем создать либо карту изолиний или блок-диаграмму, которая показывает форму распределения. И хотя мы знаем, что наши объекты не являются непрерывными, эти методы можно применять ради простоты представления картины распределения. Кроме того, мы увидим, как эти методы могут использоваться для предсказания значений распределений в местах, в которых мы не делали замеров.

Время от времени мы будем фиксировать положения отдельных точечных объектов без указания каких-либо числовых атрибутов, так как эти данные представляют только местоположения точек; как следствие, мы не можем представлять их в форме карты изолиний или блок-диаграммы (тем не менее, существуют способы создания регионов на основе этих точечных паттернов, и мы увидим, почему такой выбор делается, и как это реализуется в ГИС.)

Независимо от того, являются ли наши данные, представленные поверхностями, дискретными или непрерывными, их важность трудно переоценить. Первые ГИС создавались на основе моделей данных, разработанных для явлений, связанных с поверхностями (как, например, моделирование загрязнений). Современное специализированное программное обеспечение, часто связанное с ГИС, разрабатывалось для выполнения разнообразных операций представления данных, моделирования поверхностей, расчета объемов на основе поверхностей. Сейчас имеются огромные объемы поверхностных данных в форме, совместимой с ГИС, особенно связанные с рельефом и климатом. Со временем объем поверхностных данных будет расти со все большей

скоростью по мере того, как будет все более очевидной важность анализа поверхностей.

Вследствие высокой важности и доступности поверхностных данных можно рассмотреть данную тему в отдельности, несмотря на ее включение в предыдущие главы. Мы изучим виды данных, которые могут быть использованы в поверхностном моделировании, различные модели поверхностей, которые могут применяться для их отображения, узнаем, как предсказывать отсутствующие данные поверхности и как эти результаты могут использоваться в принятии решений. Мы также рассмотрим некоторые распространенные типы данных, представленных поверхностями, узнаем, как они были созданы, как мы можем использовать их в своей работе, как их можно преобразовывать в модели данных различных типов. И мы увидим, как можно создавать поверхностные данные по точечным наблюдениям разнообразных природных и антропогенных феноменов, чтобы поднять их ценность для моделирования.

Если ваш интерес в ГИС связан с моделированием, планированием, принятием решений или просто разработкой баз данных, вам необходимо знакомство с данными и методами для создания, изменения и моделирования поверхностей. Если ваш интерес к этим данным обусловлен использованием их в собственной работе, применимость этой главы, возможно, более очевидна, чем для тех, кто будет работать над созданием баз данных для других. Для второй группы важно понимание того, когда и почему данные должны представляться в этом формате.

## ЧТО ТАКОЕ ПОВЕРХНОСТЬ?

Поверхности - это объекты, которые чаще всего представляются значениями высоты  $Z$ , распределенными по области, определенной координатами  $X$  и  $Y$ . Параметр  $Z$  чаще всего ассоциируется с высотой рельефа местности, но не обязательно. На самом деле, любые измеримые величины, которые могут встречаться на определенной территории, могут рассматриваться как образующие поверхность. Обычно используется термин "статистическая поверхность" (statistical surface), поскольку значения параметра  $Z$  часто можно трактовать как статистическое представление величины рассматриваемых явлений или объектов [Robinson et al., 1995]. Возможно потому, что статистические поверхности расширяют наш географический фильтр включением таких параметров, как плотность населения, доход, плотность животных, атмосферное давление, они рассматриваются как одни из наиболее важных картографических концепций.

За статистическими поверхностями стоит идея о том, что  $z$ -величина либо

непрерывна по интересующей нас области, либо может считаться непрерывной в целях моделирования и картографирования. Статистические поверхности, образованные величиной, определенной во всех точках изучаемой области, называются непрерывными (continuous) (см. Рисунок 2.3). Те же, что встречаются только индивидуально, но с некоторым различием в числе на единицу площади (такие, как число домов на квадратный километр в каждой окрестности), называются дискретными (discrete) (см. Рисунок 2.3). Понимание статистических поверхностей этих двух типов может оказаться сложным, поэтому мы рассмотрим их по отдельности.

Говорят, что непрерывные данные присутствуют в каждой возможной точке области. То, есть, существует возможность получения отчета этой величины на сколь угодно малой площади где угодно в рассматриваемой области. Мы знаем, например, что температура имеется повсюду. Мы можем измерить ее в любой точке. Если мы это сделаем, то увидим, что она постепенно меняется от точки к точке непрерывной последовательностью. В некоторых случаях эти изменения невелики, возможно, менее чем на одну десятую градуса через 100 метров. Мы говорим, что имеем дело с гладкой поверхностью (smooth surface), с небольшим изменением статистической информации на единицу расстояния. Однако, в других случаях, например, когда мы пересекаем границу между двумя совершенно различными воздушными массами, значения температуры меняются очень резко. Такую поверхность мы называем неровной (rough), поскольку имеется резкое изменение статистических данных на небольшом расстоянии.

Определение статистической поверхности как непрерывной означает, что имеется бесконечное количество точек, в каждой из которых может быть свое значение. Однако, провести измерения в бесконечном числе точек — физически невозможно, также как невозможно хранить бесконечный объем данных. Поэтому определение непрерывной поверхности с помощью бесконечного числа точек должно быть заменено моделью, которая использует существенно важные отсчеты (samples) рассматриваемой величины. Эти отсчеты представляют наиболее важные изменения поверхности как упрощенное представление.

## Изображение поверхностей на картах

Статистические поверхности могут представляться посредством плотности точек, хороплет, дасиметрии и изолиний. Первые три чаще всего имеют дело с дискретными поверхностями, и мы их пока отложим. Четвертый метод наиболее часто используется для непрерывных данных, хотя он может использоваться и для дискретных данных, если принять, что



они являются непрерывными. Мы можем представить его себе как последовательность линий, окружающих нашу топографическую поверхность. Каждая линия, обычно называемая горизонталью в топографическом контексте, представляет все точки, имеющие одну и ту же высоту. Общее название линий, соединяющих точки одинаковых значений статистической величины, — изолиния. Рисунок 10.1 показывает перспективный вид топографического объекта с начерченными на нем горизонталями (изогипсами).

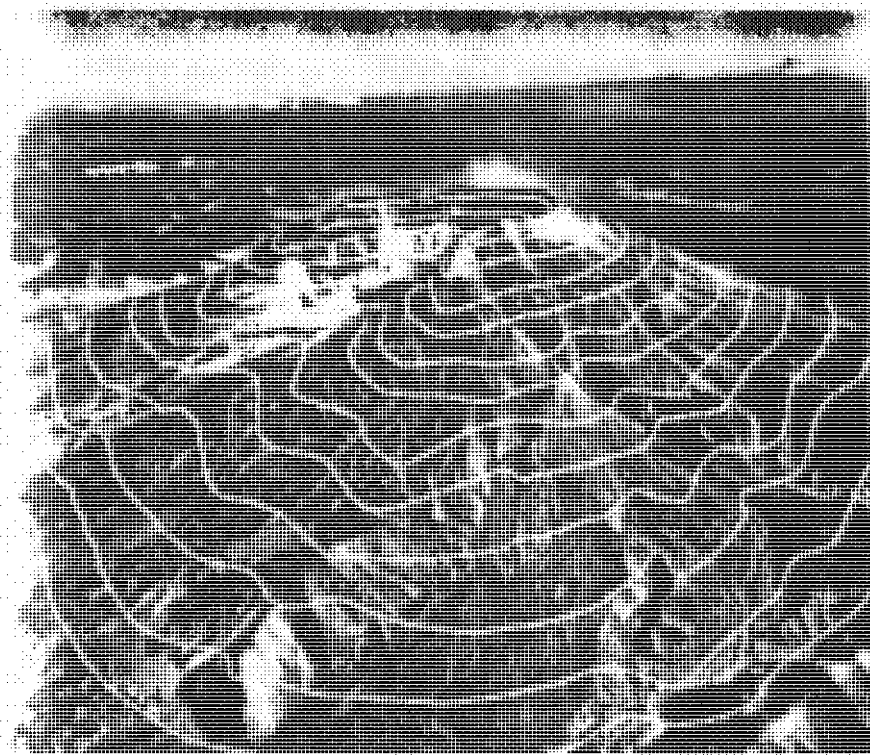


Рисунок 10.1. Перспективный вид поверхности с горизонталями. Топографическая поверхность с горизонталями, которые используются для представления ее на карте при виде сверху.

При взгляде сверху изолинии выглядят как последовательность непересекающихся линий. Если они представляют топографический объект, такой как холм, то они замкнуты и очерчивают объект; если нет, то продолжаются до краев карты. То, что мы видим, есть *линейные символы* для отображения *поверхностных* данных. Более того, они позволяют нам наблюдать конкретные формы рельефа местности. Например, горизонтали, пересекающие речные долины, обычно выглядят как буква V, указывающая вверх по течению; на крутых склонах горизонтали расположены более плотно по сравнению с пологими склонами. Мы говорили прежде о классификации на основе уклона. Теперь вы видите, как для представления уклона могут применяться традиционные горизонтали (Рисунок 10.2).

Мы можем обнаружить другой важный аспект изолиний, посмотрев еще раз на Рисунок 10.1. Расстояние по вертикали между любыми горизонталями одинаково, и это не случайно.

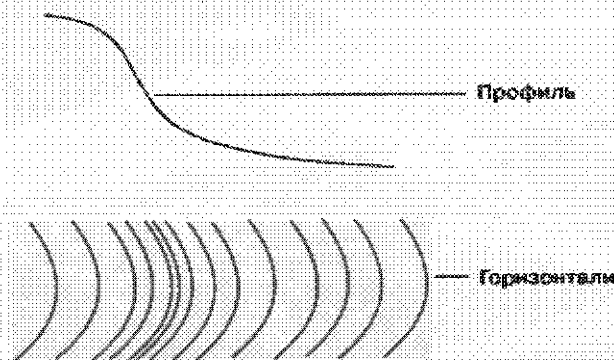


Рисунок 10.2. Расстояние между горизонталями и конфигурация поверхности. Более крутой уклон показывается более часто следующими горизонталями.

Расстояние по вертикали выбирается таким, чтобы читающему карту было легче понимать, что эти линии представляют. Каждая карта имеет собственное вертикальное расстояние между горизонталями, в зависимости от быстроты изменения высоты. Эта установленная величина, называемая *интервалом между изолиниями* (contour interval), используется для деления (или квантования) изменения Z-величины на равные интервалы высот. Если бы мы использовали разные интервалы между соседними горизонталями, то не смогли бы интерпретировать частоту их следования как показатель уклона.

## ВЫБОРКА СТАТИСТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Существуют два основных метода получения Z-значений поверхности. Первый использует отобранные точки, и в этом случае карта изолиний называется *изометрической* (isometric). Этот метод наиболее часто применяется к построению горизонталей. Он также используется при создании карт атмосферного давления, температуры и других, получаемых на основе данных метеостанций, расположенных в определенных точках по всему земному шару. Но мы можем также работать и с данными, представляющими не точки, а небольшие области. Вспомним пример с численностью населения округов США. Хотя мы знаем, что эти данные — дискретные, при желании мы можем обращаться с ними как с непрерывными. Так что, предположив, что каждый из этих округов является точкой, мы можем создать карту изолиний такого же типа, как и в случае измерения параметра в отдельных точках.

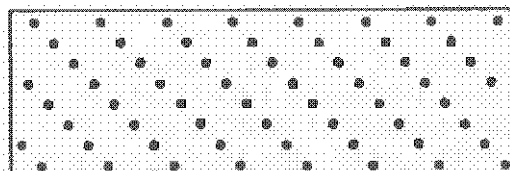
Этот тип карт, называемых картами *изоплет* (isopleth map), требует от нас определения положений этих точек. Центроиды, которые могут использоваться в качестве таких точек, мы уже рассматривали\*.

В случае изоплетных карт существуют два подхода к выбору точек измерений. Первый называется *регулярной сеткой* (regular lattice, regular grid), так как точки расположены в узлах решетки, образованной прямыми линиями (Рисунок 10.3а). Регулярная сетка имеет преимущество простоты, тогда не требуется задумываться о выборе точек измерения. Правда, существует некоторая сложность в выборе интервала между точками, так как поверхности могут быть как сильно пересеченными, так и сравнительно гладкими. В первом случае говорят о большем количестве информации на единицу площади, поскольку каждое изменение высоты является потенциальным элементом информации о форме поверхности. С увеличением плотности поверхностной информации требуется и большая плотность точек измерений. А это ведет нас ко второму методу отбора точек, основанному на *нерегулярной сетке* (irregular lattice) (Рисунок 10.3б).

В случае нерегулярной сетки мы определяем плотность точек на основе априорного представления о гладкости поверхности. Здесь мы не фиксируем плотность точек ни по горизонтали, ни по вертикали. Нет ограничения и по количеству точек в любой заданной области. Хотя может показаться, что

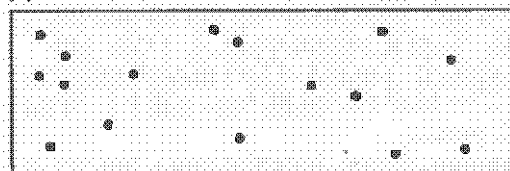
\* Здесь нужно уточнение. Изаритмами называются "истинные" изолинии (они же — изометрические линии), т.е. линии равных значений непрерывной статистической величины. Существуют также изоплеты — линии равных значений дискретной статистической величины, они называются также псевдоизолиниями, так как между ними статистическая величина может измениться скачком или быть неопределена. Внешне те и другие выглядят одинаково, но суть их различна. Изоплетами обычно изображаются вычисленные, а не измеряемые непосредственно величины. см.: Салищев К.А. Картоведение. М.: Изд-во МГУ, 1990. — *прим. автора*.

отсутствие ограничений приведет к росту числа точек измерений, на самом деле это не обязательно так.



(a)

Регулярно расположенные точки измерений привязаны к установленным парам координат  $X, Y$



(b)

Нерегулярно расположенные точки требуют меньшего числа измерений для представления поверхности

**Рисунок 10.3.** Регулярная (a) и нерегулярная (b) сетки. Точки могут быть как самими местами измерений, так и представителями данных в БД ГИС.

Мы можем получить хорошую модель поверхности при меньшем числе точек, уменьшая их плотность на относительно гладких участках по сравнению с тем, что требовалось бы при использовании регулярной сетки. Более высокая плотность точек на таких участках не дает по существу новой информации, а только приводит к ненужному расходу времени и сил на сбор данных, а также места для их хранения.

## ЦИФРОВЫЕ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА

Определив процедуры выбора точек измерений, нам нужно понять, как поверхность может быть представлена внутри компьютера, как в растровых, так и в векторных системах. Мы уже имели дело с моделью нерегулярной триангуляционной сети (TIN), однако она является лишь одним из способов представления  $Z$ -величин в компьютере, вместе образующих группу "цифровых моделей рельефа" (ЦМР) (digital elevation models (DEMs)). Это могут быть математические модели (mathematical models) или наглядные, визуальные модели (image models)\* (включая TIN), разработанные для обработки полевых данных или представления на бумажной карте [Mark, 1978]. Хотя математические модели весьма полезны, большинство

\* по-видимому, автор имеет в виду аналитическое (формулой) и наглядное (как набор точек) представление поверхностей - *прим. перев.*

имеющихся сегодня ЦМР являются моделями изображения, поэтому мы фокусируемся именно на них. Модели изображения бывают двух типов: основанные на точках и основанные на линиях.

Модели изображения на основе линий — почти что графический эквивалент традиционного метода карт изолиний. Во многих случаях такие модели создаются сканированием или оцифровкой существующих изолиний. Целью является извлечение формы поверхности из имеющихся линий, которые ее представляют. После ввода эти данные представляются либо как линейные объекты, либо как полигоны с определенной высотой в качестве атрибута. Поскольку на такой модели данных неудобно определять бассейн, экспозицию или создавать отмычку рельефа, обычно ее преобразуют в точечную модель. В результате получается то, что называют дискретной матрицей высот (discrete altitude matrix).

Эта матрица соответствует методу точечного изображения поверхности, где каждая точка несет одно значение высоты. Это в чем-то похоже на дискретизацию непрерывной поверхности. Подобно полевым методам съемки топографии, матрица высот использует множество точек, избранных из стереопар или аэрофотоснимков, обычно с применением устройства под названием аналитический стереоплоттер (analytical stereoplottter), который определяет значения высот по смещению между двумя изображениями [Kelly et al., 1977]. Также, как и в полевых измерениях, аналитик может использовать регулярную или нерегулярную сетку. Поскольку регулярная сетка приводит к избыточности данных на участках с минимумом топографической информации и недостатку данных на участках с большим объемом топографической информации, нерегулярная сетка более предпочтительна.

Автоматические сканирующие стереоплоттеры [сами] повышают плотность выборки на участках быстро меняющейся топографии, что существенно упрощает дело [Markarovic, 1973].

Нерегулярные сетки могут быть преобразованы в модель TIN двумя способами. Первый заключается в использовании самих точек сетки в качестве вершин треугольных граней TIN. Его достоинство — в отсутствии требования ввода дополнительных данных. Во втором подходе расстояния между точками и их значения высот используются при интерполяции (interpolation) значений вершин регулярной матрицы треугольных граней TIN. Интерполяция как аналитическая техника будет рассматриваться в следующей главе. Хотя в результате интерполяции повышается количество точек, представляющих данные матрицы высот, интерполированные значения не так точны, как измеренные\*. Таким образом, любая модель, созданная с применением этой техники, имеет дополнительный объем

\* Точнее, есть некоторая степень фундаментальной неопределенности этих значений. Здесь есть и парадоксальный момент: с точки зрения теории информации добавление

погрешности по высоте.

ЦМР легко могут быть получены для многих частей мира как матрицы высот с сетками 63,5 м, полученными с топографических карт масштаба 1:250'000; появляются и сетки с карт более крупного масштаба, таких как 1:25'000, и аэрофотоснимков (Приложение 1). Среди преимуществ ЦМР, полученных с помощью интерполяции с созданием регулярной матрицы, является легкость ввода в растровые ГИС. ЦМР, целиком основанные на нерегулярной сетке, при вводе в растровые ГИС должны будут подвергаться растровой интерполяции. Далее мы рассмотрим представление непрерывных поверхностей в растровых ГИС и процессы интерполяции.

## РАСТРОВЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

В растровой модели данных каждая ячейка может иметь только одно значение высоты. По сути, это приводит к тому, что непрерывная пространственная величина получает дискретное представление (Рисунок 10.4). Помимо того, что каждая ячейка раstra имеет только одно значение высоты, она еще и занимает некоторую площадь, с увеличением которой снижается точность представления поверхности в растровой модели данных.

Таким же важным, как и размер ячейки, является вопрос о том, где в ее пределах находится реальная точка присвоенной ячейке высоты. Вы можете указать это положение: центр ячейки или один из четырех ее углов (Рисунок 10.4). При анализе топографических поверхностей выбор этих точек будет иметь влияние на результаты вычислений. Например, при определении маршрутов наименьшей стоимости в Главе 8 мы начинали в центре каждой ячейки раstra, так как считали, что значение высоты относилось именно к этой точке.

Если бы ячейки были закодированы так, что значение высоты относилось к одному из четырех углов, то вычисленные расстояния были бы смещены по меньшей мере на половину ширины ячейки. Поэтому, прежде чем анализировать такие величины, как расстояния, уклон и экспозицию склона, вам следует уточнить, где ваша растровая ГИС на самом деле помещает значения высот.

Во многих случаях данные будут доступны только для части узлов сетки, используете ли вы растровую или векторную модель. Скорее всего вы получите высотные данные как матрицу высот в одной из двух форм, которые мы обсуждали — регулярной или нерегулярной сетки. Если регулярная сетка достаточно мелка, чтобы соответствовать вашему размеру ячеек раstra, то

интерполированных точек снижает количество информации, приходящееся на каждую точку, так как сама интерполяция не увеличивает количество информации. Если же мы используем интерполированные точки вместо измеренных, то должны также оценивать и достоверность интерполированных данных — *прим. перев.*

вы сможете легко преобразовать значения высоты в каждой вершине сетки непосредственно в значения высот ячеек раstra (опять же, решив заранее, где будут расположены точки высот). Когда данные представлены в форме регулярной сетки, перед вами встанет необходимость оценивать или предсказывать все отсутствующие значения. Этот процесс, называемый интерполяцией, необходим, потому что все ячейки раstra должны иметь значения высоты. Как мы увидим позже, интерполяция — полезный аналитический инструмент для моделирования, как сама по себе, так и при объединении с другими методами анализа для построения более сложных моделей.

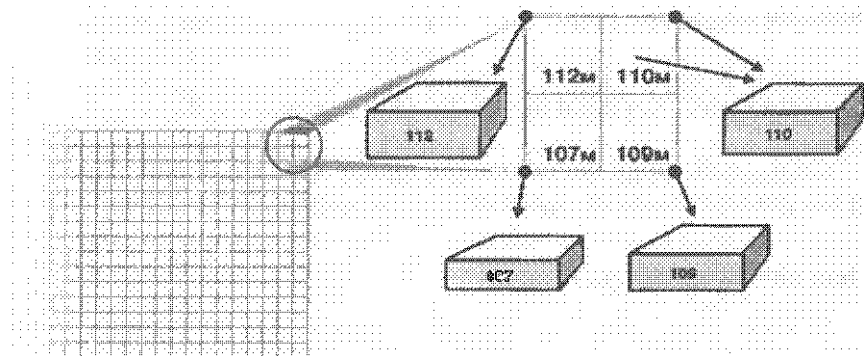


Рисунок 10.4. Дискретизация поверхности. Растровое представление непрерывной поверхности. Каждой ячейке присваивается определенное значение высоты. Чтобы обеспечить точный анализ в дальнейшем, важно решить, где именно в пределах ячейки находится точка с этой высотой.

## ИНТЕРПОЛЯЦИЯ

Поскольку для непрерывных поверхностей, — топографических, экономических, демографических или климатических мы используем выборку, — нам нужна возможность изображать с приемлемой точностью наблюдаемые объекты. В традиционной картографии, например, точечные значения выборки высот или значений для других статистических поверхностей преобразуются в визуальную форму, использующую изолинии. Но нам нужна возможность создания и других форм визуального представления, таких как блок-диаграммы и карты отмывки рельефа. И, конечно, нам нужна возможность определения уклонов, экспозиций склонов и поперечных сечений и предсказания неизвестных значений высот для объектов, на которые у нас нет соответствующих данных. Интерполяция

обеспечивает многое из того, что нужно для выполнения этих операций.

Процесс интерполяции теоретически может быть очень прост, но он требует одно априорное утверждение. Вначале давайте рассмотрим математическую основу интерполяции на примере математических прогрессий. Прогрессии — это числа, которые расположены в определенном порядке. Последовательность

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

является линейной или арифметической прогрессией, так как каждая пара соседних чисел имеет постоянную разность (в данном случае 1). Другие примеры арифметических прогрессий:

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 (разность = 10)

1000 900 800 700 600 500 400 300 200 100 (разность = -100)

Существует также разновидность прогрессий, где вместо сложения используется умножение, такая прогрессия называется геометрической.

## Линейная интерполяция

Внутри этих простых последовательностей мы можем легко идентифицировать упомянутое выше априорное утверждение, а именно то, что каждое последующее число определяется простым математическим действием. Если мы можем распознать это действие, то сможем восстанавливать пропущенные значения. Так, например, если нам известно, что в последовательности {30, 40, 60, 70, 80, 100} пропущены два числа, то мы можем предположить, что эта последовательность является арифметической прогрессией и что между парами чисел (40, 60) и (80, 100) пропущены числа 50 ( $= 40 + 10$ ) и 90 ( $= 80 + 10$ ). Это, по сути, и есть линейная интерполяция (linear interpolation), используемая для определения неизвестных значений высот между точками с известными значениями высоты.

Возьмем простой пример, показанный на Рисунке 10.5. Здесь изображена последовательность точек со значениями высоты от 100 м до 150 м. Если мы предположим, что поверхность меняется линейным образом, как и арифметической прогрессии, то становится очевидным, что четыре числа на равных промежутках друг от друга могут быть проинтерполированы как 110, 120, 130 и 140 метров высоты.

Если мы сделаем это для всей поверхности, а не для одного сечения, то сможем получить значения для всех точек с интервалом по 10 метров. Соединив плавными линиями эти точки, мы сможем создать контуры для

100, 110, 120, 130, 140 и 150 м. То есть, мы создадим карту изолиний, позволяющую визуализировать объекты по высоте.

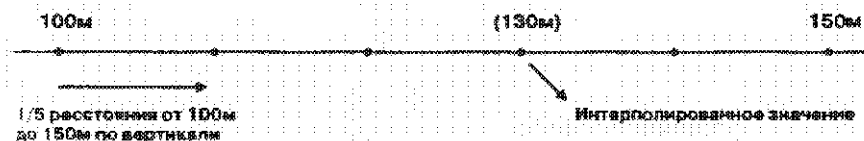


Рисунок 10.5. Линейная интерполяция. Поиск пропущенных значений между метками 100 и 150 м.

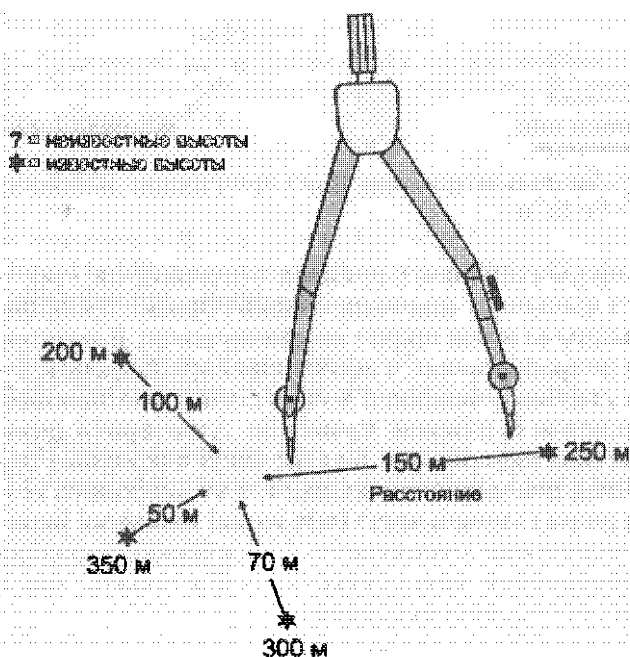
До сих пор мы имели дело с линейной интерполяцией, предполагая, что поверхность изменяется линейным образом. Однако, последовательность расчетов высоты не всегда следует линейному закону. В некоторых случаях она скорее логарифмическая, в других может предсказываться только для небольших участков поверхности. В таких случаях линейная интерполяция не даст адекватных результатов. Кроме того, существуют и другие подходы к поверхности информации, которые могут потребовать определения общего закона изменения поверхности, а не детального ее описания. Некоторые из этих методов могут быть весьма сложными математически, так что мы ограничимся концептуальным уровнем рассмотрения некоторых методов нелинейной интерполяции, чтобы понять, как их можно использовать в ГИС наилучшим образом.

## Другие методы интерполяции

Здесь мы рассмотрим три метода интерполяции: метод обратных взвешенных расстояний (ОВР), метод поверхности тренда и кригинг. Есть книги, детально рассматривающие и многие другие методы [Burrough, 1983; Davis, 1986], здесь мы ограничимся только самыми известными.

Метод ОВР исходит из предположения, что чем ближе друг к другу находятся точки данных, тем ближе их значения. Например, двигаясь по склону холма, вы можете отметить большее сходство в значениях высоты в близлежащих к вашему текущему положению точках по сравнению с точками, которые удалены гораздо дальше. То же можно было бы сказать, если бы вы двигались по равнине. Для более точного описания топографии нам нужно выбрать точки окрестности, которые демонстрируют это сходство поверхности. Это достигается несколькими приемами поиска, включая определение окрестности на заданном удалении от каждой точки, предварительным заданием числа точек выборки данных или выбором определенного числа точек в квадрантах или октантах (когда, например, для интерполяции используется одна точка из каждого квадранта) [Clarke, 1990].





**Рисунок 10.6.** Интерполяция со взвешиванием по расстоянию. Заметьте, что близкие точки оказывают большее влияние, чем удаленные. Например, недостающая величина будет ближе к отметке высоты 350 вследствие ее большей близости к интерполируемой точке.

Какой бы метод ни использовался, компьютер должен измерять расстояние между каждой парой точек и от каждой начальной точки. Затем значение высоты в каждой точке взвешивается в зависимости от квадрата расстояния, так что более близкие точки вносят больший вклад в определение интерполируемой высоты по сравнению с более удаленными (Рисунок 10.6). Существуют многие модификации этого подхода. Одни методы сокращают объем вычислений применением "поиска с обучением" [Hodgson, 1989], другие используют в качестве весового коэффициента вместо второй степени третью или более высокую, третьи учитывают барьеры, представляющие береговую линию, скалы или иные непреодолимые объекты, которые могут воздействовать на результаты.

интерполяции [Shepard, 1968]. Как и при использовании барьеров в других видах моделирования, процесс интерполяции не может распространяться через барьер.

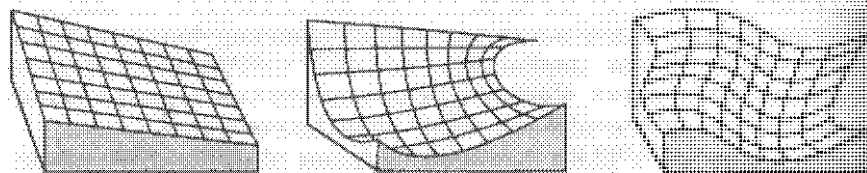
В некоторых случаях нас больше интересует общие тенденции поверхности, нежели точное моделирование мелких неровностей. Например, нас может интересовать общее распределение населения по стране для демографического исследования, или подход к каменноугольному пласту с поверхности, чтобы определить, сколько необходимо удалить поверхностного грунта. Наиболее распространенный подход к такой характеристике поверхности называется поверхностью тренда.

Как и в методе ОВР, для поверхностей тренда мы используем наборы точек в пределах заданной окрестности, которая строится на основе любого из способов, перечисленным для методов со взвешиванием. В пределах каждой окрестности строится поверхность наилучшего приближения на основе математических уравнений, таких как полиномы или сплайны (polynomials, splines). Эти уравнения являются нелинейными зависимостями, которые аппроксимируют кривые или другие формы числовых последовательностей. Чтобы построить поверхность тренда, каждое из значений в окрестности подставляется в уравнение. Из уравнения, использованного для построения поверхности наилучшего приближения, получается одно значение и присваивается интерполируемой точке. Процесс продолжается для других целевых точек; кроме того, поверхность тренда может быть расширена на все покрытие.

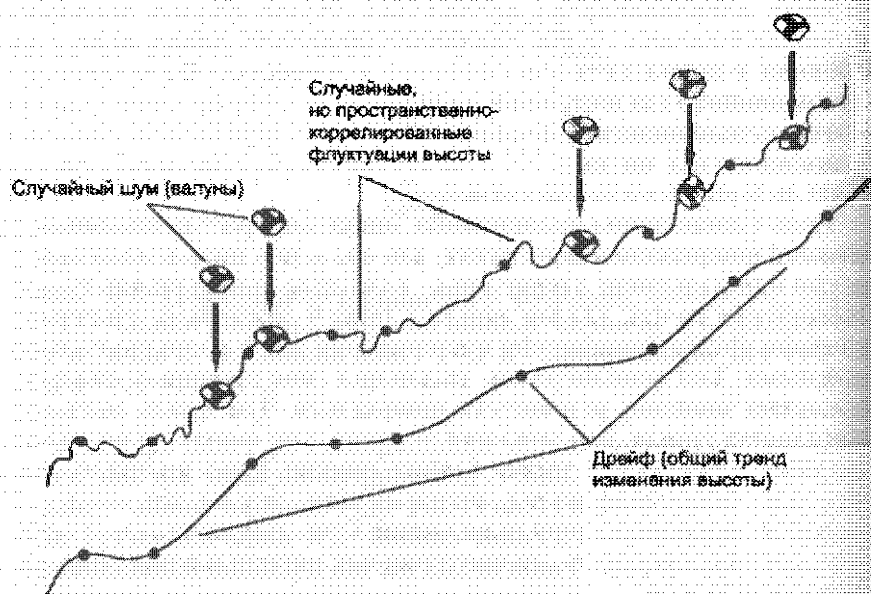
Число, присваиваемое целевой ячейке, может быть простым средним всех значений поверхности в окрестности, или оно может быть взвешенным с учетом определенного направления, в котором ориентирован тренд. Поверхности тренда, как мы видели в Главе 9, могут быть плоскими, доказывая общую тенденцию для всего покрытия, или они могут быть более сложными. Тип используемого уравнения (или степень полинома) определяет величину волнистости поверхности. Чем проще выглядит поверхность тренда, тем меньший порядок, как говорят, она имеет. Например, поверхность тренда первого порядка будет выглядеть как плоскость, простирающаяся под некоторым углом по всему покрытию, т.е. она имеет тенденцию в одном направлении. Если поверхность имеет один изгиб, то такую поверхность называют поверхностью тренда второго порядка (рисунки 10.7), и т.д.

Последний рассматриваемый метод интерполяции, кригинг (kriging), оптимизирует процедуру интерполяции на основе статистической природы поверхности [Oliver and Oliver, 1990]. Кригинг использует идею регионализированной переменной (regionalized variable) [Blais and Carlier, 1967; Matheron, 1967], которая изменяется от места к месту с некоторой видимой непрерывностью, но не может моделироваться только одним

математическим уравнением. Оказывается, многие топографические поверхности подходят под это описание, также как и поверхности изменения качества руды, вариации качества почв и даже некоторые показатели растительности.



**Рисунок 10.7.** Порядки поверхностей тренда. Поверхности первого, второго и третьего порядка в зависимости от сложности полинома, используемого для представления поверхности.



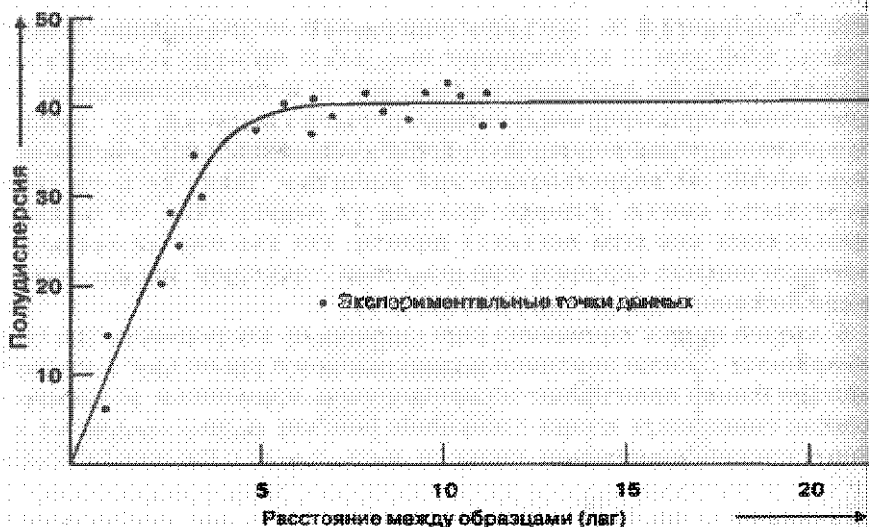
**Рисунок 10.8.** Элементы кригинга. Дрейф (общая тенденция), случайные, но пространственно коррелированные высотные колебания (небольшие отклонения от общей тенденции), и случайный шум (камни), иллюстрируемые восхождением по склону горы.

Кригинг обрабатывает эти поверхности так, считая их образованными из трех независимых величин. Первая, называемая дрейфом или структурой (drift or structure) поверхности, представляет поверхность как общий тренд в определенном направлении. Далее, кригинг предполагает, что имеются небольшие отклонения от этой общей тенденции, вроде маленьких пиков и впадин, которые являются случайными, но все же связанными друг с другом пространственно (мы говорим, что они пространственно коррелированы). Наконец, мы имеем случайный шум (random noise), который не связан с общей тенденцией и не имеет пространственной автокорреляции. Кларк [Clarke, 1990] удачно иллюстрирует этот набор значений посредством аналогии: когда мы идем вверх по горе, рельеф местности изменяется в восходящем направлении между отправной точкой и вершиной; это - дрейф. По пути мы встречаем локальные снижения и повышения, сопровождаемые случайными, но коррелированными высотами. Также по пути нам встречаются камни, которые приходится переступать, их можно представлять как шум значения высоты, так как они не связаны непосредственно с основной поверхностной структурой, прежде всего создающей изменения высоты (Рисунок 10.8).

С каждой из трех переменных надо оперировать в отдельности. Дрейф оценивается с использованием математического уравнения, которое наиболее близко представляет общее изменение поверхности, во многом подобно поверхности тренда. Ожидаемое значение высоты измеряется с использованием вариограммы (variogram, semivariogram) (Рисунок 10.9), на которой по горизонтальной оси откладывается расстояние между отсчетами, называемое лагом (lag), вертикальная ось несет так называемую полудисперсию (semivariance), которая определяется как половина дисперсии (квадрата стандартного отклонения) между каждым значением высоты и его соседями.

Таким образом, полудисперсия является мерой взаимосвязи значений высоты, зависящей от того, как близко друг к другу они находятся. Затем через точки данных проводится кривая наилучшего приближения, давая нам меру пространственно-коррелированной случайной компоненты. Посмотрев внимательно на график полудисперсии, вы можете заметить, что когда расстояние между точками отсчета высоты мало, полудисперсия тоже мала. Это значит, что значения высоты близки и, следовательно, взаимосвязаны вследствие их пространственной близости. С ростом расстояния между точками растет и полудисперсия, показывая быстрый спад пространственной корреляции значений. Наконец достигается критическое значение лага, известное как предельный радиус корреляции (range), при котором дисперсия достигает предела и в дальнейшем остается постоянной. Чем ближе друг к другу находятся отсчеты внутри диапазона роста (т.е. от нуля до точки прекращения роста кривой на графике), тем более похожими

они должны быть. За пределами радиуса корреляции расстояние между точками не имеет значения, они совершенно независимы на любом удалении, превышающем радиус. Это говорит нам о том, какая окрестность должна быть использована (например, в ОВР-интерполяции), чтобы охватить все точки, значения высоты которых будут взаимосвязаны.



**Рисунок 10.9. Пример вариограммы.** Она показывает связь между точками данных и аппроксимирующей линией. Обратите внимание, что в некотором диапазоне значений лага высоты связаны друг с другом (дисперсия высот связана с лагом), а вне его нет вообще никакой связи (дисперсия достигает максимального значения), так как точки находятся слишком далеко друг от друга.

Третьим по важности моментом графика является то, что аппроксимирующая кривая не проходит через начало координат. По идее, если между отсчетами нет расстояния, то не должно быть и дисперсии, так как отсчеты являются по сути одной точкой. Но нужно помнить, что кривая является оценочной. Разница между нулевой дисперсией при нулевом лаге и предсказываемым положительным значением является остаточной, пространственно некоррелированной “шумовой” дисперсией, которая называется *остаточной дисперсией* (nugget variance). Как указывает Бэрроу [Burrough, 1986], эта остаточная дисперсия “объединяет дисперсию ошибок

измерения с пространственной дисперсией, которая имеет место на расстояниях, гораздо меньших, чем интервал взятия отсчетов, и которые в дальнейшем не могут быть устранены".

Теперь, имея три составляющие регионализированной переменной, определенные вариограммой, мы можем определить веса, необходимые для выполнения интерполяции в локальных окрестностях. Однако, в отличие от ОВР, веса для интерполяции в пределах окрестностей выбираются с целью минимизации дисперсии оценки для всех комбинаций отсчетов высоты. Эта дисперсия может быть получена непосредственно из модели, по которой была прежде создана вариограмма.

Кригинг существует в двух основных формах. Общий (universal) кригинг, чаще всего применяется, когда поверхность оценивается по нерегулярно распределенным отсчетам при наличии тренда (условие, называемое нестационарностью). Ординарный (ordinary) кригинг является элементарной формой и предполагает, что данные стационарны (не имеют тренда), изотропны и собраны через равные интервалы [Davis, 1986]. Наиболее часто локальный кригинг используется для поиска точечных оценок на основе других точечных данных, а не для определения поверхностей\*.

Кригинг часто дает довольно точные оценки пропущенных значений, но за точность обходится ценой времени и вычислительных ресурсов. Но даже при этом кригинг имеет еще одно преимущество перед другими методами интерполяции, — он не только дает интерполированные значения, но также и оценку возможной ошибки этих значений. Это может навести на мысль, что данный метод следует применять повсеместно, но увы. Когда мы имеем дело с большим уровнем локального шума из-за ошибок измерений или большие вариации высоты между отсчетами, в данном методе становится трудным построение кривой полудисперсии. А в таких условиях результаты кригинга будут не лучше, чем полученные другими методами.

В векторных моделях данных (чаще всего TIN) процесс интерполяции проще всего выполняется выборкой точек с их значениями высоты и преобразованием их в точечную матрицу высот. И уже к этому точечному покрытию может быть применен один из описанных алгоритмов. В

\* Здесь автор не точен. Ординарный кригинг по своей сути является лишь улучшением метода ОВР, в котором учитываются не только расстояния от интерполируемой точки до исходных, но и расстояния между самими исходными точками так, что веса более близких друг к другу исходных точек уменьшаются. Этот метод превосходит простой метод ОВР именно тогда, когда точки расположены с неравными интервалами, благодаря учету пространственной корреляции исходных данных. Разработан также вариант метода, уменьшающий объем вычислений в случае интерполяции многих точек при размещении исходных точек в узлах регулярной сетки, он называется блочным кригингом (block kriging). Метод позволяет также учитывать анизотропность, — в этом случае вариограмма аппроксимируется функцией двух независимых аргументов. — *прим. перев.*

действительности, сама модель TIN может выполнять интерполяцию [McCullagh and Ross, 1980], но это мы оставим для более углубленного курса геоинформатики. В растровых покрытиях значения высоты обычно соотносятся с точками, расположенными внутри каждой ячейки (например, в центре). Для интерполяции мы можем использовать именно эти точки и действовать по одному из описанных выше методов. В этом случае интерполируемым ячейкам раstra присваиваются значения высоты, полученные для представляющих их точек. Если ваша ГИС не содержит нужного алгоритма, то, как правило, вы можете преобразовать точечные покрытия в форму, понимаемую специализированным программным обеспечением, рассчитанным на работу с пространственными данными. Затем его выходные данные могут быть преобразованы обратно для дальнейшего анализа внутри ГИС. Существуют и другие обзоры методов интерполяции, к которым вы можете обратиться [Lam, 1983; Flowerdew and Green, 1992].

## ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРПОЛЯЦИИ

Интерполяция полезна для создания изолиний, описывающих поверхности. Она может также использоваться для отображения поверхности средствами блок-диаграмм или карт с отмывкой рельефа. Но для чего еще может использоваться интерполяция? Допустим, что вы планируете жилую застройку и не хотите попасть в зону наводнений, но у вас нет карты, показывающей границы этой зоны. При этом вы знаете, что максимальный уровень наводнений за сто лет составил 60 метров над уровнем моря. У вас также имеются заметки о нескольких прежних участках строительства, и они включают данные высот для каждого построенного дома. Изобразив данные на карте местности, вы можете использовать интерполяцию для оценки высот вашего участка. По этим данным вы сможете начертить изолинию, показывающую зону наводнений за 100 лет, и, просто сравнив ваше местоположение с ней, узнаете, нужно ли менять место.

Теперь предположим, что вы прокладываете шоссе по ненанесенной на карту территории и не можете начать строительство, не зная среднего градиента. Вы можете создать карту поверхности тренда, чтобы показать общий характер уклона. Или, положим, вы являетесь горным инженером, пытающимся определить общий тренд рудного месторождения на основе информации из множества кернов, показывающих вершину и дно залежи. Метод интерполяции поверхности тренда даст информацию о толщине рудного слоя и его уклона под землей. Кроме того, метод кригинга окажется полезным в оценке качества рудного слоя, так как рудные пласты хорошо описываются регионализированными переменными.

На самом деле, существует множество применений интерполяции в различных областях. Если вы хотите предсказать изменения состава почвы вдоль наклонной поверхности, если исследуете тенденции в растительном покрове на удалении от источника воды, или если вы интересуетесь тенденциями изменения численности населения на большой территории, исходя из выборочных данных за прошедшие десятилетия, то все эти виды анализа требуют какого-либо вида интерполяции. О чем вам следует помнить, так это о том, что интерполяция является, по сути, предсказательной моделью.

## ПРОБЛЕМЫ ИНТЕРПОЛЯЦИИ

Мы рассмотрели несколько методов интерполяции, при выполнении которых должны учитываться следующие четыре фактора:

1. Число исходных точек
2. Положения исходных точек
3. Проблема седловых точек
4. Область, содержащая точки данных

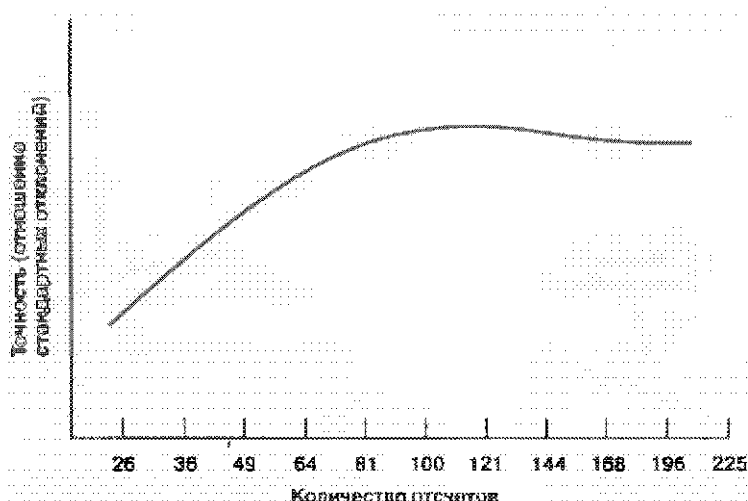


Рисунок 10.10. Точность карты изолиний в зависимости от числа точек данных.

Характерная кривая гипотетического отношения между числом точек и точностью карты.



В общем случае можно сказать, что чем больше исходных точек мы имеем, тем более точной будет интерполяция и тем с большей вероятностью интерполированная поверхность будет хорошей моделью. Однако, существует предел числу отсчетов, которые могут быть сделаны для любой поверхности. Постепенно достигается момент снижения отдачи: большее количество точек не улучшает существенно качество результата, но лишь увеличивает время вычислений и объем данных. В некоторых случаях избыточные данные могут приводить к необычным результатам, поскольку группы точек в областях, где данные могут быть легко собраны, могут создать неравномерное представление поверхности, и, следовательно, неодинаковую точность. Другими словами, большее число точек не всегда улучшает точность: Рисунок 10.10 показывает, что при некотором количестве точек точность на самом деле снижается.

Конечно, количество исходных точек часто является функцией формы поверхности. Чем сложнее поверхность, тем больше точек данных требуется. А для важных объектов, таких как впадины и долины рек, требуются дополнительные точки данных, чтобы гарантировать представление необходимой подробности. Вдобавок, хотя положение точек измерения друг относительно друга имеет влияние на точность интерполяции, сама зависимость не является линейной (Рисунок 10.11).

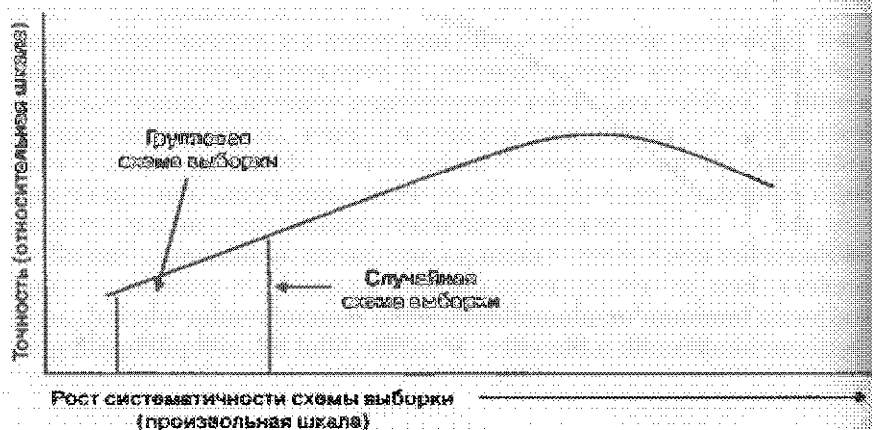


Рисунок 10.11. Распределение отсчетов и точность изолиний. Характеристическая кривая гипотетического отношения между расстоянием между точками данных и точностью контурной карты.

Проблема размещения отчетов усугубляется, когда мы рассматриваем интерполяцию по данным, собираемым по областям, для создания карты изоэтов. Мы знаем, что ГИС имеют возможность определения центроида каждого полигона или центра распределения каждого полигона. Когда точки данных распределены относительно равномерно, легче всего использовать метод центроида ячейки (centroid-of-cell). А метод центра тяжести наиболее полезен, когда точки выборки сгруппированы или неравномерно распределены. Однако, при обоих методах существует вероятность, что центр окажется вне полигона выборки, особенно если полигоны имеют необычную форму. Когда такое случается, наиболее легким решением обычно является "подтягивание" центроида или центра тяжести к наиболее близкой к нему точке полигона (что, вероятно, потребует вмешательства оператора).

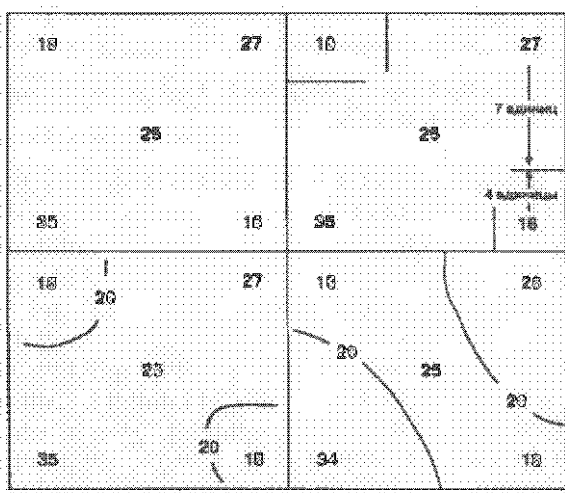


Рисунок 10.12. Проблема седловой точки. Проблема седловой точки с расположением точек в вершинах прямоугольника. Обратите внимание на два возможных решения одной задачи интерполяции.

Проблема седловой точки (saddle-point problem), называемая иногда проблемой альтернативного выбора, возникает тогда, когда две точки одной пары диагонально противоположных Z-значений, образующих прямоугольник, расположены ниже, а две точки другой диагональной пары находятся выше того значения, которое пытается найти алгоритм интерполяции (Рисунок 10.12а)\*. Это обычно случается только при линейной

\* Во-первых, прямоугольник — лишь частный (и пресловутый) случай для данной проблемы.

интерполяции, но когда это происходит, программа встает перед лицом двух возможных решений одного вопроса: где провести изолинию (Рисунок 10.12). Простым способом решения этой проблемы является помещение среднего от двух, полученных по диагоналям, интерполированных значений в точке пересечения диагоналей (Рисунок 10.13).

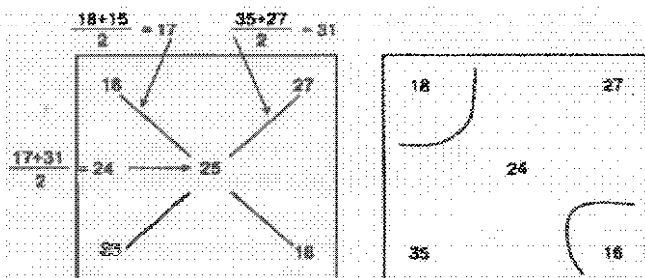


Рисунок 10.13. Решение проблемы седловой точки. Решение использует среднее значение, помещенное точно в центр.

Последняя проблема, которая должна учитываться при интерполяции, является общей для операций в ГИС, имеющих дело с областью, в пределах которой собираются точки данных. А именно, чтобы интерполяция работала должным образом, интерполируемые точки должны быть окружены точками с известными значениями со всех сторон. Но если мы, как часто бывает, выбираем для анализа всю область исследования и используем ту же область для выполнения интерполяции, то вскоре нам придется интерполировать точки вблизи границы области. И с приближением к границе алгоритм интерполяции вынужден использовать исходные точки только с трех и даже двух сторон от интерполируемой. Как мы видели, наилучшие результаты интерполяции достигаются тогда, когда мы можем расширять окрестность по всем направлениям для выбора исходных точек и определения весов. В отсутствие этих окружающих точек алгоритм будет использовать то, что есть, допуская систематическую ошибку вдоль границы.

В качестве примера давайте попробуем выполнить интерполяцию вдоль левой границы карты. Условимся, что эта граница проходит по холму, который поднимается от центра карты к ее левой границе. Смежный лист карты показывает, что холм продолжает расти и за левой границей нашей области. Очевидно, что здесь мог бы быть любой четырехугольник и даже многоугольник с большим числом вершин; можно также показать, что неоднозначность возникает и при других, не образующих столь явного седла, соотношениях значений исходных точек. Во-вторых, это скорее проблема правомерности использования того или другого метода интерполяции, каждый из которых может давать свое решение, в том числе и существенно отличающееся от приведенного. — *прим. перев.*

области исследования. Но так как у нас нет данных с левой стороны границы, алгоритм будет искать соседние точки справа, сверху и снизу от интерполируемой точки на границе, и интерполируемая величина будет подвержена влиянию этих трех направлений. То есть, полученные значения могут оказаться ниже, чем те, которые находятся на смежном листе карты. Следовательно, при выполнении интерполяции появится тенденция недооценки пропущенных значений, что приведет к созданию карты поверхности, вдоль границ которой вычисления уклона, азимута, видимости, маршрута наименьшей стоимости и другие будут ошибочными.

Несмотря на очевидные проблемы при выполнении вычислений поверхности в таких условиях, даже опытные пользователи ГИС попадаются в ловушку выбора точек в пределах только исходной области исследования. Иногда эта процедурная ошибка случается из-за того, что данные о поверхности не были частью первоначального замысла, иногда потому, что область исследования выбиралась на основе границ отдельной карты, а иногда из-за недостатка времени. Бывают и другие причины, но результат — тот же: сомнительная база данных (или даже база сомнительных данных;) и некорректные результаты анализа.

Решение проблемы так же очевидно, как и она сама. Просто расширьте границы покрытия высот за пределы исходной области исследования (рисунк 10.14). Нет необходимости расширять саму область исследования, чтобы удовлетворить потребность в большем количестве исходных точек. Достаточно создать покрытие, внешние границы которого шире исходной области исследования, затем провести интерполяцию, после чего опять вернуться к исходным границам, "отрезав" края (модели высот, модели уклона, области видимости и т.д.). Определение размера дополнительной площади покрытия, необходимой для получения приемлемых результатов интерполяции, — дело трудное. Теоретически, было бы полезно выполнить какого-нибудь рода анализ окрестности, возможно подобный анализу в кртинге, для выяснения, насколько далеко должны располагаться точки данных, чтобы гарантировать, что они не оказывают влияния на соседние значения высот, но это требует времени. Наилучший совет — перестраховаться, расширяя область настолько, чтобы гарантировать правильность вычислений. Чаще всего достаточно расширения на 10% в каждую сторону для обеспечения хороших результатов, но при этом следует учитывать и сложность поверхности.

Чем более быстро изменяется высота вблизи границ, тем больше они должны быть расширены, — чтобы уравновесить влияние соседних исходных точек, воздействующих на интерполируемые значения. Здесь нет стандартных инструкций, вам понадобится собственный опыт и знание ваших данных. Любое расширение границ улучшит качество анализа и всегда лучше, чем полное отсутствие расширения.

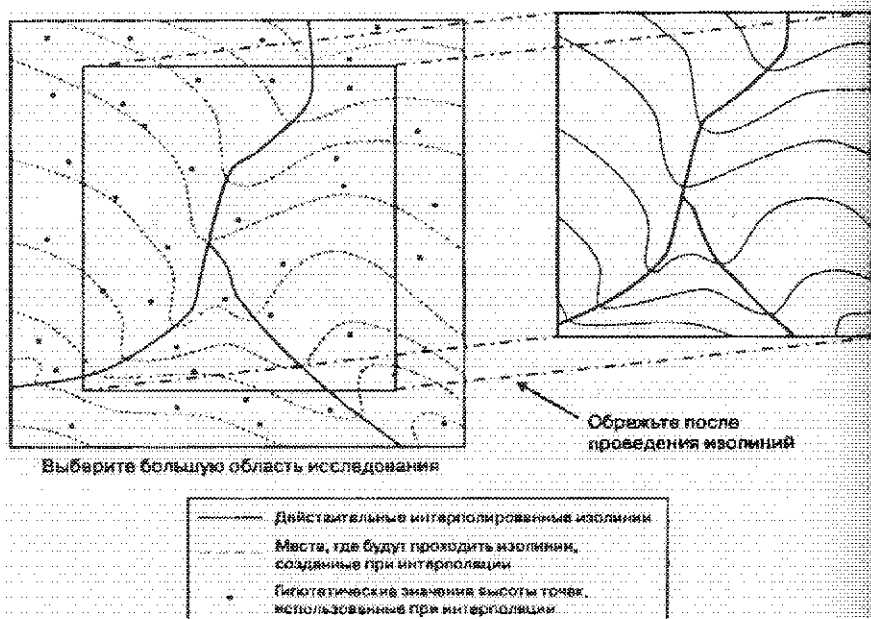


Рисунок 10.14. Как избежать ошибки интерполяции на краях карты. Решение проблемы отсутствующих данных для интерполяции на краях области изучения. Мы расширяем область изучения и выполняем интерполяцию или другие поверхностные процедуры, затем законченное покрытие может быть обрезано.

## НАРЕЗКА СТАТИСТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Как было сказано выше, основным методом отображения информации о поверхности является использование изолиний, которые проводятся через установленные интервалы. Выбранный интервал позволяет передавать форму поверхности, при этом мы полагаем, что высота между контурными линиями изменяется непрерывным образом, так как считаем саму поверхность непрерывной. Мы также полагаем, что интервал выбирается таким, чтобы отобразить форму поверхности наилучшим образом. Большинство растровых и векторных ГИС позволяет изменять этот интервал и даже преобразовывать область каждого интервала в плоскую поверхность. Для простоты мы будем называть эту группу методов нарезкой (slicing) и представлять их выполнение как множественное рассечение поверхности

по горизонтали острым ножом.

Нарезка может быть просто делом выбора другого контурного интервала, позволяющего по-иному взглянуть на особенности рельефа поверхности (Рисунок 10.15). Например, мы могли бы увеличить интервал между изолиниями, чтобы выявить общую форму объектов без избыточных подробностей. Хорошая визуализация дает представление о тенденциях без необходимости реального вычисления поверхностного тренда. И наоборот, чтобы увидеть больше деталей, мы можем уменьшить вертикальный интервал между изолиниями. Конечно же, сами исходные данные должны быть при этом достаточно подробными.

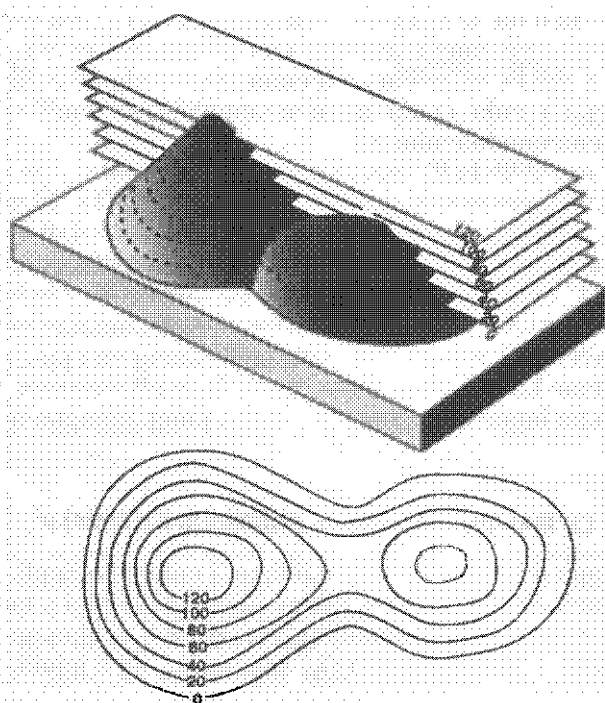


Рисунок 10.15. Нарезка Z-поверхности.

В более общем случае функция нарезки могла бы правильнее называться функцией окрестности, как говорилось в Главе 9. Здесь же мы ее

рассматриваем потому, что по своему выполнению она тесно связана с интерполяцией. Этот подход подразумевает, что проведением контурных линий на заданных интервалах мы по сути сводим непрерывную поверхность к дискретной, ступенчатой поверхности. Почему же мы низводим наши данные из непрерывных в дискретные? Возможно, следующий пример поможет ответить на этот вопрос.

Допустим, вы работаете в консалтинговой фирме с контрактом, заключенным с правительством другой страны. И вас попросили определить подходящие виды землепользования для большого участка земли на основе комбинации характеристик почвы и классов высот. Классы высот выбирались вместо классов уклона отчасти потому, что большинство земельных изысканий учитывают уклон в характеристиках почвы, отчасти потому, что советники клиента по сельскому хозяйству знают, что некоторые растения растут на одних высотах лучше, чем на других. Исходя из требований к высоте различных сельскохозяйственных культур (таковых, скажем, — пять) вы можете разделить поверхность на пять высотных регионов нарезкой четырьмя плоскостями.

После выполнения нарезки эти регионы могут быть переклассифицированы по их влиянию на те пять культур. Теперь у вас есть пять групп, основанных на высотных классах с учетом воздействия последних на сельхозкультуры, названные “высоты для культуры 1”, “высоты для культуры 2” и т.д. Таким образом, вы преобразовали данные поверхности, представленные в шкале отношений (непрерывные), в данные номинальной шкалы (дискретные), исходя из воздействия высоты на культуры. Как мы увидим в Главе 12, эти результаты могут быть объединены с другими покрытиями для принятия решений о том, где какие культуры должны быть посажены.

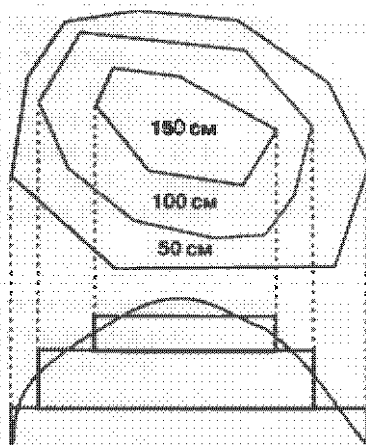
## ОБЪЕМЫ, ОГРАНИЧИВАЕМЫЕ ПОВЕРХНОСТЯМИ

Хотя интерполяция полезна для работы с поверхностями, она может также применяться к множеству других задач, связанных с вычислением объемов под объектами на поверхности, или объемов материала, связанного с выемками и заполнением (как, например, при изъятии руды и последующем заполнении для сохранения плоской поверхности). Во всех таких случаях требуется знание двух граничных поверхностей: верхней и нижней. Применяя нарезку или методы интегрального исчисления, мы можем определить объем. Давайте посмотрим, как это делается.

Если бы мы имели цилиндрический объект с площадью основания, скажем, 150 кв.м и высотой два метра, то его объем составил бы  $2 \times 150 = 300$  кубометров. Но большинство измеряемых объектов имеют сложную форму.

Рассмотрим, например, дождевые осадки. Пусть у нас есть 15 измерителей, разбросанных по площади в 100 кв. км (1 000 000 кв. м), и после сбора данных мы хотим определить общее количество осадков в каждом месте за целый год. Из-за изменчивости осадков, мы можем получить значения, скажем, от 50 см до 150 см. Взяв среднюю величину осадков (100 см), мы можем представить себе плоскую поверхность, и тогда получим объем в  $1 \text{ м} \times 1\,000\,000 \text{ кв. м} = 1\,000\,000 \text{ кубометров воды}$ .

Разделить регион на области



Вычислить площадь каждой области

Умножить об на количество осадков

Сложить эти произведения для получения общего объема осадков

Рисунок 10.16. Метод ординат. Использование метода ординат для определения объема воды в регионе.

Но допустим, что нам нужно более точное определение объема осадков. Для этого мы можем использовать так называемый метод ординат (method of ordinates) [Muehrcke and Muehrcke, 1992]. Рисунок 10.16 показывает, как он работает. Сначала мы записываем координаты каждого измерителя осадков и создаем матрицу высот, точно так же, как мы поступали бы в случае топографии. Затем мы используем подходящий метод интерполяции для создания поверхности и режем ее на части равной толщины (т.е. проводим параллели). Если мы примем, что стенки полученных слоев вертикальны, то можем выполнить тот же простой расчет объема для каждого из них. Сложив эти объемы, мы получим более точное значение объема осадков, чем в прежнем случае, предполагавшим одинаковое среднее количество осадков по всей территории. Поскольку оба этих метода исходят из того, что наши объемы ограничены вертикальными стенками, вычисление объема очень



просто как в растровой, так и в векторной модели. Для каждого слоя нарезки мы просто перемножаем значения площади и глубины. Вы можете сами попробовать это на простой БД в своей ГИС.

Конечно, желательно иметь возможность определять объем как можно точнее. И увеличив число слоев нарезки, вы можете значительно улучшить точность расчета. Теоретически, можно уменьшать толщину слоев до бесконечности, что и делается в интегральном исчислении. К счастью, нам не нужно самим этим заниматься, так как эти алгоритмы уже встроены в программное обеспечение.

Помните, что расчеты объема холма и объема озера по сути одинаковы в том, что одна из ограничивающих поверхностей является плоской. Конечно, это несколько упрощает задачу. Но если вы собираетесь определить объем рудной залежи, то вам придется иметь дело с двумя неровными поверхностями, причем обе — как правило — интерполированы. Тем не менее, вы можете использовать тот же подход, за тем исключением, что теперь вам нужно вычесть значения высот нижней поверхности из соответствующих значений верхней. Объем этой разностной поверхности даст вам искомую величину\*.

Хотя идея вычисления объема проста, она не всегда реализуется в коммерческих ГИС. Другие же программы специализируются на вычислениях такого рода (обычно, связанные с геологией и горным делом). Как и для других вычислений, здесь вы можете использовать экспорт/импорт данных при отсутствии нужных функций в основной программе.

## ДРУГИЕ ВИДЫ АНАЛИЗА ПОВЕРХНОСТЕЙ

Помимо рассматривавшихся ранее операций существует множество других способов отображения и использования дополнительных покрытий с использованием данных о поверхности. Например, большинство ГИС позволяют отображать дополнительные покрытия наложенными на трехмерный вид поверхности. Эта возможность позволяет показать отношения между высотой и почвами, растительностью или распределением типов землепользования. Большинство программ также могут создавать покрытия из площади поверхности, занимаемой объемными объектами, такими как холмы. Вы также можете найти полезным определение реальной длины дороги, а не ее длины в плоскости, поскольку будет учтена топографическая поверхность.

Последний метод особенно ценен для дорожно-строительных компаний,

\* В общем случае надо использовать модуль разности высот, так как поверхности могут пересекаться, что приведет к отрицательным разностям в некоторых точках и вычитанием соответствующих частичных объемов вместо их прибавления. — *прим. перев.*

работы которых оплачивается по километражу дороги; при определении длины дороги по карте можно недосчитать некоторой части расстояния и получить недостаточно средств для строительства. Обо всех этих возможностях программ следует справляться в документации, учитывая наличие возможности создания при помощи этих процедур покрытий, которые могут подвергаться дальнейшему анализу вместо простого отображения результатов, по которым нужно сохodu принимать решение.

## ДИСКРЕТНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

Как было сказано в начале главы, статистические поверхности могут представляться четырьмя различными способами. Мы уже рассмотрели основные методы представления непрерывных данных с использованием матриц высот, моделей TIN, изолиний. Но данные статистических поверхностей могут также встречаться как дискретные объекты. Для них мы должны рассмотреть некоторые дополнительные методы, как отображения, так и анализа.

### Карты плотности точек

Этот подход чаще всего использует конкретные области, в которых подсчитываются объекты (число птиц на округ, тонн собранного зерна на ферму и т.д.). Другая распространенная форма карт плотности точек не использует отобранные области, а обозначает каждый объект одной точкой. Карты учета растений и животных, помещаемые в исследовательских статьях и книгах, или изыскания, проводимые многими службами биологических наблюдений, являются типичными представителями этого подхода.

Когда точка указывает на более чем одно наблюдение, должны быть решены три взаимосвязанных вопроса [Robinson et al., 1995]: сколько объектов представляется одной точкой, каков размер точки в связи с единицей дискретности, и где мы расположим точки после ответа на первые два вопроса.

В то время как эти вопросы важны для картографического представления, их важность не проявляется, пока нам не придется вводить такие карты в ГИС. Чаще всего, когда нам приходится это делать, точки подсчитываются в каждом полигоне и преобразуются в одно значение. Затем они могут представляться посредством картограмм. Позднее мы рассмотрим эти карты подробнее. Кроме того, точки могут рассматриваться как непрерывные данные, и в таком случае мы можем выбрать центроид или центр тяжести для представления значения каждой области в виде одной точки, а затем выполнять операции над всем набором с помощью изолиний. Таким образом

мы можем работать подобно тому, как это делалось с непрерывными данными, применяя интерполяцию или другие методы аппроксимации, анализ уклона и экспозиции и т.д.

Когда каждая точка показывает некоторое количество объектов, скажем, местоположений гнезд птиц, мы должны полагать, что положения точек точны, и только их размер должен нас беспокоить при вводе подсчитанных объектов в ГИС. Однако, мы видим, что подавляющее большинство точечных карт, особенно те, что были созданы до появления современных технологий GPS и телеметрии, отображают точки в широком диапазоне размеров. Обычное дело — увидеть карты масштаба 1:100 000 с точками, которые покрывают сотни и даже тысячи метров на земле. Покуда мы не имеем точных координат, мы вынуждены считать, что координаты точек наиболее верно отражаются их центрами. Хотя это и может быть не совсем правильно, у нас нет альтернативы.

В некоторых случаях представляют интерес расстояния и группировки отдельных точечных распределений. Большинство ГИС не очень-то приспособлены для выполнения такого анализа, но это мы рассмотрим уже в следующей главе. Иногда мы также обнаруживаем, что каждая точка сопровождается дополнительными данными, записанными в любой из четырех шкал измерения. Но в контексте статистической поверхности мы обращаем внимание только на те, которые представлены в числовых шкалах. Если мы можем принять, что имеется непрерывность для таких величин, как массы птиц или размеры стай млекопитающих, представленные отдельными точками, то сможем выполнять операции с этими точечными данными, как если бы они были точечной выборкой топографической поверхности, особенно если они записаны в шкале интервалов или отношений. Всё же, предположение непрерывности в большинстве из этих случаев неверно, и нам придется рассматривать и сравнивать эти дискретные события по отдельности, либо статистически, либо через сравнения их пространственных отношений. Этот тип анализа мы рассмотрим опять же в следующей главе.

Мы также упоминали о преобразовании карт распределения отдельных точек в некоторую форму площадного распределения (Глава 3), особенно в связи с зоокартографией. Как мы заметили, не существует точных инструкций о том, как выполнять эти преобразования, а простые графические методы, которые не связаны с функциями животных или других объектов в их окружении, могут давать ошибочные результаты. Чаще всего, если вас просят выполнить анализ таких распределений, вам нужно знать как можно больше о природе явления, либо из ваших собственных исследований, либо в результате подробных консультаций с вашими заказчиками.

## Карты хороплет

Довольно часто статистические данные записываются для конкретных областей без учета конкретных местоположений. Мы видели, что можем считать такие данные непрерывными и оперировать с ними как с картами изолиний. Хотя это хорошо работает для распределений по большим поверхностям, чаще всего данные собираются для поиска максимумов и минимумов для каждой единичной области или для сравнения единичных областей с другими единицами других покрытий (более подробно в Главе 12). В Главе 3 мы рассматривали идею картограмм (value-by-area mapping), которые мы называли также картами хороплет. И мы видели, как такие карты могут делаться с использованием выбранных классов или неклассифицированных данных в методе бесклассного картографирования хороплет (classless choropleth mapping).

В среде ГИС, где можно создавать широкий спектр выходных карт, нам, скорее всего, нужно иметь исходные данные для каждой области, над которыми и выполняются все эти разнообразные функции ГИС. Здесь, однако, нам нужно пересмотреть классифицированные карты хороплет (classed choropleth map) вследствие той частоты, с которой нам приходится вводить такие карты для последующего анализа.

Традиционные классифицированные карты хороплет, основанные на парадигме сообщения, хотя и могут быть введены в ГИС, мало полезны в этом контексте из-за методов их разработки. Обычно для определения того, как полигональные категории помещаются на карту, требуются три параметра: размер и форма областей, количество классов и метод определения границы класса. Как вы могли догадаться, чем больше размеры областей картограммы, тем больше данные обобщаются. Так, например, карта провинций и территорий Канады с лишь двумя классами создаст очень обобщенный набор данных, возможно, мало пригодный для дальнейшего анализа средствами ГИС. И наоборот, если бы показывались отдельные округа, и было бы 15 категорий группировки, мы имели бы больше полезной информации, которая с успехом могла бы быть введена в ГИС для анализа. Традиционные картографы стремятся сохранять формы областей похожими насколько это возможно, но эта практика приводит к модификациям данных, оказывающим влияние на наши возможности их анализа. Кроме того, к статистическим данным могут применяться многие методы численной классификации. Они включают последовательности равных интервалов, систематические неравные классовые интервалы и нерегулярные интервалы. Знание использованного подхода даст вам представление о том, как данные организованы, что может оказаться полезным в последующем анализе. Чаще всего, однако, классифицированные карты хороплет плохо подходят для анализа в ГИС,

если только мы не получим больше информации связи областей с другими показателями — метод, называемый дасиметрическим картографированием

## **Дасиметрическое картографирование**

Для улучшения качества карт хоропплет для использования в ГИС иногда применяется методика, называемая дасиметрическим картографированием. Поскольку карты хоропплет, как классифицированные, так и бесклассные, отражают структуру областей сбора данных, они часто плохо показывают сами распределения. Дасиметрическое картографирование пытается разрушить эту искусственную структуру, чтобы выявить скрытые распределения. Вместо привязки к искусственным (нормативным) единицам сбора данных эти карты отображают области относительной однородности статистических данных [Robinson et al., 1995]. Они используют те же данные, но соотносят этот материал с другими сопровождающими данными или информацией из иных источников. Эти сравнения позволяют улучшить качество исходных карт хоропплет за счет удаления границ областей первичного сбора данных. Но так как эта работа требует использования вспомогательной информации, мы отложим подробное обсуждение этой очень полезной методики до Главы 12, где будем сравнивать разные покрытия. В ГИС дасиметрическое картографирование чаще всего выполняется в процессе картографического наложения данных из других покрытий, нежели простым добавлением данных к исходной карте.

## **Вопросы**

1. Дайте определение статистической поверхности. Опишите какую-нибудь нетопографическую статистическую поверхность. Каково различие между непрерывной и дискретной статистическими поверхностями?
2. Каково различие между гладкой и пересеченной статистическими поверхностями? Что важно в каждой из них с точки зрения выбора точек для представления формы поверхности?
3. Что такое изолиния? Что говорят нам близко или широко разнесенные изолинии? Какой термин используется для изолиний, отмечающих топографическую высоту?
4. Что такое контурный интервал? Почему контурный интервал должен оставаться неизменным на всей карте?
5. Каково различие между картой изолиний и картой изопплет? Какие предположения должны быть сделаны прежде, чем мы сможем использовать изолинии в виде изопплет?
6. Каково различие между регулярной и нерегулярной сетками с точки

форма выборки данных о поверхности? Каковы преимущества и недостатки каждой?

7. Что такое цифровые модели рельефа? Каковы отношения между дискретной матрицей высот и моделью TIN?

8. Опишите и схематически изобразите метод представления непрерывных данных о поверхности с помощью растровой модели данных. Почему важно знать, где в каждой ячейке растра находятся истинные точечные положения топографических данных?

9. Опишите и схематически изобразите линейную интерполяцию. Каковы главные препятствия в использовании линейной интерполяции?

10. Когда используется нелинейная интерполяция вместо линейной? Каковы три основных типа нелинейной интерполяции?

11. Опишите и схематически изобразите использование методов нелинейной интерполяции со взвешиванием. Почему в них иногда включаются барьеры?

12. Что такое поверхность тренда? Когда мы используем этот способ интерполяции, а не методы со взвешиванием? Дайте пример, показывающий его применение.

13. Каково различие между кригингом и методами интерполяции со взвешиванием? Что такое вариограмма, дрейф, случайные пространственно-коррелированные изменения поверхности, случайный шум?

14. Приведите пример вариограммы на основе гипотетических данных. Объясните связь между лагом и полудисперсией. Что мы можем сказать о данных в пределах диапазона и вне его? Что это говорит нам о выборе местности для интерполяции?

15. Каково различие между общим и локальным кригингом? Когда кригинг не дает лучшего результата, по сравнению с другими методами интерполяции?

16. Приведите примеры использования интерполяции помимо карт полиний.

17. О каких четырех моментах нужно помнить в любой процедуре интерполяции? Опишите проблему размещения выборки в изоплетном картировании. Что такое проблема седловой точки? Как она может быть решена?

18. Опишите проблему отсутствия точек данных на границе карты в ее связи с результатами интерполяции. Как можно избежать таких недостаточных результатов?

19. Что такое нарезка поверхности? Кроме изменения контурного интервала, как нарезка может использоваться для создания окрестностей? Приведите пример.

20. Опишите метод ординат для определения объема поверхностного

объекта. Объясните, как это делается в растровых и векторных ГИС.

21. Учитывая, что карты распределения точек обычно не используются для ввода ГИС, почему нам нужно знать о них? Как мы можем выполнить анализ таких карт (к точкам которых добавлены атрибуты величины)?

22. Каково различие между картами хоропплет и дасиметрическими? Как дасиметрические карты создаются из традиционных карт хоропплет?

## Глава 11

### Пространственные распределения

До сих пор наше путешествие фокусировалось на характеристиках наблюдаемых объектов. Но для правильной оценки окружения нам нужно знать также отношения между отдельными элементами, которые мы видим, и пространством между ними. Теперь мы будем рассматривать не объем пространства, занимаемый объектом, или его форму, а расположение объектов в пространстве, которое может характеризоваться количеством объектов в определенной области, тем, как они распределены — равномерно или группами. Мы рассмотрим отношения удаленности между самими объектами и их связь с общим размером занимаемой области.

Распределения могут наблюдаться во многих ситуациях. Мы знаем, например, что некоторые распределения человеческого населения характеризуются большой разбросанностью, подобно фермам в сельской местности. Другие распределения населения больше сконцентрированы в том, что мы называем городами. Растения и животные могут быть распределены равномерно или тоже в более плотные группы. Даже природные объекты, такие как типы отложений и формы рельефа — реки и лимны, горы и долины, — могут встречаться как отдельно стоящие так и в больших группах. Антропогенные объекты, такие как дороги, ограждения, дома, также могут быть определенным образом расположены. По мере развития нашего географического фильтра мы будем видеть еще больше. Видение того, что существуют различия в пространственном расположении объектов, позволяет нам формулировать вопросы о том, каковы картины этих распределений, как они могут быть классифицированы, и что они могут сказать нам о процессах, их создавших.

Если мы повторно посетим места, где впервые наблюдали расположение объектов, будь то в реальном мире или в мире ГИС, то мы увидим, что наблюдаемая картина изменилась. Регионы, которые прежде имели разрозненные распределения, теперь могут демонстрировать признаки группирования. Объекты, которые были когда-то организованы в пространстве случайным образом, теперь встречаются в регулярных, повторяющихся паттернах. Одни паттерны могут проявлять расширение и рост упорядоченности, другие — сжатие или деструктуризацию. Области могут сливаться, отдельные линейные объекты — соединяться в сети,

установившиеся дюны — перемещаться и рассеиваться. Во всех этих случаях время является важной составляющей частью в нашем понимании расположения в пространстве. И вскоре мы задаёмся вопросом: что процессы вызывают переход от одного распределения к другому? Мы можем задаваться вопросами: каковы могут быть направления изменений, существуют ли движущие силы, которые мы можем понять, каковы могут быть верхние и нижние пределы этих сил, и т.д.

В данной главе мы будем заниматься главным образом распределениями объектов одного покрытия. Это, конечно, ограниченный подход, и по моему опыту я могу сказать, что вы вскоре сами увидите методы, в которых используются данные других покрытий. Немного терпения, и вы узнаете как распределения объектов могут сравниваться друг с другом. А там уже недалеко и до сравнения объектов разных покрытий, что является темой Главы 12.

## ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Пространственное распределение это расстановка, порядок, концентрация или рассеянность, соединенность или бессвязность многих объектов в пределах заключающего их географического пространства. До сих пор рассматриваемые нами методы имели дело главным образом с отдельными объектами или наборами объектов, когда они могли быть определены как регионы, окрестности или представлены как статистические поверхности. Мы лишь очень кратко касались взаимодействия объектов, регионов, поверхностей и окрестностей с аналогичными объектами других покрытий. Но большинство объектов, встречающихся в одном покрытии тоже имеют определяемые характеристики пространственного расположения, которые могут указывать на механизмы их возникновения.

По традиции, термин “пространственное распределение” обычно относится к простому картографическому отображению пространственно распределенных объектов. Исходя из парадигмы сообщения, мы могли бы сказать, что карта показывает, где объекты находятся и каковы очертания занимаемой ими области. Можно было бы сказать, что этого достаточно. Но интуитивно мы понимаем, что есть что-то ещё, помимо того, что может быть использовано для описания взаимодействий каждого отдельного объекта с его соседями и отношения всех этих объектов ко всему пространству, в котором они расположены. И, конечно, если мы сможем найти способы измерения этих отношений, то сможем найти пути выявления и понимания возможных механизмов, которые создают эти распределения.

Одни из рассматриваемых методов — вычислительно просты, другие — очень сложны и требуют много машинного времени. Одни применяются



и очень часто, другие, хотя и чрезвычайно полезны, не получили широкого признания, так как о них редко рассказывают, за исключением аспирантур. Поэтому можно было бы проигнорировать, но я чувствую себя обязанным дать вам возможность пораньше узнать об этих методах анализа распределения объектов в пределах одного покрытия.

## РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЧЕК

Возможно, наиболее распространенные методы анализа пространственных распределений применяются к точечным паттернам. Точечными объектами могут быть отдельные деревья, дома, животные, фонари и даже города, в зависимости от масштаба (Рисунок 11.1a). Как мы увидим в дальнейшем, точечные объекты могут также представляться в виде линий и областей (Рисунок 11.1b).

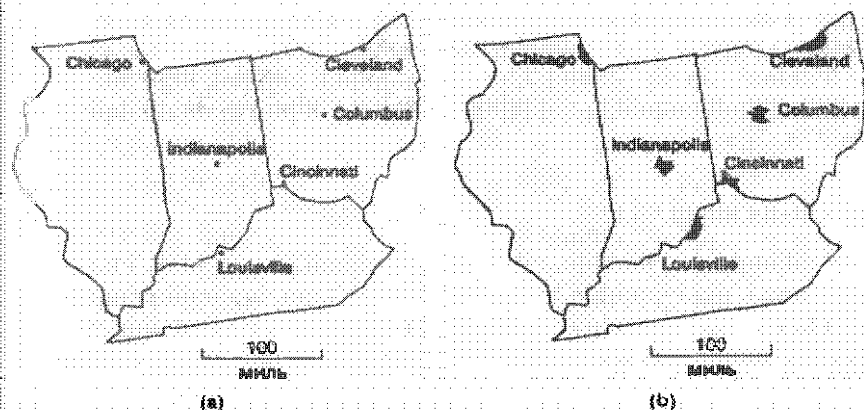


Рисунок 11.1. Точечное и площадное представление городов. Площадные объекты, в данном случае города, могут рассматриваться как точки (a) или как области (b), в зависимости от масштаба, в котором они представлены. Это указывает на связанность аналитических методов, которые могут применяться.

Простейшей мерой точечного распределения является плотность (density) точек. Она определяется как результат деления числа точек на общую площадь, на которой они расположены. Плотности населения, застройки, деревьев и т.д. широко используются как меры компактности точек. Сравнивая плотности подобных объектов в разных областях, мы можем сравнивать механизмы, которые действуют в этих областях. Или мы могли бы сравнивать точки в том же месте, но в разные моменты времени, чтобы



Как и раньше, результаты анализа говорят, что если распределение не является статистически случайным (т.е. если оно либо равномерное, либо кластерное), то вы можете попытаться определить возможную причину, разумно выбрав набор показателей для сравнения с вашим точечным покрытием. Например, равномерные распределения могут быть регулярными, как плодовые деревья в саду, или случайными, что более свойственно деревьям в лесу. В первом случае в каждой подобласти будет встречаться одинаковое число точек, во втором случае числа будут разными.

## Анализ ближайшего соседа

До сих пор мы описывали точечные распределения количеством точек в пределах подобластей. Другими словами, мы рассматривали распределение точек посредством сравнения областей, которые они занимают. Однако, также поучительно рассмотреть локальные отношения внутри пар точек. Чаще всего это делается другим методом анализа точечных распределений — анализом ближайшего соседа (nearest neighbor analysis), общепринятой процедурой определения расстояния от каждой точки до ее ближайшего соседа (РБС) и сравнения этой величины со средним расстоянием между соседями. Вычисление этого статистического показателя включает определение среднего РБС среди всех возможных пар близлежащих точек (такие точки определяются как ближайшие к выбранной).

Среднее РБС дает меру разреженности точек в распределении. Это ценно само по себе, так как в некоторых случаях точечные объекты могут конфликтовать, если они расположены слишком близко друг к другу. Например, мы знаем, что многим животным требуется определенное жизненное пространство, и когда оно перекрывается с пространством другого представителя того же вида, возможен конфликт.

Но, как и в анализе квадратов, мы можем сравнить среднее РБС с тремя возможными распределениями — регулярным, случайным и кластерным. Этот метод может быть описан в общем [детально — см. McGrew and Mongro, 1993] для каждого из этих случаев как вычисление индекса, с которым вы можете сравнить свои результаты, как это указано далее. Для индекса случайного распределения поделите 1 на удвоенный квадратный корень из плотности точек (число точек на единицу площади). Если вам нужен критерий максимальной рассеянности (dispersion) (регулярное распределение), то поделите 1.07453 на квадратный корень из плотности точек. Наконец, для критерия максимальной сгруппированности, когда точки расположены одна под другой, мы можем просто принять, что величина получается делением на ноль (the value is of the divisor 0). В результате мы получаем некоторое неотрицательное значение индекса.

Простое сравнение вашего среднего РБС с тремя индексами даст вам понятие о том, в каком месте диапазона они находятся.

Давайте рассмотрим, как это работает на примере данных Таблицы 11.1 и Рисунка 11.2. У нас есть шесть точек, данных в пределах площади в 25 квадратных единиц. Среднее РБС этих данных составляет примерно 1.4. Для случайным образом распределенных данных индекс составит (единица, поделенная на удвоенный корень из плотности точек (6 точек на 25 единиц площади = 0.24), т.е.  $1/(2\sqrt{0.24}) = 1.02$ . Наше среднее РБС несколько больше, чем этот индекс.

Таблица 11.1. Вычисление расстояния до ближайшего соседа

Точка	Координаты		Ближайший сосед	РБС
	X	Y		
A	0.7	1.0	B	1.6
B	1.25	3.0	C	1.4
C	2.5	3.7	D	1.3
D	3.3	2.75	C	1.3
E	4.0	4.0	C	1.34
F	3.8	1.0	D	1.5
				8.44
Среднее РБС				1.4
Случайное среднее РБС				1.02

Критерий максимальной рассеянности точек составит 1.07453, поделенное на квадратный корень из плотности точек, т.е. округленно 2.19. Таково было бы значение, если бы наше распределение точек было идеально равномерным. Наше среднее РБС намного меньше этого, но и намного больше, чем 0, который соответствует идеально сгруппированному распределению. Таким образом, мы нашли, что наше распределение несколько более рассеянное, чем случайное, или где-то между истинно равномерным и случайным. Другими словами, оно начинает принимать более регулярную конфигурацию, но пока все еще довольно случайное.

РБС является абсолютным статистическим показателем, следовательно, он не может непосредственно сравниваться с РБС других точечных распределений. Индекс ближайшего соседства может быть нормализован для выполнения таких сравнений [McGrew and Molloy, 1993], но это уже выходит за рамки данной книги. Существуют также и другие методы определения кластеризации, основанные на других статистических показателях [Davis, 1986; Griffiths, 1962, 1966; Ripley, 1981], но это также выходит за рамки данной книги.

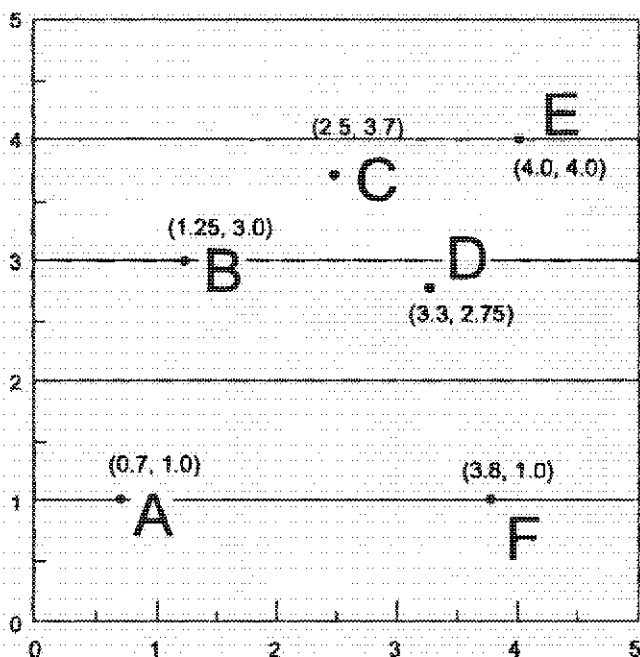


Рисунок 11.2. Координаты точек для определения РБС. Каждая точка (например, точка А) имеет своего ближайшего соседа (в данном случае, точка В). Расстояния определяются с помощью теоремы Пифагора (см. Таблицу 11.1).

## ПОЛИГОНЫ ТИССЕНА

Точечные распределения могут также характеризоваться с помощью полигонов Тиссена (Thiessen polygons) (называемых также диаграммами Дирихле (Dirichlet diagrams) и диаграммами Вороного (Voronoi diagrams)). Они основаны на идее, что мы можем нарастить полигоны вокруг точек, чтобы показать их возможные зоны влияния на другие точки покрытия. Например, как мы увидим при работе с моделью гравитации, можно считать, что между точками действуют силы притяжения.

Вдобавок, размер точки — например, города — часто напрямую связан с силой такого влияния. Мы ограничимся случаем равной величины всех точек, что упрощает описание.

Создание полигонов Тиссена довольно просто концептуально, но может быть запутанным, если количество точек велико. Чтобы понять, как их строить, давайте вначале разберемся, что эти фигуры должны представлять. Если у нас есть несколько точечных объектов, таких как города (опять же, одного размера), мы можем представить себе, что каждая точка окружена одиночным неправильным многоугольником. Но многоугольник имеет одно важное свойство – любая точка внутри него находится ближе к очерченной точке, чем любая другая точка покрытия. И наоборот, каждая точка вне полигона ближе к некоторой иной, нежели к очерченной. Другими словами, граница каждого полигона дает окружаемой точке наименьшую возможную область влияния. Каждая точка покрытия будет иметь свой собственный полигон Тиссена, показывающий область исключительно ее влияния [Clarke, 1990]. Теперь давайте подумаем, как мы могли бы сделать это.

Возьмем простой набор точек (Рисунок 11.3). Образование полигонов Тиссена можно представить как результат роста мыльных пузырей с центром в каждой из точек. В конце концов границы пузырей превращаются в прямые линии, а сами пузыри – в многоугольники. Стороны этих многоугольников ориентированы перпендикулярно линиям, соединяющим соседние точки. Причем длины двух отрезков, получившихся с обеих сторон границы, одинаковы.

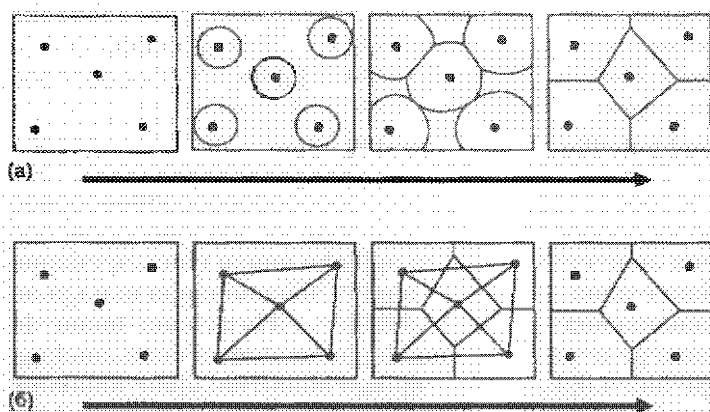


Рисунок 11.3. Создание полигонов Тиссена. а) расположение точек; б) построение связанных с ними полигонов Тиссена.

Алгоритмы создания полигонов Тиссена разрабатывались на протяжении десятилетий как для систем компьютерной картографии, так и для ГИС, как векторных [Brassel and Reif, 1979], так даже и на структуре данных

квадродерева [Mark, 1987].

Зачем же нужны полигоны Тиссена? Они названы в честь климатолога Тиссена (A. H. Thiessen), который пытался проинтерполировать сильно неравномерные распределения климатических данных. Иначе говоря, он пытался описывать и анализировать точечные данные с помощью площадных символов и аналитических методов. Таким образом, если у нас есть несколько разбросанных точек, и мы хотим охарактеризовать регионы, основанные на этих точках, то используем полигоны Тиссена. Поскольку мы считаем, что в каждом полигоне влияние очерченной точки абсолютно, мы можем обращаться с этими данными как с полигональным покрытием.

Большинство случаев применения полигонов Тиссена связано с определением влияния точечных данных, представляющих торговые центры, фабрики или другие объекты экономики. Если мы изменим положение общей границы смежных полигонов в зависимости от размера или иного параметра очерчиваемых ими точек, то полученное разбиение будет еще лучше представлять реальное влияние объектов на окружающее пространство. Имея такую информацию, специалист по экономическому размещению может определить, например, какая часть населения города (на основе близости) скорее всего будет регулярно посещать планируемый торговый центр. Полигоны Тиссена используются не только в экономической географии, но и, например, при выявлении пространственных распределений растительности [Hutchings and Discombe, 1986]. На самом деле, использование этой методики скорее всего будет расти с расширением функциональных возможностей ГИС и известности среди пользователей.

## РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛИГОНОВ

Мы можем начать анализировать распределения областей во многом подобно тому, как мы делали это с точками — через определение плотности полигонов на единицу площади нашей области изучения. Однако, при определении меры плотности полигонов мы должны вначале измерить площадь полигонов каждого класса, из тех, что интересуют нас. Затем мы делим суммарную площадь каждого типа полигонов (т.е. каждого региона) на общую площадь покрытия. Это дает относительную долю полигонов, а не число их на единицу площади. Возможно, конечно, подсчитать число полигонов (или групп ячеек раstra) на единицу площади, но из-за возможности широкого варьирования их размеров данный подход вряд ли будет полезен.

Опять же, помимо плотности полигонов, нас может интересовать расположение и формы распределений, создаваемые группами полигонов, которые могут подсказать причины таких расположений. Примерами

потенциально взаимодействующих полигонов могут быть совершенствования в методах вспашки в некоторых хозяйствах, города, поселки и перемещение товаров и услуг внутри них и между ними, и даже водные источники, распределенные по территории, которая могла бы предоставить хорошие места для зимовки птиц. Но перед тем, как рассматривать взаимодействия полигональных объектов, мы должны узнать кое-что о том, как они могут быть расположены. Как и точки, области могут быть сгруппированы, рассеяны (регулярно), или случайным образом занесены по отношению друг к другу (см. Рисунок 2.8). Кроме этого, площадные объекты могут быть соединены друг с другом, или удалены на некоторое определенное расстояние.

## Статистик соединений

При работе с полигональными покрытиями мы будем нередко создавать **бинарные карты** (binary maps), т.е. такие, на которых имеются только две категории полигонов, — чаще всего таких, которые характеризуют некоторый показатель как хороший или плохой для искомого решения. Например, могут быть плохие и хорошие почвы для пропашных культур, хорошие и плохие склоны для строительства, хорошие и плохие аспекты для установки солнечных батарей. Возможность определения распределений некоторых из этих показателей может пригодиться, возможно, потому, что мы должны размещать дома, растения или солнечные батареи одной большой группой (что характерно для кластерных распределений), а не разрозненно. Мы можем также интересоваться выявлением распределения объектов определенной области, таких как размытые поверхности, сорная растительность или типы заселения для выяснения какой-нибудь возможной причины образования наблюдаемых примеров.

Мы уже познакомились с понятием непосредственной окрестности на основе смежности, определяемой как условие контакта полигональных объектов друг с другом (Глава 9). Но, хотя простая мера смежности может быть полезна для рассмотрения размеров соединенных полигонов одного типа, она мало что говорит нам о распределении, образуемом этими региональными полигонами. Для этого применяется статистический показатель (статистик) соединений (общих границ). Он не связан только лишь с бинарными картами, но так как они лучше его иллюстрируют, и относительно просто перейти от многокатегориальных карт к бинарным [McGrew and Monroe, 1993] (что является обычной практикой), мы ограничимся только случаем бинарных полигональных карт.

Соединение — это общая граница двух смежных полигонов. Статистик соединений подсчитывает количество соединений в полигональном



распределении и характеризует структуру соединений каждого покрытия [McGrew and Monge, 1993]. Посмотрите на Рисунок 11.4а, показывающий область с пятнадцатью полигонами, и имеющимися между ними соединениями.

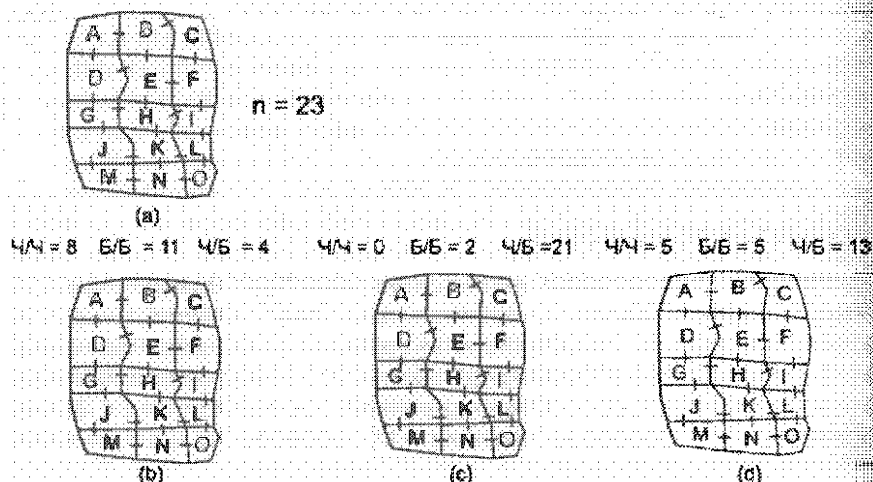


Рисунок 11.4. Статистик соединений для области из 15 полигонов: а) 23 возможных соединения, б) кластерное распределение, в) разреженное распределение, г) случайное распределение

Всего между полигонами имеются 23 соединения (т.е. общих участков границ). На Рисунке 11.4б среди них: 8 соединений между заштрихованными полигонами, 11 — между белыми и 4 — между заштрихованными и белыми. Эти числа показывают, что между заштрихованными и белыми полигонами имеется мало соединений, большинство белых полигонов соединены друг с другом, и большинство заштрихованных полигонов соединены друг с другом. Другими словами, полигоны сгруппированы, подобно тому, что мы прежде наблюдали с точками. Рисунок 11.4с показывает совершенно другой набор чисел; здесь большинство соединений (21 из 23) — между полигонами разных классов, т.е. мы имеем разреженное распределение. Рисунок 11.4д — промежуточный случай: оба числа соединений однородных полигонов низки, но не так, как на Рисунке 11.4с. Число разнородных соединений также не настолько высоко, как в случае разреженного распределения. Таким образом, здесь мы имеем дело со случайным распределением.

Теперь обратимся к вопросу об использовании результатов данного вида

анализа.

Мы определили числа однородных и неоднородных соединений и можем выделить три различных класса распределений. Но как в действительности сравнить результаты анализа одной БД с тем, что можно было бы ожидать при кластерном, разреженном и случайном распределении? Главным образом, нас интересует случайность, она говорит о том, что расположение полигонов скорее всего не зависит от какой-либо причины. И наоборот — в двух других случаях такая причина наверняка существует.

При анализе точечных распределений для оценки случайности мы обращались к критерию  $\chi^2$ . Но этот показатель подразумевает, что мы знаем, каким должно быть ожидаемое распределение в условиях случайности. Если бы мы анализили подобные распределения для полигонов (на основе числа соединений), то могли бы сравнивать их точно таким же способом.

Но как мы узнаем ожидаемое случайное распределение соединений, с которым могли бы сравнить имеющиеся значения? Имеются два подхода к решению этой задачи. Первый, называемый свободным отбором (free sampling), предполагает, что мы можем определить ожидаемую частоту соединений внутри категорий и между ними либо на основе теоретического описания моделируемой ситуации, либо исходя из известных распределений на больших областях исследования. В первом случае, например, мы могли бы знать, что вследствие определенных зональных установлений в городе, торговые центры или объекты промышленности встречаются с определенной регулярностью по сравнению с другими типами землепользования. И тогда мы могли бы сравнить эти распределения с регулярностью торговых областей в другом городе, чтобы увидеть, используется такое же зонирование или другое, приводящее к существенно другому распределению торговых центров и объектов промышленности по сравнению с другими типами землепользования. Во втором случае, т.е. при использовании известного распределения на большей изучаемой области, могут быть выполнены подобные же сравнения. Скажем, нам известно распределение полигональных соединений нашего округа из анализа сельхозкультур. Тогда мы могли бы рассмотреть распределение их в идеальном пригородном районе и сравнить число соединений в этой подобласти с числом соединений для всего округа, чтобы увидеть, имеется сходство.

Второй подход, называемый несвободным отбором (nonfree sampling), применяется более часто. Он не делает теоретических предположений о распределении и не полагается на сравнение чисел соединений подобласти с всей областью. В нем сравниваются числа соединений оценочного случайного распределения с числом соединений наблюдаемого распределения полигонов. Другими словами, мы создаем случайное

распределение, исходя только из самих полигонов. Тогда мы можем сравнить имеющиеся результаты со случайным распределением, имея в виду отклонения от случайности, говорящие о действии некоторого причинного механизма.

Как свободный, так и несвободный отбор могут дать понимание распределения, но эти вычисления выполняются чаще опытными пользователями ГИС, нежели новичками. Поэтому мы не будем здесь рассматривать детали вычислений сравнительных показателей.

Впрочем, вы можете обратиться, например, к исследованиям, показывающим, как это делается по отношению к губернаторским местам Республиканцев и Демократов в восточной части США [McGrew and Montgoe, 1993].

## **Другие меры распределений полигонов**

Анализ распределений полигонов может быть весьма сложным, и связи ГИС с другим программным обеспечением дают возможность выполнять его [Baker and Cai, 1992; McGarigal and Marks, 1994]. Ландшафтные экологи часто используют эти методы, обычно рассматривая полигоны как островки (patches), особенно по отношению к большему, более однородному окружению (background), так называемой матрице (matrix). Вы можете в дальнейшем обратиться к соответствующей книге [Forman and Godron, 1986] за обзором некоторых из этих методов. В общем случае вы найдете меры полигональной изолированности (polygonal isolation), меры доступности (accessibility), взаимодействий полигонов (polygon interactions) и рассредоточенности (dispersion). Поскольку многие из этих мер заимствованы из литературы по географии, биогеографии, экологии, лесоводства и других дисциплин, примеры будут достаточно разнообразны, чтобы дать вам представление о возможностях использования этих дополнительных мер.

## **РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛИНИЙ**

Мы встречаем линейные паттерны постоянно, но часто и пропускаем их. Улицы и шоссе образуют узнаваемый паттерн, который мы относим к сетям, создаваемым человеком для перемещения людей и вещей между пространственно распределенными точками, называемыми городами. Нам встречаются ограждения, также имеющие определенные конфигурации и количества в зависимости от размеров полей, участков, форм полигонов, которые они окружают [Simpson et al., 1994]. Полосы на открытых участках коренной породы показывают параллельные линии перемещения камней под ледником, проходившем тысячи лет назад. Механизмы, вызвавшие

образование каждого из этих линейных паттернов, лучше всего могут быть поняты, если мы прежде определим конкретные параметры соответствующих распределений.

## Плотность линий

Поскольку линии в отличие от точек имеют пространственную протяженность, анализ их распределений несколько сложнее. Одни исследователи изучали распределения длин линий [Aitchison and Brown, 1969], другие рассматривали интервалы между линиями [Dacey, 1967; Miles, 1964], во многом подобно анализу ближайшего соседа в точечных распределениях [Davis, 1986].

Мы рассмотрим эти и другие меры распределений линий в последующих параграфах, и начнем с простейшей меры — плотности линий.

Мы определили плотность безразмерных точек как отношения их числа к занимаемой ими площади. Плотность двумерных полигонов определялась как отношение суммарной площади класса к площади всей карты. Подобным же образом, для определения плотности одномерных линий мы будем использовать отношение суммы их длин к площади покрытия. Выразаться оно может в метрах на гектар или километрах на квадратный километр. За исключением сравнения с аналогичными величинами для других регионов или для того же региона в другие моменты времени, мы мало что можем сделать с этой информацией. Поэтому сейчас мы рассмотрим другие показатели распределений линий, аналогично тому, как было с распределениями точек и полигонов.

## Ближайшие соседи и пересечения линий

Распределение пар линий может быть определено во многом подобно тому, как мы поступали с точками, хотя вычисления несколько усложняются, так как, в отличие от точек, линии имеют размерность. Может показаться, что следует просто выбрать центр каждой линии и провести анализ ближайшего соседа для этих точек. Однако, вследствие того, что линии имеют различные длины, эта процедура не даст нам правдивой картины распределения самих линий. С точки зрения статистики часто считается полезным делать случайную выборку. Следуя этому подходу, нашей первой задачей в анализе ближайших соседей среди линейных объектов будет выбор случайной точки на каждой линии карты (или на каждом сегменте линии, если они — не прямые). Далее, опускается перпендикуляр из этой точки к ближайшей линии (Рисунок 11.5) [Davis, 1986]. Затем мы измеряем эти расстояния и подсчитываем среднее РБС. Как со всеми РБС, мы должны

иметь возможность оценить эту величину по отношению к случайному распределению. Дэйси [Dacey, 1967] определил значения для ожидаемых РБС, дисперсии и стандартной ошибки случайного распределения линий. Эти величины позволяют нам сравнить ожидаемое и наблюдаемое и создать статистический показатель, по которому можно протестировать гипотезу о случайности [Davis, 1986]. По указанной ссылке можно найти описание соответствующих формул.

Этот критерий работает для большинства распределений линий, будь линии прямыми или изогнутыми, но имеет и некоторые ограничения. Если линии очень извилисты, этот подход — менее чем успешен.

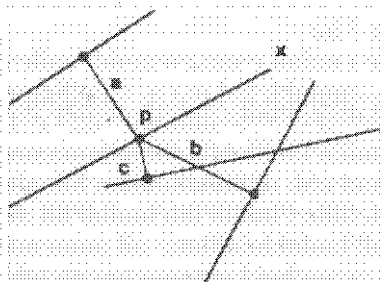


Рисунок 11.5. Расстояние до ближайшего соседа среди линий. Поиск ближайшего соседа между линиями с использованием случайно выбранной точки на одной из них.

Кроме того, чтобы критерий был полезен, линии должны быть по меньшей мере в полтора раза длиннее среднего расстояния между ними. Если количество линий в покрытии мало, оценка плотности, используемая в анализе ближайшего соседа должна быть скорректирована весовым коэффициентом  $(n-1)/n$ , где  $n$  — число линий распределения. То есть, вместо отношения суммы длин на площадь мы используем формулу

$$(n-1) L / nA,$$

где  $L$  — сумма длин, а  $A$  — площадь. Эта скорректированная плотность линий улучшит качество статистика ближайшего соседа.

Методы пересечения линий являются альтернативой при анализе распределения линий. Один простой подход состоит в том, чтобы преобразовать двухмерный паттерн в одномерную последовательность прочерчиванием выборочной линии через карту и учетом пересечений этой линии с линиями покрытия. Существуют по меньшей мере два способа создания таких линий [Getis and Boots, 1978]. Первый — случайно выбрать

пару точек и соединить их линией. Второй метод состоит в проведении луча из случайной точки под случайным углом, откладывании случайного расстояния от начальной точки и проведении перпендикуляра к лучу из этой точки [Davis, 1986]. После того, как линия проведена, может быть рассмотрено распределение интервалов между пересечениями ее с линиями покрытия с использованием стандартных методов анализа наборов данных. Альтернативой одиночной линии является зигзагообразная, которая пересекает покрытие два или три раза. Зигзагообразный путь (часто называемый случайным обходом (random walk)) также создаст серию пересечений, расстояния между которыми опять же могут быть проанализированы любым статистическим методом для последовательностей данных (Рисунок 11.6).

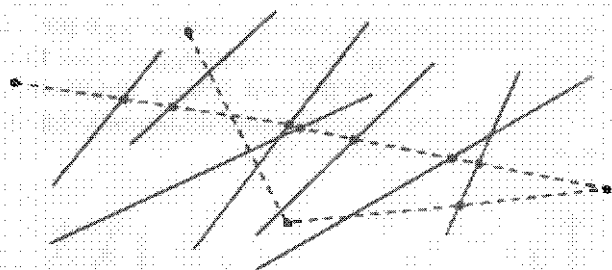


Рисунок 11.6. Метод случайного обхода для оценки распределения линий. Модификация метода пересечений с использованием зигзагообразной линии для получения точек выборки.

## НАПРАВЛЕННОСТЬ ЛИНЕЙНЫХ И ПЛОЩАДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Линейные объекты могут характеризоваться не только распределением по ландшафту, но и ориентацией. Такие объекты как осадочные отложения, русла ледников, переносимая водой галька, цепи валунов, оставленные ледниками, ограждения, сети улиц, ветровал деревьев в лесу имеют определенную ориентацию, которая часто указывает на породившую их силу.

Но когда мы анализируем ориентацию, у нас может возникнуть ситуация выбора между двумя встречными направлениями. Если линейный объект является улицей с односторонним движением, то ориентация ее самой не говорит нам о направлении, в котором должен двигаться транспорт. Поэтому, кроме ориентации нам нужно знать и о направленности (directionality). Мы можем также рассматривать распределения линейных объектов либо как двумерные, либо как трехмерные, с учетом углового направления

относительно поверхности сферы [Davis, 1986]. Для простоты мы ограничимся лишь первыми.

В традиционном статистическом анализе ориентации линий с карты переносятся на диаграмму направлений (rose diagram), где все они прочерчиваются из одной начальной точки. На некоторых диаграммах направлений длиной линий также изображают параметры объектов, такие как сила ветра или длина изгороди. Диаграммы направлений полезны для визуальной оценки, но измерения, получаемые непосредственно по данным покрытия больше подходят для численного анализа. Первым мы рассмотрим равнодействующий вектор (vector resultant). В качестве примера можно вспомнить басню про лебедя, рака и щуку. Зная силы и направления, приложенные к возу, можно определить, в какую сторону и с каким ускорением объект начнет движение.

Для демонстрации двухмерного анализа направлений возьмём большое количество деревьев, поваленных прямолинейным ветром. Каждое дерево может быть отображено как линейный объект покрытия, при этом записываются координаты вершины и основания каждого дерева, давая нам ориентацию каждого дерева (Рисунок 11.7).

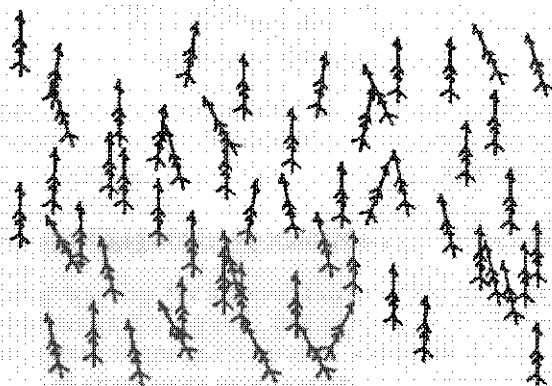


Рисунок 11.7. Распределение направлений поваленных деревьев. Карта показывает общую тенденцию и некоторые отклонения от нее.

Метеорологи хотят выяснить общее направление ветра по поваленным деревьям, но эти деревья не имеют единой для всех ориентации, поэтому нашей первой задачей является определение равнодействующего вектора поваленных деревьев.

С каждым деревом ассоциируется вектор с началом в основании дерева и углом  $\theta$  в сторону вершины. Мы умножаем длину каждого дерева на

косинус этого угла для получения X-составляющей, а также на синус этого угла для получения Y-составляющей. Для вычисления равнодействующего вектора мы складываем эти величины для каждой составляющей, и полученные значения равнодействующего вектора  $X_r$  и  $Y_r$  показывают преобладающее направление вершинных точек деревьев в ветровале. Рисунок 11.8 показывает равнодействующий вектор R, полученный из трех векторов A, B и C.

Мы можем определить среднее направление Q исходя из равнодействующего вектора по формуле:  $Q = \arctan(Y_r/X_r)$ .

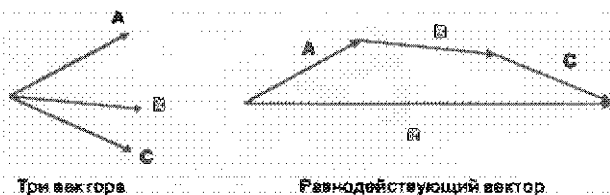


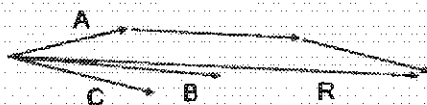
Рисунок 11.8. Равнодействующий вектор.

Так как среднее направление наших векторов зависит не только от разброса деревьев, но и от числа наблюдений, мы можем нормализовать эти величины делением координат каждого равнодействующего вектора на число линейных объектов покрытия. Это позволит нам сравнивать две различные области, например, две области ветровала на предмет общего направления ветра\*.

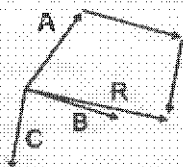
Как и с любым набором точек, где средняя величина служит мерой центральной тенденции данных или тенденции данных группироваться вокруг некоторой центральной точки, мы можем использовать среднее для вычисления других статистических показателей, которые определяют разброс от среднего. Рисунок 11.9 показывает два случая равнодействующего вектора R с тремя исходными. Когда векторы расположены близко к одному направлению, равнодействующий вектор будет длинным, в то время как при широко разбросанных исходных векторах — значительно более коротким. В нашем примере из басни это выглядит как сложение усилий участников в одном направлении или же скорее противодействие друг другу, приводящее к существенно меньшей равнодействующей силе, прилагаемой к возу.

\* Следует отметить, что здесь угол отсчитывается от оси Y, а не от оси X, как принято в математике. В формуле вычисления составляющих длина дерева является весовым коэффициентом для его направления. Чтобы каждое дерево вносило одинаковый вклад, следует разделить его длину на единицу. Тогда среднее направление будет равно арктангенсу отношения суммы косинусов к сумме синусов направлений деревьев. Для данного примера можно также заметить, что более длинные деревья скорее всего будут лучше представлять среднее направление, так что нормализация будет излишней. — *вним. перек.*





Расположенные близко  
к одному направлению



Широко разходящиеся векторы

**Рисунок 11.9.** Разброс векторов. Равнодействующие векторы для случаев близких и разбросанных исходных линий.

Длина равнодействующего вектора (resultant length) может быть определена по формуле:

$$R = \sqrt{(X_i^2 + Y_i^2)}.$$

Таким образом, мы имеем не только среднее направление лесовала, но и меру компактности распределения: чем компактнее распределение, тем длиннее эта линия.

Для сравнения длины равнодействующего вектора в данном месте с другим местом, нам следует, опять же, нормализовать данные. Нормализованная длина равнодействующего вектора получается делением длины равнодействующего вектора  $R$  на сумму длин образующих его векторов.

Это безразмерная величина в диапазоне от 0 до 1, напоминающая дисперсию в традиционной статистике, так как является мерой пространственного разброса вокруг среднего значения. Правда, она выражает этот разброс “наоборот”: большие значения соответствуют более близкой ориентации векторов, меньшие — большему разбросу. Таким образом, большое значение этого показателя в нашем примере с деревьями означало бы значительное преобладание одного из направлений ветра, а малое значение говорило бы о наличии завихрений или отсутствии явно

обладающего направлением. Наряду с самой этой величиной можно использовать также и обратную ей величину, называемую **круговой дисперсией** (circular variance), которая равна единице минус нормализованная длина равнодействующего вектора. Если вы интересуетесь статистикой, то можете увидеть возможность существования дирекционных аналогов стандартного отклонения, моды и медианы, для которых также имеются соответствующие формулы [Gaile and Burt, 1980].

Остается одна проблема, связанная с ориентацией и направлением. Как мы знаем, одни линейные объекты могут иметь определенное направление (перевья), другие же — нет (лесозащитные полосы), хотя определенная ориентация присутствует в обоих случаях. Например, один исследователь, собирающий данные о загрязнениях, может указывать, что некоторые из них ориентированы на север, а другой — что на юг. Тогда, при анализе данных, собранных этими исследователями, может оказаться, что при определении длины среднего равнодействующего вектора, исходные векторы будут, так сказать, взаимно уничтожать друг друга.

К счастью, для этого есть остроумное решение. Крумбейн [Krumbein, 1939] обнаружил, что при удвоении значения угла, независимо от исходного направления, записывается одно и то же значение. Допустим, мы имеем объект, ориентированный с северо-запада ( $315^\circ$ ) на юго-восток ( $135^\circ$ ). После удвоения мы получим:  $315^\circ \times 2 = 630^\circ (-360^\circ = 270^\circ)$  и  $135^\circ \times 2 = 270^\circ$ . Такой способ выражения направлений повлияет на формулы для вычисления среднего направления, нормализованной длины равнодействующего вектора и круговой дисперсии, поэтому, чтобы получить действительные значения, их нужно будет модифицировать.

Эти простые меры направленности и разброса могут быть проверены на случайность [Batschelet, 1965; Gumbel et al., 1953] и наличие тренда [Stephens, 1969] стандартными процедурами проверки статистических гипотез. С дирекционными данными покрытия могут сравниваться аналогичные данные других покрытий [Gaile and Burt, 1980; Mardia, 1972]. Эти темы выходят за рамки данной книги, а указанные источники предлагают подробное их рассмотрение.

В контексте ГИС, данные меры главным образом помогают характеризовать распределения внутри покрытия и сравнения их с данными других покрытий в поисках причинных механизмов. Растровые ГИС плохо приспособлены для данного типа анализа, но большинство векторно-топологических систем позволяют определить по меньшей мере некоторые предварительные значения (например, углы отрезков полилиний), которые могут храниться в БД ГИС как атрибуты и передаваться другим программам для обработки, если сам ГИС-пакет не способен вычислять средние показатели направленности.

## СВЯЗНОСТЬ ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ

Важным аспектом пространственного расположения линий является их способность образовывать сети. Сети имеют самые разнообразные формы, как естественные, так и созданные человеком. Среди них: автомобильные и железные дороги, телефонные линии, реки, даже лесозащитные полосы могут играть роль сети, позволяющей мелким млекопитающим перемещаться по ландшафту, — список можно долго продолжать. И хотя мы можем интересоваться плотностью и ориентацией объектов, образующих сеть, нам нужна также и возможность анализировать реальные связи, образованные этими объектами и степень связанности между различными точками сети. Вы наверняка сталкивались с ситуациями, когда в городе нет прямой дороги от места до места, и приходится ехать круглым путем. Здесь мы сталкиваемся с недостатком связности (connectivity) в сети.

Связность является мерой сложности сети. Имеются несколько методов для определения этой характеристики [Haggett et al., 1977; Lowe and Moryadas, 1975; Sugihara, 1983; Taaffe and Gauthier, 1973]. Наиболее общими являются гамма-индекс (gamma index) и альфа-индекс (alpha index).

Гамма-индекс  $\gamma$  является отношением числа существующих связей между парами узлов сети,  $L$ , к максимально возможному числу связей в том же наборе узлов,  $L_{\max}$ . Очевидно, что векторно-топологическая модель данных лучше всего подходит для этих вычислений. Определить же  $L_{\max}$  не так трудно, как может сначала показаться, оно однозначно определяется числом узлов  $V$ . Например, если мы имеем три узла, то возможны лишь три связи (Рисунок 11.10). Если мы добавим еще один узел, то сможем добавить еще три связи, а всего их будет шесть [Forman and Godron, 1987]. И если мы полагаем, что не образуются новые пересечения, то максимальное число связей будет каждый раз увеличиваться на три. То есть,  $L_{\max} = 3(V - 2)$ .

Гамма-индекс тогда определяется как

$$\gamma = L / L_{\max} = L / 3(V - 2)$$

Он принимает значения от 0 (нет ни одной связи) до 1 (все возможные связи присутствуют) [Forman and Godron, 1987].

Рисунок 11.10 показывает два варианта сети с 16-ю узлами. На рисунке (а) имеется 15 связей, что дает связность  $\gamma = 15 / 3(16 - 2) = 0.36$ . На рисунке (б) имеется 20 связей, поэтому  $\gamma = 20 / 3(16 - 2) = 0.48$ . Образно говоря, первая сеть связана примерно на треть, а вторая — наполовину.

Большее количество связей в сети облегчает передвижение по ней, что важно, например, для специалистов по транспортному планированию.

Важной характеристикой сетей помимо связности является наличие в ней контуров, позволяющих перемещаться от узла к узлу разными маршрутами. В качестве примера можно привести кольцевые автодороги вокруг крупных городов, позволяющие снизить нагрузку транзитного

транспорта на уличную сеть.

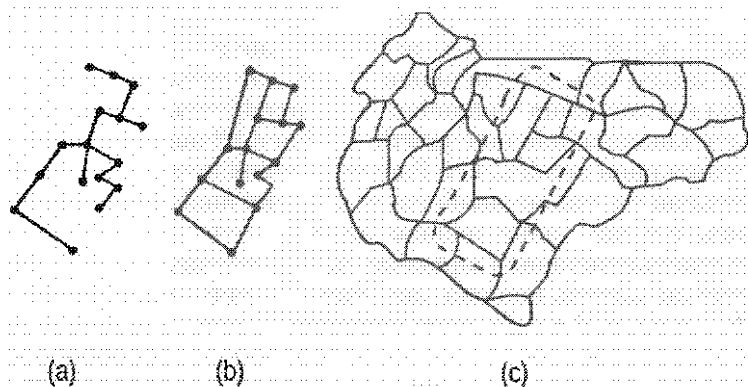


Рисунок 11.10. Гамма-индекс. Две различные сети на основе одного набора узлов: а) с минимальной связностью и без контуров, б) с большей связностью и контурами, дающими альтернативные маршруты перемещения по сети.

В качестве меры соединенности узлов контурами альтернативных маршрутов (circuitry) используется так называемый альфа-индекс ( $\alpha$ ). Он является отношением имеющегося в сети числа контуров к максимально возможному числу контуров в этой сети. Известно, что сеть без контуров имеет связей на одну меньше, чем число узлов:  $L = V - 1$ . На Рисунке 11.10а вы можете видеть такую сеть, — в ней 16 узлов и 15 связей. Она обладает минимальной связностью, в том смысле, что в ней имеется наименьшее возможное число связей при заданном числе узлов, причем каждый узел имеет по меньшей мере одну связь.

Добавление какой-либо связи создает контур, т.е. когда сеть содержит контуры  $L > V - 1$ . Число же имеющихся контуров можно определить как  $L - (V - 1)$  [Forman and Godron, 1987].

Далее, так как максимальное число связей в сети определяется как  $3(V - 2)$ , а минимальное (без потери связности) как  $V - 1$ , то максимальное число контуров будет  $3(V - 2) - (V - 1)$ , т.е.  $2V - 5$ . Отсюда альфа-индекс  $\alpha = (L - (V - 1)) / (2V - 5)$ . Диапазон значений альфа-индекса — от 0 (сеть без контуров) до 1 (сеть с максимальным числом контуров).

Теперь мы можем вычислить альфа-индекс для сетей на Рисунке 11.10:

$$\alpha = (15 - 16 + 1) / (2 \times 16 - 5) = 0$$

$$\alpha = (20 - 16 + 1) / (2 \times 16 - 5) = 0.19$$

Таким образом, в сети на Рисунке 11.10а есть только один вариант для перемещения из одной точки в другую, а на Рисунке 11.10б возможны

несколько альтернативных маршрутов разной длины.

Поскольку для создания контуров требуется добавление новых связей, вполне возможно рассматривать альфа-индекс как альтернативную меру связности. Но так как эти два индекса дают разные взгляды на сеть, будет более уместным объединить их некоторым образом для создания общей меры сложности сети (*network complexity*). Для вычисления данных индексов требуется использование векторной ГИС. Это требование подчеркивается тем обстоятельством, что вся эта статистика имеет топологическую основу теории графов, где гораздо важнее связность узлов, нежели их расположение или длины и формы линий, связывающих их.

Для транспортного моделирования нам нужно знать все-таки больше, чем просто параметры связности. Здесь имеют значение длины связей между узлами, возможные направления движения по этим линиям, значения сопротивления движению (импеданса). Вдобавок, существуют и другие простые индексы, пришедшие из теорий транспортировки и связи, которые также характеризуют связность сетей. Например, возможно определение интенсивности связности (*linkage intensity*) для каждого узла, числа альтернативных маршрутов между заданными узлами, поиск центрального узла (*central place*), т.е. такого, который имеет наибольшее число связей, а также построение регионов на основе связности и доступности [Haggett et al., 1977; Lowe and Moryadas, 1975]. И все это можно сочетать друг с другом и с другими характеристиками линий — расположением, ориентацией, дисперсией — для получения более полной картины сети.

## МОДЕЛЬ ГРАВИТАЦИИ

До сих пор мы не обращали внимание на значимость отдельных узлов, которая может быть неодинаковой. Но подумайте о городах. Крупные города по сравнению с мелкими дают больше возможностей для покупок, для посещения выставок, концертов, спортивных соревнований и т.д. Поэтому они привлекают больше людей. И города — не единственный пример, когда размер имеет значение. Например, большое озеро привлекает больше водоплавающих птиц, нежели маленький пруд.

Оба примера показывают, что более крупные объекты привлекают к себе большую активность, будь то птичью, или человеческую. Размер такого притяжения может представляться во многом подобно гравитационному притяжению тел, обладающих массой. Чем больше масса, тем больше сила притяжения между ним и его соседями.

Переноса идею гравитационного притяжения на взаимодействие между узлами покрытия ГИС, мы получим модель гравитации (*gravity model*), которая в общем виде выражается как:

$$L_{ij} = K P_i P_j / d^2,$$

где  $L_{ij}$  — величина взаимодействия между узлами  $i$  и  $j$ ;  $P_i$  — величина узла  $i$ ;  $P_j$  — величина узла  $j$ ;  $d$  — расстояние между узлами;  $K$  — константа, определяемая природой взаимодействующих объектов. Величины узлов могут быть представлены такими их параметрами, как потребность в продукции, объем розничных продаж торговых центров города, площадью поверхности водоема для водных птиц.

Мы видим, что чем больше величины узлов, тем больше сила взаимодействия между ними, и что с ростом расстояния между узлами сила взаимодействия уменьшается. На примере города мы можем сказать, что чем больше город, тем более он привлекателен для торговли. С другой стороны, если город находится далеко от вас, вряд ли вы в него поедете, даже несмотря на возможную выгоду от сделки. [Как говорит русская поговорка, "за рекой полушка — полушка, да рубль перевоз" ]

Существуют многие варианты данной простой модели притяжения между точками, как в растровых, так и в векторных системах. И хотя большинство из них используется для экономического анализа размещения объектов (также как и полигоны Тиссена), возможно и другое их применение. Исследователи могут использовать их для описания пассажиропотока между городами, объема телефонных вызовов, потоков птиц и семян, которые распространяются птицами между участками леса [Buell et al., 1971; Carkin et al., 1978; McDonnell, 1984; McQuilkin, 1940; Whitcomb, 1977]. В общем, любые потоки между узлами различной величины могут анализироваться с применением модели гравитации.

## МАРШРУТИЗАЦИЯ И АЛЛОКАЦИЯ

Среди наиболее применяемых приложений сетей в ГИС являются речивые задачи маршрутизации и размещения (аллокации) (routing and allocation). Простейший вариант маршрутизации включает поиск кратчайшего маршрута между двумя узлами сети (Рисунок 11.11). Учитывая, что узлам могут присваиваться весовые коэффициенты (как в модели гравитации), возможен вариант маршрутизации от некоторой заданной точки до ближайшей точки с максимальным весом (например, максимальным спросом на товар). Прекрасное описание маршрутизации и размещения можно найти в [Lupien et al., 1987].

Каждой связи в сети может быть присвоено значение импеданса (сопротивления, стоимости), во многом наподобие фрикционной поверхности, но налагаемого только на саму эту линию. Значение импеданса

может быть связано, например, с ограничением скорости или даже запретом проезда по некоторым улицам, как, например, в случае закрытия дороги на ремонт. Используя нарастающее расстояние (accumulated distance) (см. Главу 8), с учетом как геометрического расстояния, так и значений импеданса, может строиться наиболее эффективный маршрут (т.е. маршрут наименьшей стоимости), а не просто кратчайший. Узлам также могут присваиваться значения импеданса или стоимости и запреты на их прохождение. Как и при определении функциональных расстояний на поверхности и стоимости передвижения по ней, все это требует априорного знания свойств улиц, перекрестков и других узлов. И нередко бывает так, что веса и импедансы задаются несколько произвольно или по интуиции.

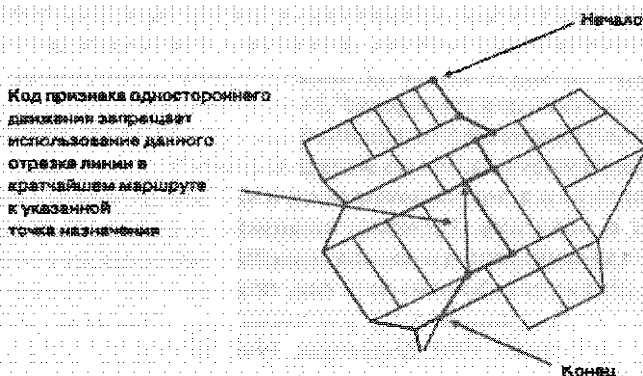


Рисунок 11.11. Кратчайший маршрут в сети. Результат работы алгоритма поиска кратчайшего маршрута в простой дорожной сети.

Хотя маршрутизация в принципе может выполняться на растре, она гораздо легче реализуется в векторной топологической модели данных, поскольку эта модель лучше других воспроизводит характеристики графов. Вам также следует знать, что вследствие наличия контуров в сети, возможны альтернативные маршруты между двумя заданными точками, а с учетом различных ограничивающих факторов, как статических (свойства дороги), так и динамических (наличие уже существующего движения), плюс различные виды оптимизации маршрутов (посещение набора узлов в заданном порядке, оптимизация использования парка транспортных средств, организация работы по обслуживанию множеств поставщиков и потребителей грузов, выравнивание нагрузки на дорожную сеть и т.д.) тема маршрутизации заслуживает отдельной толстой книги.

Аллокация (allocation) это процесс, который может использоваться для

определения, например, положения нового супермаркета, территориального покрытия станции водоочистки, или границ зон обслуживания противопожарных частей. Чаще всего при этом используется сетевая структура в векторной ГИС. Идея состоит в распространении возможностей заданной службы по сети. Каждая связь (или каждый узел) сети имеет определенное число обслуживаемых элементов. Например, каждый отрезок улицы имеет некоторое число домов, к которым подается вода. Каждый дом может рассматриваться также как потенциальный клиент для близлежащей противопожарной части [Lupien, et al., 1987]. Кроме того, каждая служба или каждый торговый центр имеют определенную максимальную нагрузку и предельное расстояние обслуживания, а срочные службы — ограничение во времени на обслуживание одного обращения; все это также учитывается при построении зон обслуживания (Рисунок 11.12). Если бы дорожная сеть была совершенно однородна (без импеданса, запретов, ограничений скорости и т.д.) аллокация была бы просто делом выбора критерия и расширения границ зон обслуживания от центров, пока эти границы не встретятся.

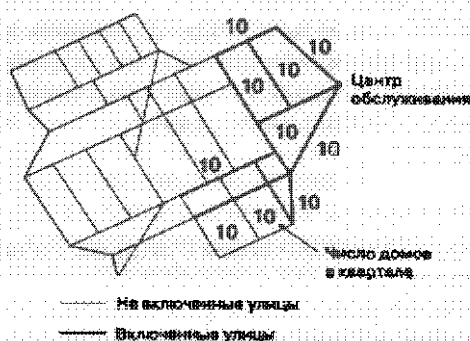


Рисунок 11.12. Аллокация в сети. Приписывание улиц, каждая из которых имеет по 10 домов к центру обслуживания, способному надежно обслуживать только 100 домов.

Например, если бы мы проводили аллокацию для распространителей газет, так чтобы машина каждого проходила только определенное число километров, программе пришлось бы просто подсчитывать километры, когда маршрут расширяется от начальной точки, пока не будет достигнут заданный километраж, после чего улицам будут присвоены соответствующие коды маршрутов распространителей.

Как вы могли догадаться, большинство реальных задач аллокации



довольно сложны, и на эту тему написаны серьезные труды. Здесь только следует еще упомянуть о связи почтовых адресов с линейными объектами, образующими покрытие уличной сети. Установление такого соответствия называется адресным геокодированием (address matching). Оно позволяет определять почтовый (логический) адрес по географическим или условным координатам объекта или топологическим координатам в сети, а также выполнять обратные преобразования. Его необходимость обусловлена тем, что люди используют логические адреса, в то время как ГИС оперирует координатами и топологией.

## **НЕДОСТАЮЩЕЕ ЗВЕНО: ПОЧЕМУ НУЖНО ИСПОЛЬЗОВАТЬ ДРУГИЕ ПОКРЫТИЯ**

Здесь нужно лишь одно простое замечание. К настоящему моменту мы рассмотрели, как точечные, линейные и площадные объекты могут исследоваться на предмет их распределения, связности и ориентации, образования ими окрестностей. Однако, все эти аналитические операции часто имеют смысл только при соотнесении их с анализом других покрытий, что особенно верно для поиска причинных механизмов рассматриваемых явлений и определения влияния одних объектов на другие. В следующей главе мы займемся этими вопросами, которых и им подобных, на самом деле, гораздо больше, чем можно было бы подумать.

### **Вопросы**

1. Что мы имеем в виду, когда говорим о распределениях объектов? Чем это знание нам полезно?
2. Как определяется равномерное распределение? Чем отличается регулярное равномерное распределение от случайного равномерного? Что такое кластерное распределение?
3. В чем важность регулярного, случайного и кластерного распределения по отношению к процессам, которые могли их вызвать? Приведите примеры каждого из названных распределений с указанием гипотез о причинах их образования.
4. Какова цель анализа квадратов? Опишите, как он выполняется. Какой статистический критерий мы используем для подтверждения или отклонения полученных результатов?
5. Каково значение отношения дисперсии к среднему в точечных распределениях? Чем оно отличается от традиционного анализа квадратов?
6. Что говорит нам анализ ближайшего соседа в отличие от анализа квадратов? В чем сходство этих методов?

7. Каково назначение полигонов Тиссена? Изобразите несколько примеров и опишите, как эти полигоны создаются.

8. Опишите статистик соединений. О чем он говорит? Чем он отличается от простой меры смежности? В чем отличие свободного отбора от несвободного в их применении к проверке результатов подсчета

9. Опишите процесс анализа ближайшего соседа в линейных паттернах. Что он говорит нам о распределении линий? Опишите некоторые ситуации, в которых статистик ближайшего соседа может давать обманчивые результаты.

10. Опишите применение метода пересечения линий для анализа распределений линий. Что такое случайный обход?

11. Что такое равнодействующий вектор? Что он говорит о паттернах линейных объектов? Что такое длина равнодействующего вектора? Как она связана с задачами равнодействующей силы в физике?

12. Что такое нормализованная длина равнодействующего вектора? Чем она отличается от длины равнодействующего вектора? Когда она используется? О чем говорит большая нормализованная длина равнодействующего вектора? В чем различие между круговой дисперсией и нормализованной длиной равнодействующего вектора?

13. Как мы можем модифицировать определение среднего направления, нормализованной длины равнодействующего вектора и круговой дисперсии в случае равнозначности взаимно противоположных направлений?

14. Опишите вычисление гамма-индекса и расскажите, что он нам сообщает о величине связности в нашей сети?

15. Что такое альфа-индекс, в чем его сходство с гамма-индексом и отличие от него. Приведите некоторые примеры того, как оба эти индекса могут быть использованы для не-дорожной сети.

16. Опишите в общем модель гравитации. Как на взаимодействие точечных объектов влияют расстояние между узлами и величина узлов. Приведите пример применения модели гравитации.

17. Опишите типы атрибутов, которые может потребоваться присвоить узлам и дугам между узлами в работе с задачами маршрутизации и аллокации.



## Глава 12

### Наложение покрытий



Процесс наложения требует сравнений как графики, так и атрибутов. Техника выполнения наложения может быть довольно сложной, особенно в отношении алгоритмов, связанных с выполнением векторного наложения. Последующие графические описания процесса наложения должны дать вам понимание того, как компьютер выполняет векторное наложение. Данная глава дает общее, на уровне идей, понимание вопроса, она не детализирует все возможные методы логического или математического комбинирования покрытий, но фокусируется на некоторых из них, которые должно быть не трудно понять.

При возможности, вы можете опробовать различные методы на одном и том же наборе данных. Нет замены опыту, который даст вам понимание того, какой из методов наиболее пригоден для ваших задач. Опыт, приобретенный даже на простейшей ГИС, легко может быть распространен на более мощную систему. Время, затрачиваемое на освоение большой системы, может быть существенно сокращено, если вы уже знакомы с тем, как наложение выполняется, — вам потребуется только просмотреть страницы документации, относящиеся к слову “overlay” и определить, какие кнопки нажимать для запуска известных вам алгоритмов.

### КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ НАЛОЖЕНИЕ

К наиболее мощным возможностям современных ГИС относится их способность комбинировать картографическое представление тематической информации одной выбранной темы с другой. Этот процесс, называемый наложением (overlay), настолько интуитивно очевиден, что его применение в десятилетия предшествовало появлению современных компьютерных геоинформационных систем.

Давайте рассмотрим такой пример. Новичок начинает работать в ГИС с десятками тематических покрытий на территорию своего округа. Среди них стоимость земли, зонирование, типы почв, землепользование, дороги, естественная растительность, больницы, противопожарные станции, школы и т.д. Узнав, как выполнять наложение, он хочет попробовать его в действии,

и вот, просматривая покрытия, он обнаруживает почти полное пространственное совпадение наиболее дешевых земель с распределением старовозрастных дубовых лесов. Отсюда можно сделать вывод, что этот вид лесов создает почвы низкого качества, что, в свою очередь, обуславливает их низкую ценность. Хотя это может быть действительно так, на самом деле рассматриваемая корреляция может быть обусловлена совсем другими факторами.

И когда наш новичок создает наложение из покрытий стоимости земли и типов землепользования, он обнаруживает, что определенная категория землепользования, в данном случае — лесоводство, почти точно совпадает с областью старовозрастного леса. Не удивительно, что хотя эта земля имеет ценность для лесозаготовительной компании, ее стоимость гораздо ниже, чем стоимость земли в расположенных поблизости промышленных, торговых и жилых зонах.

В этих покрытиях можно найти и многие другие корреляции, например, между стоимостью земли и транспортной инфраструктурой, землепользованием и зонированием, между пересечениями дорог и расположением заправочных станций. Однако, следует помнить о рискованности выносить суждения о причинно-следственных связях на основе обнаружения только лишь визуальной корреляции. И поскольку карту очень легко принять за истинную картину реальности, тем более важно получить доказательства реального существования таких связей, прежде чем они будут использованы.

Теоретическая основа пространственной корреляции различных феноменов уже разработана для некоторых категорий картографических данных, но, конечно, не для всех. Например, Соьер [Sauer, 1925] создал модель взаимосвязи общих категорий данных о земле в своей работе по морфологии ландшафтов. Его исследование выявило существование значительной корреляции между человеческой активностью, формами ландшафта и другими физическими параметрами. Хотя он не формализовывал эти связи для применения на картах, очевидно, что он увидел связи между распределениями этих феноменов на земной поверхности. В дальнейшем исследователи формализовали эту разработку в виде широкого спектра подходов, названных, например, *sieve mapping* [Turwhitt, 1950; Hills et al., 1967].

Среди наиболее влиятельных разработчиков этого направления был Ян МакХарт (Ian McNarg), работа которого, связанная с окружающей средой, породила целую школу мысли среди сегодняшних архитекторов ландшафтов, которая позволяет значительную часть работы выполнять при помощи компьютера, по сравнению с тем, что было возможно на основе полевых наблюдений и картографии одного покрытия [Simpson, 1989]. Он

использовал некомпьютерный метод наложения с использованием прозрачной пластиковой пленки [McNarg, 1971], на отдельных листах которой отображались параметры окружающей среды: чем темнее участок пленки, тем выше чувствительность среды.

#### УКЛОН

- Зона 1 свыше 10%
- Зона 2 менее 10% и более 2,5%
- Зона 3 менее 2,5%

#### ПОВЕРХНОСТНЫЙ СТОК

- Зона 1 Водные поверхности реки, озера, водохранилища.
- Зона 2 Каналы естественного стока и области ограниченного стока.
- Зона 3 Отсутствие водной поверхности или выраженных каналов стока.

#### ПОЧВЕННЫЙ СТОК

- Зона 1 Сенокосы, болота и другие возвышенности с тихим стоком.
- Зона 2 Области с высоким уровнем грунтовых вод.
- Зона 3 Области с хорошим внутренним стоком.

#### ПОРОДЫ ОСНОВАНИЯ

- Зона 1 Заболоченные территории, наименьшее сопротивление сжатию.
- Зона 2 Меловые отложения, песок, глина, известняк, глинистый сланец.
- Зона 3 Кристаллические породы: серпентинит и диабаз.

#### СУПЬИ

- Зона 1 Днища и сушкины, низкая стабильность и низкое сопротивление сжатию.
- Зона 2 Сушкины от мелкопесчаных до среднепесчаных.
- Зона 3 Правый или бурый сушкинок и сушкинок от гравийного до каменистого.

#### ПОДВЕРЖЕННОСТЬ ЭРОЗИИ

- Зона 1 Все участки с уклоном более 10% с лесчаной почвой.
- Зона 2 Почвы из песка и гравия или бурого суглинка и области с уклоном более 2,5% на глинике от гравийного до каменистого.
- Зона 3 Прочие области мелкоструктурной почвы и малые уклоны.



наложение: фитографические препятствия

Рисунок 12.1. Наложение пленок для определения чувствительности окружающей среды. Пример использования наложения пленок при ручном выполнении процесса наложения для демонстрации повышения чувствительности с ростом числа перекрывающихся категорий физических параметров.

При наложении листов с покрытиями друг на друга чувствительность по разным параметрам складывается. В результате создавалось новое, суммарное, покрытие, которое могло быть использовано для рассмотрения альтернатив и принятия решений (Рисунок 12.1) [Steinitz et al., 1976].

Мы далеко не всё еще знаем о причинных связях пространственных феноменов. Эта тема является значительной частью того, чем занимаются географы. Геоинформационные системы дают теперь возможность легко выполнять процедуры наложения, благодаря чему могут возникнуть новые гипотезы, теории и даже законы об этих корреляциях.

Многие специалисты из разных областей могут получить ценные сведения о пространственных корреляциях, которые ранее не наблюдались или даже не могли наблюдаться без применения компьютеров. По мере развития этого процесса мы будем получать всё более детализированный набор правил о допустимости наложения покрытий и выводе утверждений о причинно-следственных связях. А пока нам следует быть внимательными, ибо современные ГИС позволяют использовать не один-единственный простой метод наложения, а десятки. Эти развитые возможности наложения легко могут привести к большому числу ошибок при сравнении не связанных покрытий и ошибочным выводам в результате.

Следует заметить, что это также усиливает нашу способность сознательно искажать информацию на картах, причем в существенно большей степени, чем до того, как ГИС стали использоваться для сравнения пространственных феноменов [Monmonier, 1991].

## **"ТОЧКА В ПОЛИГОНЕ" И "ЛИНИЯ В ПОЛИГОНЕ"**

Традиционно, как с использованием пленок, так и с применением компьютеров, наложение рассматривается как метод сравнения полигональных покрытий. Но существуют и другие типы наложений, использующие точечные и линейные данные. Рассмотрим пару примеров.

Допустим, некий детектив пытается обнаружить пространственную связь между некоторыми районами города и участвовавшими случаями уличного воровства. Он не имеет возможности сбора данных на месте, но должен полагаться на записи сотрудников полиции о подобных случаях за последние годы. Он может также взять записи по преступности из имеющихся архивов и отметить адреса этих инцидентов на карте города, где также имеются границы районов. Это значит, что, отмечая по адресу точки происшествий, он тем самым помещает их в полигоны, представляющие районы города. Влюбовок, он отображает на карте статистику преступности за каждый месяц. Этот утомительный процесс был бы намного проще, если бы данные уже были включены в некоторую ГИС.

Исследовав точечное распределение, он обнаруживает, что в районе Плезэнтфилд совершенно гораздо больше уличных краж, чем где-либо еще. Это удивительно, ибо Плезэнтфилд — район не бедный, где можно было бы найти много нуждающихся в мелких суммах денег. Это также не богатый район, где жители могли бы носить с собой крупные суммы денег. Плезэнтфилд — район среднего класса, жители которого имеют средние доходы, скромные дома и семейные автомобили\*. Возможно, в этом районе следует просто усилить полицейское патрулирование, но детектив не нашел еще главную причину повышенной концентрации здесь случаев уличного воровства.

Тогда он начинает рассматривать годовые данные помесячно и обнаруживает повышенное количество краж в декабре. Зная, что в этом месяце имеет место активная предпраздничная торговля, он решает сравнить данные этих месяцев с остальными за несколько лет. Двигаясь год за годом назад, он обнаруживает сохранение тенденции вплоть до 1983 года, из которого случай уличного воровства имели большую рассеянность по районам города в противоположность концентрации в Плезэнтфилде. Год же 1983-й является годом завершения строительства торгового центра в Плезэнтфилде. Уже теплее! Далее он рассматривает точечные отметки случаев уличных краж на более подробной карте района и обнаруживает, что эти точки концентрируются вдоль дорог с интенсивным движением к торговому центру и от него. Это показывает на повышенное значение некоторых линейных объектов (улиц) внутри полигонов (районов).

Наш детектив продемонстрировал сильную корреляцию между точечными и полигональными объектами, и мы видим, насколько полезным может быть сравнение между этими объектами. Он также установил определенную связь между данными в пределах одного покрытия. Анализируя карты, он обнаружил не только то, что в одном из полигонов оказалось больше точек, чем в других, но и то, что сами точки находились в близости друг от друга (сгруппированное распределение) и от линейных объектов.

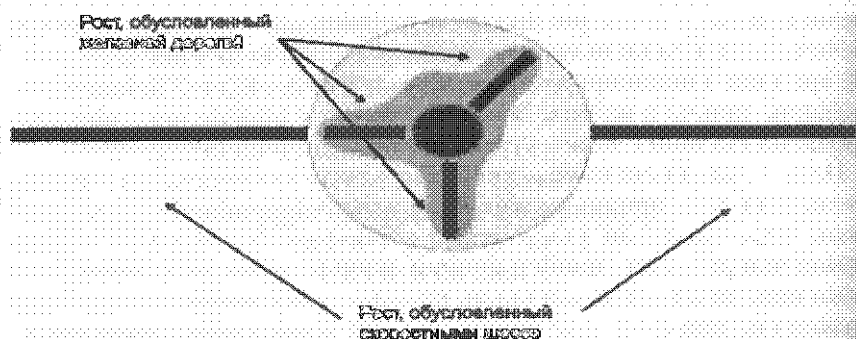
Следующий пример покажет возможность корреляции линейных и полигональных объектов, или процедуру "линия в полигоне" (line-in-polygon). Представьте себя в роли специалиста по исторической географии, занимающегося исследованием развития своего города. Вы знаете, что город испытывал несколько периодов активного роста, и что архитектурные решения, присущие различным периодам, заметно различаются. Вначале вы наносите на карту как отдельные полигоны области однородной архитектуры. Возникающее распределение показывает три крупных зоны,

\* т.е. не персональные на каждого взрослого члена семьи, что обычно для богатых районов.  
© ИА — прим. перев.



в которых расширение выглядит как длинные шупальца, исходящие из центрального ядра. Вследствие линейноподобной природы полигонов вы начинаете подозревать, что причиной такого распределения являются какие-то линейные объекты.

Тогда вы составляете набор карт с участием наиболее заметных линейных объектов городской среды — транспортных сетей. Вы составляете карту железных дорог, карту со старыми трамвайными линиями, карту со скоростными шоссе. После переноса этих карт на пленки вы накладываете их на карты архитектурных периодов, чтобы разглядеть возможные соответствия. К вашей радости, вы обнаруживаете, что через полигоны раннего периода роста проходят крупные железнодорожные линии, которые существовали в то время. Затем вы накладываете слой с трамвайными линиями и видите аналогичное сходство для второго периода роста. Наконец, после наложения пленки с шоссе вы опять обнаруживаете пример сильной пространственной корреляции между доминирующими транспортными сетями и расширением городской территории [Adams, 1970] (Рисунок 12.2).



**Рисунок 12.2.** Линия в полигоне. Так могло бы выглядеть наложение “линия в полигоне”, показывающее связь между полигонами расширения города и линиями доминирующих транспортных сетей.

Результаты наложения помогут доказать, что наблюдаемые сходства пространственных распределений демонстрируют действие некоторого реального причинно-следственного механизма. Однако, при выполнении работ без применения ГИС потребуется немало времени на составление карт и рассмотрение многих покрытий. Кроме того, если вы хотите рассмотреть добавок к упомянутым еще и другие показатели, для них вам также придется составлять и накладывать слои карты. Если же в вашем распоряжении

имеется ГИС с большим числом тематических слоев, то вы могли бы легко выполнить наложение любого набора из этих показателей, чтобы рассмотреть другие гипотезы о картине пространственного изменения города. К тому же, если вы сможете доказать существование функциональной зависимости между наблюдаемыми паттернами, это знание могло бы использоваться при планировании управляемого роста города. Компьютеризация этих простых методов географического анализа приносит как концептуальные, так и практические плоды.

## НАЛОЖЕНИЕ ПОЛИГОНОВ

Как уже упоминалось, исторически сложилось так, что сравнение полигональных покрытий является наиболее распространенным подходом к выполнению наложения, вследствие чего разработчики геоинформационных систем изначально развивали именно этот тип наложения. Поэтому существуют различные подходы к выполнению наложения полигонов, ориентированных на определенные потребности пользователей. Рассмотрим пример использования наложения полигонов.

Планировщик регионального уровня должен подготовить план контролируемого роста населения в сельской местности, которая должна подвергнуться интенсивной урбанизации в течение ближайших двадцати лет. При разработке плана рост может допускаться в тех областях, где имеются почвы, пригодные для строительства домов с фундаментами. При этом следует везде, где возможно, сохранять почвы высшего качества для ведения сельского хозяйства. Кроме того, следует предотвратить застройку земель, находящихся в собственности федерального правительства, земель, которые уже используются в качестве сельхозугодий, земель, на которых производятся археологические раскопки, а также земель, где находятся области обитания охраняемых видов животных. Следует также учесть, что нормативные акты позволяют местной администрации запрещать урбанизацию областей, предназначенных для других целей.

Рассмотрев эти требования, планировщик собирает карты с названными темами и готовит пленки, каждая из которых содержит затемненные участки, соответствующие запрету урбанизации по соответствующему тематическому критерию, и прозрачные участки, где данный критерий разрешает застройку. После наложения всех этих пленок друг на друга затемненными окажутся участки, на которых нельзя вести строительство, так как они находятся на почвах, не пригодных для домов с фундаментами, или их почвы имеют большой агрономический потенциал, или они используются для сельского хозяйства, или там ведутся археологические раскопки, или на них расположены места обитания охраняемых видов животных, или они

принадлежат федеральному правительству (Рисунок 12.3). Вы можете отметить, что все названные ограничения соединены союзом “или”, выделенным жирным шрифтом, означающим в алгебре логики операцию “или” (дизъюнкцию), а в теории множеств — операцию объединения, в результате которой мы получаем покрытие, объединяющее все названные ограничения.

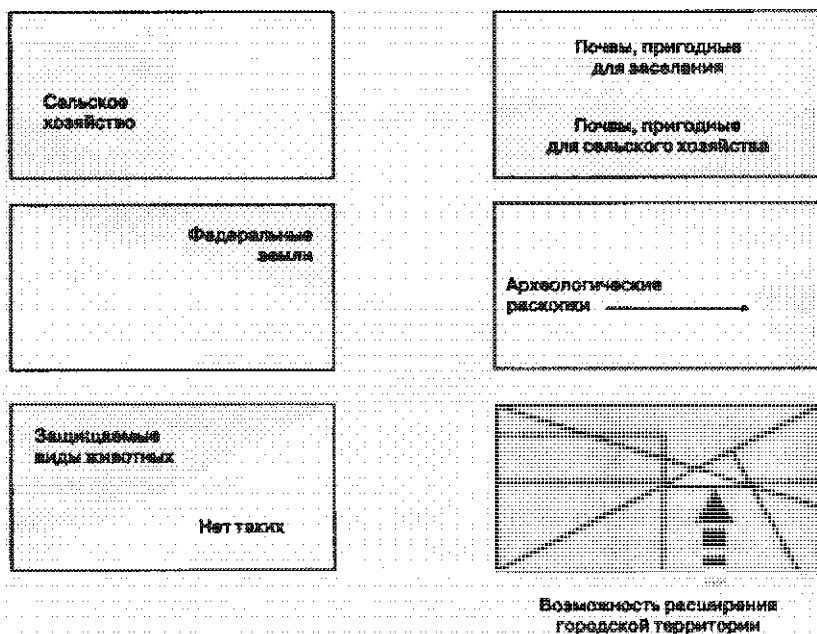


Рисунок 12.3. Наложение полигонов. После наложения затемненными будут те участки, на которых действует хотя бы одно из ограничений.

Этот же пример можно рассматривать как применение логической операции “и” или операции пересечения множеств (это должно быть для вас очевидным, если вы знаете законы Де Моргана). Здесь мы обращаем внимание уже на прозрачные участки пленок, соответствующие отсутствию ограничений (отмечено словом “не”). То есть, в результате наложения останется прозрачной та часть карты, на которой можно вести строительство, так как там находятся почвы, пригодные для домов с фундаментами, и они не имеют значительного агрономического потенциала, и они не используются

для сельского хозяйства, и они не содержат археологических раскопов, и на них не расположены места обитания охраняемых видов животных, и они не находятся в собственности федерального правительства.

В данном примере все показатели имели равные веса и поэтому могут быть названы *исключающими переменными* (*exclusionary variables*), т.е. каждый из них может запретить строительство. Но этот подход, хотя и распространен, все же ограничен бинарными данными шкалы. Реальность обычно более разнообразна.

Например, свойства почв по отношению к строительству домов, как правило, выражаются набором ранжированных классов, от строгого запрета через умеренные ограничения — до отсутствия ограничений. Это дает планировщику дополнительную гибкость решения через возможность использования почв с умеренными ограничениями. В конце концов, если современные строительные технологии позволяют преодолевать прежде установленные ограничения, планировщики вполне могут рассматривать урбанизацию этих областей, если они не имеют ограничений по другим параметрам.

Мы можем изменить анализ, перейдя от бинарных показателей к более высоким шкалам измерений, назначая большей степени ограничения большее затемнение на пленке. Такой подход называется *математическим наложением* (*mathematically based overlay*). В данном примере мы могли бы, например, области с непригодными для строительства почвами полностью затемнить, участки с ограничениями разной степени сделать более или менее светлыми, а участки без ограничений оставить прозрачными. Аналогичным образом мы можем поступить с агрономическим потенциалом почвы. А в покрытии с археологически ценными участками мы могли бы создать многослойные буферы для каждого из них (см. Главу 9), в которых имеется переход от полного запрета строительства на самом участке и через разные степени ограничения — до полного отсутствия ограничений по данному параметру вне буфера. Это позволит, например, разрешить строительство отдельных коттеджей вблизи от этих участков, но не плотную застройку многоквартирными домами, которая будет возможна только вне буфера.

Хотя все это можно сделать вручную, занятие это утомительно и требует много времени. Как мы скоро увидим, нужный эффект может быть легко получен как в растровых, так и в векторных ГИС.

Остается еще один вопрос — о степени влияния каждого фактора на принятие решения о застройке. Для этого каждому показателю присваивается вес, показывающий его важность по сравнению с другими показателями. Данная процедура легко реализуется тем же математическим наложением, при котором вычисляются значения весовой функции, представляющей собой сумму значений показателей, умноженных на

соответствующие им весовые коэффициенты.

Сложение – не единственная математическая операция, которая может использоваться для комбинирования покрытий, могут также использоваться вычитание, умножение, деление, возведение в степень, выбор большего или меньшего значения, усреднение и другие операции. Понятно, что большинство из них требует применения компьютера. Кроме того, существует набор методов для комбинирования покрытий на основе математических операций над покрытиями, действующими как статистические поверхности. Мы их рассмотрим несколько позже.

Существует еще одна категория наложений, возможная без использования компьютера. Мы назовем их селективными (*selective*) в противоположность математическим. На самом деле, селективное наложение – не обязательно отдельная категория, а скорее объединение и расширение рассмотренных методов. Во многих случаях мы имеем набор правил, позволяющих нам решать, какие из факторов можно использовать для выполнения наложения. Этот подход, иногда называемый наложением с правилами комбинирования (*rules-of-combination overlay*) [Chrisman, 1995], позволяет нам использовать исключаящую логику, взвешивание и математические операции одновременно. Набор таких правил может выглядеть как алгоритм с использованием конструкции "если-то-иначе". Наш последний пример мог бы использовать такие правила комбинирования:

если

(умеренные или нет ограничений на застройку по почвам) и  
(умеренные или нет ограничений по сельскому хозяйству) или  
(удаление от археологических площадок превышает 200 м)

то

установить минимальные значения покрытия

иначе

установить максимальные значения покрытия.

Чтобы построить такой алгоритм, наш планировщик должен заранее знать, каковы возможные комбинации условий.

Для этого было бы полезно свести в таблицу все возможные значения каждого показателя, а такая таблица требует другой формы наложения, называемого идентифицирующим наложением (*identity overlay*), которое может выделять любые из этих значений и сохранять всю их описательную информацию. Поскольку идентифицирующее наложение обычно выполняется в рамках селективного наложения, я не выделяю его как отдельную категорию, хотя другие авторы находят достаточно аргументов для такого выделения. В любом случае, идентифицирующее наложение, как и селективное, слишком сложно для выполнения вручную. Поэтому сейчас

мы вновь пройдемся по рассмотренным методам, но уже с точки зрения их компьютеризации и того, как она может расширить их возможности.

## КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА НАЛОЖЕНИЯ

Процесс наложения может быть очень сложным, практически невозможным при использовании традиционных карт. Различные веса параметров, сложные математические процедуры, правила комбинирования, — все они вносят вклад в усложнение процесса. Теперь мы посмотрим, как компьютер помогает реализовать все эти методы.

### Растровые наложения "точка в полигоне" и "линия в полигоне"

В растровых ГИС ячейки растра, представляющих статистику преступности, места обитания птиц или любую другую точечную информацию, могут сравниваться с помощью присваивания этим точкам, как и полигонам, легко отличимых чисел или категорий; таким образом, становится сразу же очевидно, какие ячейки расположены в пределах интересующих нас полигонов. Например, у нас есть одно покрытие с одним полигоном, скажем, лугом, представленным числовым значением 1. Окружающий фон мог бы иметь значение 0 — "область не классифицирована". В другом покрытии ячейки со значением 1 представляют положение больших сорняков, остальные ячейки содержат значение 0. При наложении этих двух покрытий с помощью сложения мы получим ячейки со значением 2, представляющие сорняки на лугу (Рисунок 12.4).

Вы можете заметить, что мы использовали одно и то же число для полезной травы в первом покрытии и для сорняков — во втором. Это привело к тому, что в результирующем покрытии мы не можем различить ячейки луга без сорняков от ячеек сорняков, растущих вне луга. Если бы мы обозначили сорняки существенно большим числом, скажем, 10, то легко могли бы распознать все случаи; в результирующем покрытии число 10 обозначало бы сорняки на неклассифицированном фоне, а 11 — сорняки среди травы, что являлось результатом наложения "точка в полигоне". Конечно, если бы наша ГИС могла хранить дополнительные атрибутивные данные или поддерживала легенду, то мы могли бы идентифицировать эти точки корректно в любом случае. Хотя большинство ГИС имеют возможности обеспечения этих функций, следует помнить об этом простом примере, ибо любые математические операции, которые мы могли бы выполнить в дальнейшем над этим покрытием, могли бы создать нам серьезные

трудности. Сохранять видимое разделение категорий важно также и потому, что такая же проблема встретится нам при растровом наложении полигонов.

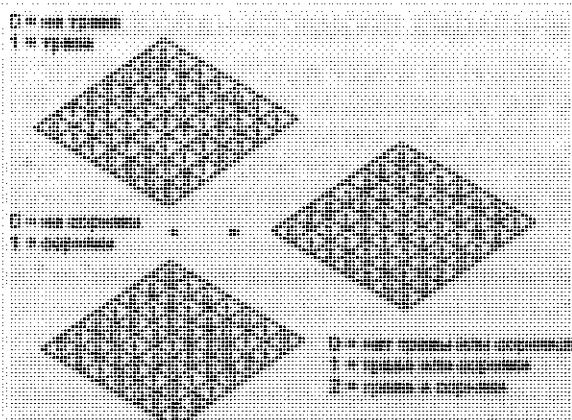


Рисунок 12.4. Растровое наложение с использованием сложения.

Как видите, в растре наложение “точка в полигоне” не требует явной информации о координатах как точек, так и полигонов. В простейших системах нужно помнить о различимости категорий после выполнения наложения, в более сложных такое различие может производиться по меткам (таким, как “сорняки” + “травы”). Системы, связанные с СУБД, будут иметь записи атрибутов, показывающие одновременное присутствие двух или более различных атрибутов в одной ячейке раstra.

Поскольку в растровой модели данные линии представляются цепочками прилежащих ячеек раstra, которые сами по себе являются точками, становится очевидным, что операция наложения “линия в полигоне” по сути не отличается от операции “точка в полигоне”.

## Растровое наложение полигонов

Процесс растрового наложения полигонов по сути так же прост, как и наложение точек, поскольку в растре полигоны являются группами точек с одинаковыми наборами числовых значений. Растровым наложениям свойствен недостаток пространственной точности, но при этом они обладают высокой гибкостью и скоростью выполнения вследствие своей простоты. Общеизвестно, что в общем случае растровое наложение предпочтительно вследствие его вычислительной легкости [Burrough, 1983].

Поскольку каждая ячейка растра одного покрытия обязательно совмещена с такой же ячейкой в других покрытиях, компьютеру не приходится тратить ресурсы на вычисление координатных взаимоотношений объектов разных покрытий\*. Вместо этого все ресурсы тратятся на сравнение атрибутивных данных, что, конечно, повышает скорость выполнения данной операции. Эти операции, чем-то похожие на матричную алгебру, обычно называют картографической алгеброй или алгеброй карт (map algebra) [Tomlin and Berry, 1979].

Простота растрового наложения дает также большую гибкость этой операции: мы легко можем выбирать из огромного числа возможных комбинаций логических, математических и условных операций над числовыми значениями ячеек растра. Мы уже рассматривали переклассификацию ячеек растра с помощью простых решающих правил, характеристик размера, формы и смежности, уклона и экспозиции склона, и многих других. Каждая из получаемых окрестностей является полигоном и легко может сравниваться с полигонами других покрытий с использованием все тех же перечисленных операций.

## НАЛОЖЕНИЕ В ВЕКТОРНЫХ СИСТЕМАХ

Операции векторного наложения дают те же преимущества, что и основанная на векторах компьютерная картография — они создают картографические продукты, напоминающие традиционные, рисованные от руки карты гораздо больше, чем созданные из растровых карт. Это сходство напоминает нам о ручном наложении, так как карты, созданные в результате векторного наложения предлагают потенциальные решения некоторых графических проблем, связанных с ручным наложением. Даже простое наложение полигонов с помощью пленок ограничено использованием очень простых распределений и минимума категорий. Допустим, например, что у нас есть 15 факторов чувствительности окружающей среды, как в упоминавшемся проекте Яна МакХарга. Использование карт в градациях серого означает, что можно получить до 15 классов чувствительности окружающей среды. Хотя каждая из категорий может быть важна, наше зрение не способно различать более 8–10 категорий одновременно.

Ограничения традиционных карт также существенно ограничивают нашу способность исследовать соответствующие пространственные распределения, как из-за больших затрат времени на их создание, так и

\* На самом деле это не всегда так: если два покрытия имеют различное разрешение или их ячейки смещены друг относительно друга из-за различий в географической привязке, то операция наложения потребует некоторого способа совмещения, установления соответствия между не совпадающими ячейками растра. — прим. перев.



потому, что категории, отображаемые темными тонами, выглядят для человеческого глаза одинаковыми\*. Современные векторные ГИС предоставляют большой набор аналитических средств и могут создавать карты с большим количеством цветов и оттенков.

Зная ценность и частоту реализации векторного наложения среди коммерческих ГИС, не будет излишним вопрос о том, является ли система, не способная создавать новые покрытия в результате векторного наложения (хотя и отображающая их на экране), действительно тем, что следует называть "ГИС". Этот вопрос не является чисто теоретическим, так как на самом деле любые ограничения векторного наложения уменьшают полезность системы для пользователя.

## ТИПЫ НАЛОЖЕНИЙ

### Наложение САПР

Первый и простейший метод компьютерного векторного наложения очень похож на традиционный метод в том, что мы просто располагаем символы отображения классифицированных данных на одной поверхности. Такие данные могут включать картограммы населения, распределения видов растений, землепользования, линейные символы для отображения дорожной сети, точечные символы, показывающие места археологических раскопок. Процесс графического наложения похож на метод тематического объединения, используемого для создания общегеографических карт. Такие карты позволяют пользователю видеть разнообразные факторы на одной графической основе и могут использоваться для графической демонстрации наличия или отсутствия пространственной связи между этими факторами. Для выполнения этой относительно простой операции в компьютере требуется, чтобы все отображаемые объекты находились в одной системе координат.

Результатом этой операции является изображение на экране, но не покрытие в файле. Программа не отвечает за объединение атрибутов объектов, так как сами атрибуты, чаще всего лишь метки, присоединенные к графическим элементам, и нет таблиц, связывающих эти метки с другими атрибутами. Нет также и топологии. Изображение — всего лишь графический прием последовательной отрисовки отдельных изображений для создания

\* Колориметрия утверждает, что человеческий глаз в норме способен различать более ста градаций серого и порядка 300 000 цветовых оттенков. Указанные автором ограничения часто обусловлены как несовершенством и неправильной настройкой оборудования, так, по-видимому, и традицией использования четырехбитной кодировки, дающей эти самые 15 градаций. В общем случае важен вопрос надежного различения, для которого иногда приходится ограничиваться всего лишь тремя-шестью категориями. — *прим. перев.*

объединенной картинке. Оно может быть напечатано и даже сохранено как файл на диске компьютера. Так почему же оно не является покрытием?

Вопрос довольно важен, и даже опытные пользователи ГИС иногда в нем путаются. Давайте рассмотрим пример с использованием системы автоматизированного проектирования (САПР). Допустим, мы оцифровали карту дорог, создав два слоя: собственно дороги и гидрография.

Далее мы отображали их на экране, чтобы определить, как проехать к некоторому озеру. Это вполне нам удастся визуально, и мы сохраняем карту для других случаев. Позднее другой человек пытается использовать эту карту для поиска дорог, идущих вдоль береговой линии на расстоянии до ста метров от нее. Хотя визуально это довольно просто сделать, сама программа не сможет нам ответить на такой простой вопрос, так как она не знает, как названия дорог связаны с их графическими изображениями. У нее нет БД, а надписи являются такими же графическими элементами, помещаемыми рядом с объектами, как и сами эти объекты. Она не может также определять меру близости или наличие соединения. То есть, то, с чем мы здесь имеем дело, не является покрытием ГИС. В принципе, мы можем переслать эту карту в настоящую ГИС, построить топологию и БД с именами и атрибутами объектов, после чего получить ответ на наш вопрос. Усовершенствованная таким образом карта станет более чем графикой. Теперь это настоящее покрытие, пригодное для анализа.

Наложение САПР очень полезно в своих аналитических пределах. Не всегда нужно выполнять сложные в вычислительном отношении запросы для определения соседства или пространственного сходства между объектами. Это легко можно сделать визуально. Преимущества наложения данного типа — простота и быстрота выполнения. Многие системы управления инженерными сетями и промышленными объектами (AM/FM) действуют на такой же основе, и обеспечивают пользователей тем, что им нужно. То есть, они достаточно быстро создают карты нужных объектов, которые можно взять с собой на место работ, где графика может быть прочитана и интерпретирована вручную. Лишь когда сложность БД или запросов значительно возрастает, ручная интерпретация компьютерным образом выполненных карт становится проблемой. Например, у вас есть карта подземных газопроводов, наложенная на карту улиц (с названиями), наложенную в свою очередь на карту строений и на карту населения. Кто-то в этом районе сообщает о запахе газа. Вы смотрите на карту, чтобы понять, где может быть утечка, но линии всех этих карт расположены слишком плотно. Вы знаете, где расположены несколько задвижек, но их мелкие значки скрыты сложной объединенной картой. Здесь требуется операция наложения, которая может проследить несколько атрибутов объектов и подсветить нужные задвижки и здания. Все это можно сделать, имея

достаточно времени. Может оказаться более легким использованием отдельных карт на каждую из тем, чтобы символы не накладывались и не мешали. Короче говоря, в данной ситуации нужно нечто большее, чем то, что может дать простое наложение САПР.

## Топологическое векторное наложение

Топологическая структура данных, представленная в Главе 4, позволяет программе отслеживать пространственные связи между объектами.

Она также определяет метод наложения полигональных покрытий, обеспечивающий передачу многих атрибутов объектов полигона, результирующего покрытия. Этот топологический результат, известный как наименьшая географическая единица (least common geographic unit (LCGU) [Chrisman and Ruecker, 1975], придуман для показа того, как изменения полигональных объектов могут достичь пункта, за которым невозможно дальнейшее деление. С этими наименьшими единицами деления связывается набор атрибутов, который также не может далее делиться на категории. По сути, это деление имитирует описанный выше метод МакХарга, когда упомянутый набор атрибутов определяет степень черноты области, соответствующей уровню чувствительности окружающей среды.

Далее мы увидим, как топология помогает проводить наложение векторных покрытий, рассмотрим несколько примеров, после чего сравним выполнение наложения в векторных и растровых системах.

### Векторные наложения "точка в полигоне" и "линия в полигоне"

Хотя большинство векторных ГИС ориентированы на выполнение операции наложения полигонов, мы можем рассмотреть некоторые шаги по компьютеризации векторных наложений "точка в полигоне" и "линия в полигоне". При этом мы будем подразумевать, что покрытия имеют общую систему координат. Программа должна уметь определять положения точек или линий относительно границ полигонов, с которыми мы их сравниваем. Рисунок 12.5 иллюстрирует определение принадлежности точки к координатами (2.3, 3.45) изображенному полигону.

Такое наложение может выполняться с целью создания нового покрытия, состоящего только из тех полигонов, которые содержат указанные точки.

Существует одна проблема, с которой могут столкнуться пользователи некоторых ГИС. Хотя такие системы могут проводить рассматриваемые наложения, они не могут сохранять их как отдельное покрытие. Они могут

---

\* Или другой вариант — только из тех точек, что принадлежат указанным полигонам. Вообще, операция наложения разнородных объектов несимметрична в алгебраическом смысле — прим. перев.

Это ограничение является обычно следствием того, как система хранит связанную с графикой табличную информацию, впрочем, техническое объяснение не подходит для данного курса, и часто причины не так уж важны для пользователя. В качестве выхода из этой ситуации можно предложить создание очень маленьких буферов (выглядающих как точки на выходной карте), которые становятся крошечными полигонами. Это покрытие можно сохранить, и точки будут представляться его микрополигонами.

Наложение "линия в полигоне" заключается в соотношении координат концевых и промежуточных точек линии с границей полигона с целью определения принадлежности этих точек полигону, то есть, по сути, сводится к выполнению нескольких точечных наложений. Дополнительным моментом является то, что линия может пересекать границу полигона. В простейшем случае можно считать, что если хотя бы одна точка линии принадлежит полигону, то и вся линия принадлежит ему. Но более корректным подходом является определение точек пересечения линии с границей полигона и создание в них узлов, что позволит разделить атрибуты внутренних и внешних по отношению к полигону частей линии. Например, если лесозащитная полоса как линейный объект пересекает границу между пашней и лугом, мы сможем сказать, какая часть полосы принадлежит каждой из областей, а также создать таблицу, показывающую это отношение.

Как видите, векторные наложения "точка в полигоне" и "линия в полигоне" являются вопросом не только графического отношения объектов, но и отношения атрибутов. В конце концов, объекты карты представляют часть реального мира.

## **Векторное наложение полигонов**

Для векторного наложения полигонов, подобно случаю "линия в полигоне", программа должна определить точки пересечения границ полигонов одного покрытия с границами полигонов другого покрытия.

Эти точки пересечения становятся узлами, и программа отслеживает передачу атрибутов в новое покрытие.

Поскольку многие векторные ГИС связаны с СУБД, не удивительно, что булева логика, используемая в запросах к БД, используется также и для пространственных запросов. На самом деле булево наложение (Boolean overlay) является широко распространенным подходом. Его легко понять, особенно если вы уже знакомы с операциями над множествами. Эти операции часто иллюстрируются так называемыми диаграммами Венна (Рисунок 12.7).

В случае булева векторного наложения мы сравниваем не сами атрибуты, а пространство, занимаемое каждым из двух наборов атрибутов. Допустим у нас есть простое покрытие, имеющее только два типа полигонов

наложения это позволяет сделать результат наложения более простым и контролируемым.



Рисунок 12.8. Наложение с объединением. В результате этой операции мы получим покрытие всей изучаемой области, включающее все четыре категории земли.

В заключение данной темы вернемся к идее идентифицирующего наложения. В этом случае мы можем получить результаты, сходные с ранее приведенными примерами, за исключением того, что при использовании булевых операций для выполнения реального картографического наложения мы помним об атрибутах. Таким образом, получающиеся в результате полигоны показывают комбинации всех пересекающихся полигонов. Другими словами, мы выполняем наложение графических фигур и заносим в таблицу все комбинации категорий. Так, например, если у нас есть четыре различные категории, пересекающиеся в пространстве (скажем, землепользование, типы почвы, сообщества животных и тип растительности), то все они будут занесены в таблицу. Следовательно, мы можем иметь полигон, который содержит фруктовый сад (землепользование), чернозём (тип почвы), мыши-полевки (сообщество животных) и орех-пекан (тип растительности). Имея все эти тематические наборы данных и зная соотношения между ними, мы легко можем определить численность представителей одной категории из других. Многие операции наложения выполняются для получения такой статистики.

### Замечание об ошибках при наложении

Простые булевы и идентифицирующие наложения, созданные главным образом для данных номинальной шкалы, малопригодны для данных других

Игнорируя микроскопические изменения в земле. Пользовании, мы пытаемся разобраться в причинах несовпадения полигонов.

Сами полигоны могут быть одинаковой формы, но при этом чуть-чуть повернутыми. Мы можем попытаться устранить этот поворот, однако даже при самом тщательном исполнении редко удастся достичь полного совпадения. К тому же, такой поворот зачастую может привести к рассогласованию других полигонов. Короче говоря, здесь нет простого решения, и некоторые пользователи даже прибегают к растровым ГИС, жертвуя точностью, чтобы избежать частых утомительных подгонок изображений.

Как вы можете догадаться, данная проблема обостряется, если мы пытаемся сравнивать разнородные покрытия. Например, наложение покрытий почв и растительности вообще не позволяет предполагать совпадение каких-либо двух полигонов. Целью наложения может быть именно обнаружение расхождений, и мы сталкиваемся с необходимостью отделения реальных различий полигонов от ошибок.

К сожалению, несмотря на продолжающиеся исследования по определению величины погрешности образуемых в результате наложения покрытий, есть очень мало общих принципов и еще меньше ответов на этот вопрос, особенно если покрытия приходят из разных источников [Chrisman, 1987]. Чаще всего вам придется полагаться на собственные опыт и интуицию. Ваши решения должны основываться на вашем собственном знании данных, их качества, качества их ввода и даже о полевой работе, давшей их. Ваши действия в значительной степени зависят от того, насколько точны должны быть результаты для решаемой задачи. Логично предположить, что если вы имеете несколько покрытий, то результат наложения будет иметь погрешность наихудшего из них, хотя на самом деле это не обязательно так, о чем тоже следует помнить. Если веса покрытий в наложении неодинаковы, то и вклады ошибок будут разными. Кроме того, значимость покрытий для целей анализа может быть различной даже при равном их участии в самом процессе наложения. Поэтому, перед выполнением наложения следует хорошенько изучить данные, чтобы понять, какая величина погрешности может быть приемлема.

## **Дасиметрическое картографирование**

В завершение темы наложения следует рассмотреть один старый картографический метод детализации полигональной информации на основе других показателей.

Этот метод, называемый дасиметрическим картографированием (dasymetric mapping), основан на идее картограмм, рассмотренной в Главе 3, и позволяет



понять некоторые подходы, уже использующиеся в ГИС, как и другие, которые еще не используются. Он может применяться к числовым данным, существующим в виде статистической поверхности. Первое документированное применение дасимметрического картографирования относится к улучшению классификации плотности населения с помощью так называемого очерчивания зон плотности (*density zone outlining*) [McCleary, 1969]. Этот метод, известный также как плотность частей, использовался для достижения большей детальности плотностей не входящих в выборку (*unresampled*) областей на основе более точного знания некоторых меньших подобластей, которые входили в выборку (*resampled*) [Wright, 1936]. Есть прекрасный пример использования плотности частей [Robinson et al., 1995], тесно связанный с оригинальным методом Райта 1936 года. Этот метод позволяет улучшить качество количественных данных полигонального покрытия посредством сравнения с более подробными данными другого покрытия.

Мы уже рассматривали один из методов дасимметрического картографирования, не обозначая его как такового: настоящая дасимметрия, впервые примененная Хаммондом [Hammond, 1964] в его работе о формах рельефа, включает очерчивание или классификацию областей геоморфологических типов на основе переклассификации топографических данных. Топографические поверхности прекрасно подходит для этого метода, который требует непрерывных распределений бесконечного числа точек. Рассматривая переклассификацию непрерывных поверхностей, мы создавали окрестности взаимной видимости, южных склонов, крутых склонов и других посредством группировки выбранных интервалов наших наборов данных. Это была измененная форма дасимметрического картографирования. Еще раз мы можем увидеть, что современные методы имеют корни в докомпьютерных временах.

Могут оказаться полезными несколько других форм дасимметрического картографирования; среди наиболее мощных - использование других регионов с предположением корреляции, со значительным вовлечением некоторой формы картографического наложения. Посмотрев на пример с плотностью частей, мы могли бы сказать, что это тоже сравнение показателей между картами, но подход с предположением корреляции существенно отличается. Вместо обособления участков области, для которых подробное исследование улучшает информационное содержание, и использования этой информации для улучшения наших знаний об остальном, здесь мы используем либо ограничивающие показатели, либо связанные показатели, содержащиеся в других покрытиях.

Мы использовали вариант дасимметрического картографирования с ограничивающими переменными (*limiting variables*) при обсуждении

исключающих факторов в наложении. В качестве примера применения для улучшения качества полигональных данных и моделей, создаваемых на их основе, допустим, что мы имеем дело с картой численности населения штата Миннесота по округам. У нас есть также карта, содержащая в качестве полигональных атрибутов площади округов. Наложив два покрытия и поделив население на площадь, мы получим карту плотности населения для каждого округа штата. Однако, Миннесота — "страна десяти тысяч озер", что подразумевает наличие значительных площадей, на которых люди не живут, если только не в плавучих домах. Чтобы улучшить результат, мы должны для каждого округа "исключить" из покрытия площади водную поверхность. Если бы мы не применили этот "ограничивающий показатель" для покрытия площадей округов и использовали результат для создания покрытия плотности населения, то плотность населения округов с крупными водоемами оказалась бы меньше реальной.

Эти методы могут часто использоваться совместно с картографическим наложением для изоляции и отсева областей, вносящих систематические отклонения в количественные полигональные данные.

Наш последний пример дасиметрического картографирования, использующий связанные переменные (*related variables*), очень близок математическому наложению, как растровому, так и векторному. Показатели полигональных покрытий часто объединяются при помощи операций более сложных, чем простое исключение. Статистические подходы, такие как корреляция и регрессия, часто используются для демонстрации того, что географически рассеянные феномены связаны друг с другом, и того, как эти отношения позволяют нам предсказывать вариации одного в зависимости от изменений другого. Это верно и при использовании ГИС. Например, если мы знаем, что существует сильная корреляция между процентом пахотной земли и процентом уклона, то мы можем предсказать количество пахотной земли на основе этой корреляции. Имея такую информацию, мы можем создать подробное предсказательное покрытие процента пахотной земли на основе одного только уклона. И наоборот, имея покрытия существующих процентов пахотной земли и уклона, через картографическое наложение мы могли бы создать покрытие, показывающее реальное отношение между этими двумя показателями в определенной области. Потом мы могли бы наложить это покрытие на покрытие предсказываемого процента пашни и визуально обнаружить расхождения, численные значения которого можно использовать для оценки предсказательной модели. Далее области расхождений могут сравниваться с другими покрытиями для выработки гипотез о причинах расхождения. Это прекрасный пример того, как ГИС могут использоваться для выработки гипотез в научных применениях ГИС, или создания предсказательных геоинформационных моделей для принятия



решений в коммерческих приложениях ГИС.

Дасимметрическое картографирование имеет большой потенциал улучшения использования ГИС как в академической, так и в коммерческой среде. Но этот вопрос всё ещё недостаточно освещен в литературе по ГИС. В растровых ГИС легко могут выполняться многие формы дасимметрического картографирования, а некоторые его методы используются каждый день даже без осведомленности пользователей об этом. Векторные ГИС также реализуют многие, если не все, подобные методы, но очень не многие пытались оценить их потенциал серьезным, систематическим образом [Gerth, 1993]. Осведомленность о дасимметрии как о потенциальном наборе методов картографического наложения, скорее всего, приведет к значительному усовершенствованию доступных сегодня пользователям инструментов наложения в ГИС.

## НЕСКОЛЬКО ПОСЛЕДНИХ ЗАМЕЧАНИЙ О НАЛОЖЕНИИ

Вследствие визуальной привлекательности и интуитивной природы картографического наложения этот набор методов часто считается тем, что собственно и есть ГИС. Такое понимание ограничивает число потенциальных пользователей ГИС и может даже привести к снижению продаж коммерческих продуктов. Вдобавок, это мешает многим пользователям в их освоении других эффективных методов, уже имеющихся в ГИС. Вам следует помнить, что, несмотря на силу картографического наложения, есть множество альтернативных методов решения геоинформационных задач. Наложение часто оказывается гораздо более полезным при объединении с другими методами пространственного анализа, нежели при использовании его в одиночку. В следующей главе мы займемся комплексными картографическими моделями, которые потребуют выбора адекватных методов и объединения их рациональным образом для получения полезных результатов.

Постоянно помните о том, что никакая ГИС не сможет сама решить, являются ли используемые вами покрытия функционально связанными. Прежде чем слепо налагать покрытия, выясните, какие пространственные факторы могут быть связанными и почему. Можно даже сделать выборку и проверить гипотезу для обоснования вашего решения.

Часто оказывается полезным статистический подход с использованием интегрированных единиц местности (integrated terrain units (ITUs)) [Dangermond, 1976]. Во многом подобно физико-биологическим единицам картографирования, они отражают положение о том, что все данные интегрированы на земной поверхности, и что используемые методы, такие как расшифровка аэрофотоснимков, требуют извлечения этих взаимодействующих показателей из одного источника информации. Это

гарантирует, что используемые вами показатели связаны пространственно, а возможно и логически. Если вы не имеете возможности использования интегрированных единиц местности и не можете найти логическое, или, по меньшей мере, статистическое основание, которое указывало бы на связь между вашими показателями, то, возможно, вам следует пересмотреть способ решения вашей задачи. Так же проводится и проверка соответствия между спутниковыми ДДЗ и объектами на земной поверхности, которые они должны представлять.

## Вопросы

1. Каковы некоторые очевидные ограничения выполняемого вручную наложения? Какие преимущества дает компьютеризация этого процесса?
2. Каковы преимущества растрового наложения перед векторным? Каковы недостатки?
3. Почему наложение является одной из наиболее развитых операций в большинстве современных коммерческих ГИС?
4. Приведите пример возможного использования наложений "точка в полигоне" и "линия в полигоне" из ваших собственных исследований.
5. Каковы ограничения наложения типа САПР? Приведите пример того, как такое наложение может сделать невозможным дальнейший анализ результата.
6. Что такое дасимметрическое картографирование? Как оно может применяться в векторных ГИС? Как — в растровых?
7. В чем отличия связанных переменных и ограничивающих переменных в дасимметрическом картографировании? Приведите примеры использования тех и других.
8. Какие проблемы могут возникнуть при сравнении нескольких векторной покрытий? Есть ли подходы к их решению? Что можно сделать перед наложением, чтобы ослабить их?
9. Приведите примеры того, как элементы дасимметрического картографирования могут быть применены в существующих растровых или векторных ГИС. Почему до сих пор так мало внимания уделяется использованию дасимметрического картографирования в наложении?

## Глава 13

# Картографическое моделирование

В прошлом рассмотрении подсистемы моделирования мы рассмотрели шаг за шагом три вида разных возможностей моделирования, имеющиеся в современных ГИС. Принимая такую классификацию достаточно просто, но не всегда легко по ГИС следует той же схеме, как и по любой поставленной географической системе. Некоторые ГИС не распространяют функции в такой классификации, они имеют только подклассы, другие — имеют только функции. Но чтобы вы систему не использовать, и какую бы функцию ни выбрали, вы обнаружите, что большинство функций могут использоваться с тем, что является класс. На следующем шаге мы рассмотрим, как можно использовать функции, если только вы не используете. Функции используются только для того, чтобы...

По мере развития знаний о ГИС мы быстро обнаруживаем, что использование функций не является единственным способом для решения более сложных задач. На последующих страницах мы рассмотрим подсистему анализа как упорядоченный набор взаимодействующих операций с картами, которые, совместно, могут использоваться для выполнения очень сложных задач моделирования. Ключ — в том, чтобы увидеть эти сложные модели состоящими из более мелких и простых компонентов. Отдельные компоненты могут реализовываться относительно небольшим числом аналитических операций. Затем они могут объединяться с другими для образования более крупных модулей, дальнейшее объединение которых позволит сконструировать всю модель. Как и любая сложная система, пространственная модель почти всегда может быть разбита на составляющие части.

Данная глава подчеркивает значение блок-схем для моделирования. Хотя их выполнение может казаться скучным, оно требует от вас тщательного обдумывания номенклатуры покрытий и элементов данных, которые нужны для выполнения анализа. Оно помогает выявлять недостающие покрытия или многократно используемые покрытия еще до завершения модели. По моему мнению, построение блок-схем картографических моделей должно быть обязательным предварительным шагом. Оно позволит точно определить цели работы и спецификации конечного продукта.

Исследуйте модели и блок-схемы, приведенные в книге, сравните их с

их описаниями. При тщательном рассмотрении вы наверняка найдете пути улучшения подходов или усовершенствования моделей. Рассматриваемые модели не следует считать ни полными, ни единственными решениями предложенных задач, более того, вам стоит подумать об альтернативных путях их решения и соответствующих блок-схемах для каждой. Ваш вариант может оказаться более легким для реализации или более точным по отношению к тому, что моделируется. Практика очень важна как для умения составлять блок-схемы, так и для моделирования.

## КАРТОГРАФИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Термин "картографическое моделирование" (cartographic modeling) [C. D. Tomlin and J. K. Berry, 1979] обозначает процесс использования комбинаций команд для ответов на вопросы о пространственных феноменах. Более формально, картографическая модель — это набор взаимодействующих, упорядоченных операций с картами, которые используют как "сырые", так и обработанные данные для моделирования процесса принятия решений о пространственных объектах [Tomlin, 1990]. Рассмотрим это определение подробнее.

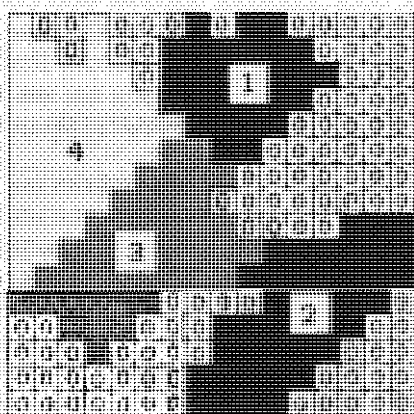
Первое условие определения говорит о том, что картографические операции должны взаимодействовать друг с другом. Каждая операция над покрытием должна иметь результат (обычно другое покрытие), который может использоваться следующей операцией.

Допустим, что у вас есть карта типов ландшафта изучаемой области, и вы хотите узнать, имеется ли достаточно большое непрерывное природное пастбище в собственности государства, чтобы ходатайствовать о разрешении выпаса на таковом вашего крупного рогатого скота. Вашей первой операцией является переклассификация покрытия для создания нового покрытия под названием "землепользование" с целью выделения типов землепользования, связанных с типами ландшафта (переклассификация всех луговых полигонов либо как пастбищ, либо как природных лугов). Вы также создадите покрытие под названием "чей\_луг", показывающее пастбища, находящиеся в собственности государства, и пастбища в частном владении. Это может потребовать еще одной переклассификации, хотя вы могли сделать эту работу во время первой переклассификации. Следующей операцией будет еще одна переклассификация, создающая покрытие "бол\_гос", выделяющее государственные природные пастбища непрерывной площадью не менее 25 га. Эта переклассификация потребует агрегирования ячеек раstra для обособления полигонов площадью 25 га и больше (Рисунок 13.1), и вам нужно будет объединить эту операцию с функцией, выделяющей непрерывные полигоны.

Таким образом, вы действуете либо с первоначальными данными, т.е. с исходной картой типов ландшафта, либо с покрытиями, полученными после первой и последующих операций, как с покрытием "бол\_гос". Вы также можете видеть, как каждый шаг добавляет данным информационное наполнение посредством установления контекста, с которым они связаны.

1	0	0	1	0	0	0	2	3	2	2	1	1	1	1	2
1	1	0	1	0	0	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2
1	1	1	1	1	0	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2
1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	0
1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	0	0	1	1	3
1	1	1	1	1	1	0	0	2	2	0	0	0	0	3	3
1	1	1	1	1	0	0	0	0	3	3	0	0	3	3	0
1	1	1	1	0	0	0	0	3	3	3	3	0	3	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	2	2	2
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2
1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2
0	0	0	0	0	0	0	3	3	1	2	2	2	2	2	0
1	0	0	0	3	3	1	2	2	2	2	2	2	0	0	0
1	1	1	0	3	3	3	3	2	3	2	2	0	0	0	0
1	1	1	1	3	3	3	2	2	2	2	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	3	2	2	2	2	0	0	0	0	0

Исходные значения, представляющие различные типы природных пастбищ. Каждая ячейка представляет 1 га земли



Новые значения, представляющие ранжирование непрерывных участков пастбищ в зависимости от размера. 0=менее 25 га, 1=25 га, 2=41 га, 3=42 га, 4=44 га.

Рисунок 13.1. Переклассификация областей по размеру. Агрегирование ячеек раstra для выделения полигонов площадью 25 га или более.

Наше первоначальное покрытие "землепользование" было не очень специфично. Оно относилось ко всем возможным типам ландшафта в изучаемой области, безотносительно к возможным вопросам. После обработки мы создали покрытие "с добавленной стоимостью" (value-added), с конкретными атрибутами, которые могут сказать, содержит ли это покрытие государственные пастбища достаточной площади.

Мы подходим к последней части рассматриваемого определения. Наши действия с исходными и промежуточными данными направлены на моделирование процесса принятия решения о том, содержит ли рассматриваемое покрытие достаточно большие пастбища в собственности государства. Отрицательный ответ ведет к новым поискам, положительный — к процедуре получения разрешения на выпас скота. Положительный ответ

означает, что нужная площадь имеется. Но если вы захотите расширить свое стадо, то вам снова потребуется рассмотреть покрытие "бол\_гос". Ранжирование полигонов этого покрытия приведет вас к определению комбинаций, которые позволят вам расширить стадо. Эти шаги добавляют информацию к каждому из предыдущих покрытий инкрементным образом.

Теперь давайте подумаем о том, какие подсистемы ГИС мы использовали в этой простой модели решения. Первый шаг — ввод покрытия "тип ландшафта" с помощью подсистемы ввода. Далее следуют сохранение карты и устранение ошибок. После окончания проверки мы должны произвести выборку карты для анализа, обращаясь к подсистеме хранения и редактирования. Последующая переклассификация покрытия задействует подсистему анализа.

Результат переклассификации сохраняется как картографическое покрытие, что также является использованием подсистемы хранения и редактирования, а также подсистемы вывода, хотя выходная карта и не печаталась на бумаге. Затем, для решения вашей задачи, вы произвели выборку нового покрытия для продолжения анализа. И в любой момент вы могли бы при желании просмотреть карту.

Очевидно, что описанный процесс не является линейным — мы не шли от ввода через хранение и выборку к выводу, как в картографии с применением компьютеров. Вместо этого мы шли от ввода через сохранение, выборку, анализ, снова сохранение, и вывод нашего первого промежуточного покрытия. Далее мы снова шли через выборку, вывод (отображение на экране), анализ с созданием второго промежуточного покрытия, и т.д. Короче говоря, процесс картографического моделирования является циклическим, а не линейным (Рисунок 13.2). Циклическая природа картографического моделирования дает наибольшую гибкость в переходе от одной подсистемы к другой при преобразованиях данных, необходимых для создания конечного пространственно-информационного продукта.

## МОДЕЛИ В ГЕОГРАФИИ

Перед началом подробного рассмотрения картографического моделирования важно обратиться к корням идеи географического моделирования, которая привела, в конечном счете, к созданию ГИС. Пространственные модели много лет были оплотом географических исследований и приложений, задолго до числовой революции 1950-х и 60-х годов. Карта сама является моделью реальности, позволяющей нам оценивать одним взглядом пространственные отношения между различными факторами. С развитием количественных описаний, исходная парадигма сообщения начала заменяться аналитической парадигмой. Тем

не менее, карта как средство представления долго служила в качестве средства формулирования гипотез.

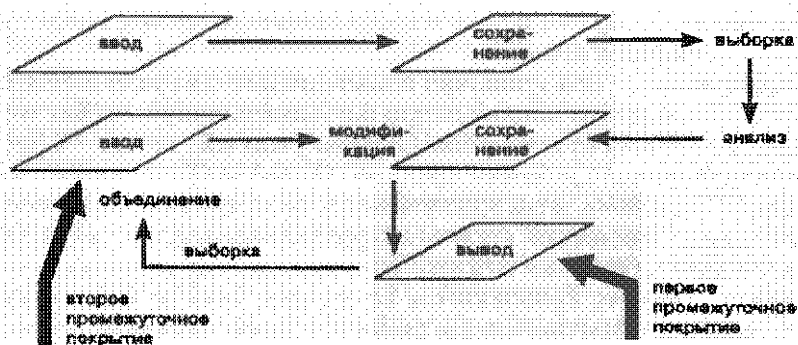


Рисунок 13.2. Циклический процесс моделирования. Иллюстрируется переход от одной подсистемы ГИС к другой для создания новых покрытий.

Исследование наблюдаемых паттернов и порождающих их процессов использовалось для объяснения, например, отношений между сельскохозяйственной деятельностью и транспортными расходами. Наиболее известная из этих моделей, разработанная Хайнрихом фон Туненом (Heinrich von Thunen) в 1910 году, теперь называется моделью **изолированного состояния** (isolated state model) [Isard, 1956]. Она описывает площадные распределения сельскохозяйственной деятельности как последовательность концентрических кругов, расходящихся от центрального рынка. Модификации этой модели, включающие доступность транспортных маршрутов, наличие нескольких рынков, стоимость земли, качество почвы, издержки производства и рыночные цены, всё ещё используются сегодня для предсказания жизнеспособности определенных видов сельскохозяйственной деятельности. Примерно в то же время Альфред Вебер (Alfred Weber) разрабатывал другой набор географических моделей [Weber, 1909]. Созданные первоначально для предсказания пространственных распределений точечных объектов промышленности, модели Вебера были модифицированы для поиска оптимальных местоположений объектов торговли и услуг. Эти модели, известные сегодня как **модели размещения и назначения** (location-allocation models), составляют часто применяемый набор методов ГИС, имеющихся во многих коммерческих системах.

Хотя эти модели сложны в реализации, по своей сути они просты. Они разрабатываются для минимизации пути от точки обслуживания до ее клиентов. Возьмем в качестве примера приписывание учеников к школам

(определение зон обслуживания). Скажем, маленький городок имеет две школы примерно одной вместимости, расположенные на противоположных его концах. Нужно определить, кому из школьников в какую школу ездить. Здесь требуется не просто разделить школьников поровну, но и выбрать для каждого ближайшую из школ.

Задача меняется, если существует только одна школа и нужно определить место для новой школы, которая должна быть размещена с учетом минимума общего расстояния от нее до большинства учеников, которые будут ее посещать. Обычно это делается итеративно: школа помещается на некотором гипотетическом месте, затем подсчитывается число приписанных учеников и вычисляются расстояния, а результаты рассматриваются для определения степени удовлетворения каждого местоположения установленному критерию. Процесс продолжается до тех пор, пока не будет найден наилучший ответ. Математическая сложность задачи чаще всего приводит к приближенному решению даже при использовании современной вычислительной техники. Многие из сегодняшних ГИС имеют возможность поиска такого приближенного решения.

В предыдущем примере мы подразумевали, что ученики будут посещать именно назначенную школу. Однако в сфере торговли и обслуживания клиентура свободна в выборе, её нужно привлекать. Решение стать постоянным клиентом является отчасти функцией расстояния, но могут действовать и другие факторы. В этом случае для определения оптимальной точки обслуживания могут использоваться модели гравитации (*gravity models*), где притяжение обратно пропорционально функциональному расстоянию (см. Главу 8) от потенциальной точки обслуживания [Abler et al., 1971].

В отличие от физики, где сила притяжения убывает обратно пропорционально квадрату расстояния, здесь мы имеем дело со взаимодействием людей и служб, причем люди принимают решения на основе функционального расстояния и желают быть постоянными клиентами, причем взаимодействия эти осуществляются на двухмерной поверхности. Сюда еще следует добавить возможную конкуренцию со стороны близлежащих аналогичных служб. Модели гравитации широко используются в теории экономического размещения (*economic location theory*) и прочно заняли свое место в коммерческих ГИС.

Несколько других географических моделей также нашли свое место в ГИС, другие же еще ждут своего часа. Одни разрабатывались для исследования изменений плотности населения в городах [cf. Casetti, 1969], другие показали, что сами города действуют как региональные иерархии, проявляя различную силу притяжения к региональной торговле [Christaller, 1966; Brush, 1953]; третьи создавались для планирования транспортных сетей в зависимости от скоростей, типов дорог и других факторов; четвертые



рассматривали распространение идей в пространстве [Hagerstrand, 1967] — такие модели распространения новшеств (innovation diffusion models) сейчас широко используются среди экологов для отслеживания движения растений и животных по географическим пространствам.

Возможно, среди наиболее сложных пространственных моделей находятся те, что недавно разработаны экологами ландшафтов для исследования отношений между структурой и функцией больших частей биосферы [Forman and Godron, 1987]. Параметры, рассматриваемые в них, включают размер области, связность ландшафта, разнообразие участков, их взаимодействие и форма. Эти ученые полагают, что структура ландшафта напрямую связана с его функциональными возможностями и общим качеством окружающей среды. Корни многих из этих методов прямо или косвенно находятся в географии, а их использование сегодня показывает растущую потребность исследования пространственных отношений; немало этих методов реализовано как в коммерческих, так и в свободно распространяемых (public domain) ГИС [Baker and Cai, 1992; McGarigal and Marks, 1994].

Можно упомянуть гораздо больше моделей, но нашей целью является не представление подробного их списка, а иллюстрация того, что многие решения уже разработаны, проверены и реализованы. Небольшое библиографическое исследование вопроса перед началом моделирования часто может сохранить вам многие часы и позволит избежать разочарования. С другой стороны, ваши собственные решения сложных задач могут пригодиться следующему поколению специалистов по картографическому моделированию, которые, возможно, смогут использовать их в своих приложениях.

## ТИПЫ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Есть сильное сходство между разделением статистических методов на описательные (descriptive) и аналитические (inferential) и классификацией основных типов картографических моделей. Томлин [Tomlin, 1990] подобным же образом делит последние на соответственно описательные и предписательные.

Описательные картографические модели (descriptive models) описывают и, при некоторых обстоятельствах, объясняют некоторые распределения и взаимосвязи, полученные в результате анализа. Простейшие описательные модели просто иллюстрируют существующую ситуацию обособлением некоторых феноменов и показом результатов в форме, позволяющей пользователю одним взглядом охватить эти феномены и их взаимосвязи. Это не намного отличается от парадигмы сообщения в картографии, собственно,

тем, что описательные (атрибутивные) данные хранятся в компьютерной БД. Несмотря на свою простоту, модели этого типа все еще широко используются, так как они предлагают достаточно простой путь получения легко узнаваемых представлений пространственных объектов и явлений. Часто встречаются жалобы опытных ГИС-профессионалов, выполняющих работу для неподготовленных в геоинформатике специалистов на то, что новые пользователи никогда не выполняют моделирование. Вместо этого они просят: "сделайте мне карты того-то и того-то", что, конечно, можно было бы сделать в рамках системы компьютеризованной картографии или даже САПР. Все же, не стоит отчаиваться, а лучше опуститься к этому как к отправной точке для более сложных моделей, которые могут быть предложены пользователю.

Вполне естественно от чистого описания перейти к моделям, которые предсказывают, как имеющиеся условия могут воздействовать на расположение промышленных объектов, на изменение со временем естественной растительности, описывают результаты перекрытия плотиной реки (показывая области затопления выше плотины и защищаемые от наводнений области ниже ее), показывают области потенциального роста города на основе знаний о прежнем росте и обнаружения пространственных феноменов, способных играть прогностическую роль.

Последний случай следует рассмотреть подробнее, так как он указывает на предсказательный потенциал описательных картографических моделей. Предсказательные модели (predictive models) позволяют пользователю определить, какие факторы важны в функционировании области исследования, и как эти факторы связаны друг с другом пространственно. Конечно, предсказания на основе таких связей могут быть очень ненадежными. Они требуют, чтобы факторы имели ясную и подтверждаемую причинную связь. Как мы видели в Главе 12, пространственная ассоциация различных картографических показателей не диктует сама по себе причинно-следственные отношения, а только указывает на пространственное совпадение. Знание моделируемой среды важно в прогностическом картографическом моделировании, также как и в аналитической статистике, например, в регрессионном анализе.

Предсказательное моделирование чаще всего ассоциируется со вторым главным типом моделирования, определенным Томлин [Tomlin, 1990], предписательным моделированием. Однако, как мы скоро увидим, не существует четкого разделения между описательными и предписательными моделями (prescriptive models). Если представить себе весь спектр картографического моделирования, то предсказательные модели находятся ближе к предписательным, чем к описательным. Возьмем следующий пример предсказания, основанный на чисто описательной методике моделирования.

Допустим, владелец очень большого ранчо желает оценить потенциал выносливости своей территории с точки зрения выпаса скота на лугах и пригодности для обитания представителей естественных видов, таких как перепел. Эта модель требует создания БД со всеми типами растительности на территории ранчо. Кроме того, требуется знание наземной биомассы лугов, местоположения больших участков ядовитых для скота растений и значительных скоплений кустарников, необходимых перепелам для укрытия и питания. С учетом этих показателей, создаваемая модель покажет области обитания, необходимые для поддержания приемлемой популяции перепелов. Она также будет включать покрытие, показывающее нагрузку со стороны скота. Эта модель является описательной в том смысле, что она показывает, где владелец ранчо мог бы разместить свой скот, и где могли бы также выжить перепела. Теперь он может выпастить скот на соответствующие участки, ограничив движение скота в области обитания перепелов с помощью ограждений и других средств.

Предположим, однако, что владелец ранчо хочет не просто успешного выпаса скота, но выпаса только на лучших с этой точки зрения землях, чтобы животные набирали вес наиболее быстро. Такая обработка базы данных вполне может быть названа предсказательной, так как она, по сути, предсказывает, что области с наибольшей производительностью дадут наиболее эффективное использование земли для выпаса. Эта модель лишь немного сложнее исходной, но она несет элемент предписания, так как она "предписывает" наилучшее использование земли.

Предписывание может также показать пользователю модели то, как анализ описательной информации может улучшить ситуацию в целом. Например, некоторые лучшие пастбища могут содержать множество кустарников, что делает их также и наилучшей средой обитания для перепелов. Хозяин ранчо может решить посадить (или пересадить) кустарники в области, менее подходящие для пастбы, удалив при этом ядовитые растения, если таковые есть, на наиболее производительных землях.

ГИС может быть использована для "предписания" наилучших мест для высадки кустарника, а также мест работ с ядовитыми растениями. Таким образом, ГИС теперь используется для предложения действий с имеющейся территорией с целью обеспечения наилучшего решения исходной задачи. Различие между этой в высокой степени предписательной моделью и сценарием размещения школы в том, что первая требует гораздо больше предсказательных способностей, нежели второй. Это наиболее развитая форма предсказательной модели, так как пользователь должен определить взаимодействие многих факторов во времени, и требуется гораздо большая степень предсказательности.

Вы, наверное, заметили, что все эти модели требуют прежде всего описания имеющихся условий. То есть, разрабатывая предписательные модели, вы вначале описываете, а затем предписываете. Нет особой нужды задерживаться на терминологии, если вы помните, что деление картографических моделей на описательные и предписательные является, как и многие другие классификации, произвольным. Если вы помните, что движение от одного типа к другому является плавным переходом от чистого описания без каких-либо действий к большей предсказательной мощности и растущей предписательной активности, то у вас не должно быть проблем с пониманием данного вопроса.

В любом случае, природа и сложность задачи будут диктовать тип применяемой модели, независимо от того, как вы ее назовете.

## ИНДУКТИВНОЕ И ДЕДУКТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

С какими бы моделями вы ни работали, описательными или предписательными, есть два метода формулирования моделей. Они включают в себя те же логические подходы, что используются в любом научном исследовании. Первый, называемый индуктивным методом, основан на движении от конкретных элементов к общему утверждению.

В этом случае эмпирические пространственные данные исследуются путем проб и ошибок. Различные покрытия сравниваются и проверяются на соответствие с элементами других покрытий для выявления сходных пространственных распределений или ассоциаций, которые могли бы указать на происходящий в области исследования процесс. Пример индуктивного метода не из области ГИС: допустим, вы отправились в бакалейную лавку, чтобы приобрести чего-нибудь для приготовления обеда. Вы делаете множество покупок, выбирая каждую потому, что она вам нравится или потому, что вы думаете, что неплохо было бы иметь это сегодня. Вернувшись домой, вы обнаруживаете, что, хотя все приобретенное съедобно, вам трудно преобразовать это в нечто похожее на обед. Вы купили достаточно пищи, чтобы заполнить меню, но вы собираетесь приготовить блюда, которые не включают некоторые из приобретенных товаров. Эти вещи оказались ненужным непосредственно в данный момент, хотя они и могут пригодиться в дальнейшем.

Как показывает приведенный пример, метод проб и ошибок может использоваться для внесения порядка в набор элементов, полученных без тщательного планирования. То же самое можно сказать и о существующих БД ГИС. Если имеется достаточно подходящих показателей, и если есть корреляции между показателями различных покрытий, то вполне возможно создание моделей, которые будут полезны для принятия некоторых решений.

Возможно, вы обнаружите, что покрытия, на создание которых вы потратили сотни часов, так и не использованы. Многие подобные проекты внесли свой вклад в научные исследования, однако из-за недостаточного проектирования такой подход к картографическому моделированию оказывается неэффективным для многих коммерческих приложений. В то время как наука пытается только лишь исследовать данные, приложения реальной жизни часто гораздо более определены в своих целях и поэтому должны продумываться скорее дедуктивным образом.

По сравнению с индуктивными, дедуктивные модели движутся в противоположном направлении.

То есть, вы начинаете с конкретного рецепта или формулировки, относящейся к вполне определенным вопросам. В случае с приобретением продуктов, вы выбираете блюдо, которое будете готовить, определяете необходимые ингредиенты и покупаете только их. Затем вы их объединяете, так что у вас не остается ненужных компонентов. Преимущества дедуктивного подхода очевидны, — вам не приходится тратить время и деньги на создание ненужных покрытий, благодаря чему вы можете сконцентрироваться на подготовке только действительно нужных данных.

## СОСТАВЛЕНИЕ БЛОК-СХЕМ МОДЕЛЕЙ

Какой бы подход вы ни использовали — дедуктивный или индуктивный — очень полезной методикой, помогающей сформулировать модель и определить нужные покрытия, является составление блок-схемы (flowchart) модели. Оно требует обособления каждого элемента (покрытия), который должен использоваться в вашей модели. Каждое покрытие должно иметь конкретную, уникальную тему, представляющую один фактор или группу факторов в вашей модели.

Блок-схема позволяет определить, имеете ли вы все необходимые покрытия, а также проверить единственность каждого покрытия. Если есть некоторые избыточные покрытия, представляющие уже имеющиеся темы, то вы сможете сократить их и уменьшить общее время ввода.

На Рисунке 13.3 изображена блок-схема простой дедуктивной картографической модели, цель которой — определить наилучшее место для горного домика. Задача исследования вполне ясна, и по меньшей мере четыре аспекта должны учитываться при принятии решения. Начнем с инфраструктуры. Нам нужно знать о наличии электричества, газа, водопровода, канализации, дорог для подъезда и других удобств. Далее идут административно-правовые факторы. Нужно узнать, не подана ли другая заявка на отведение этого участка земли, и не принадлежит ли он кому-нибудь, и если да, то можно ли его приобрести. Наверняка вам понадобится

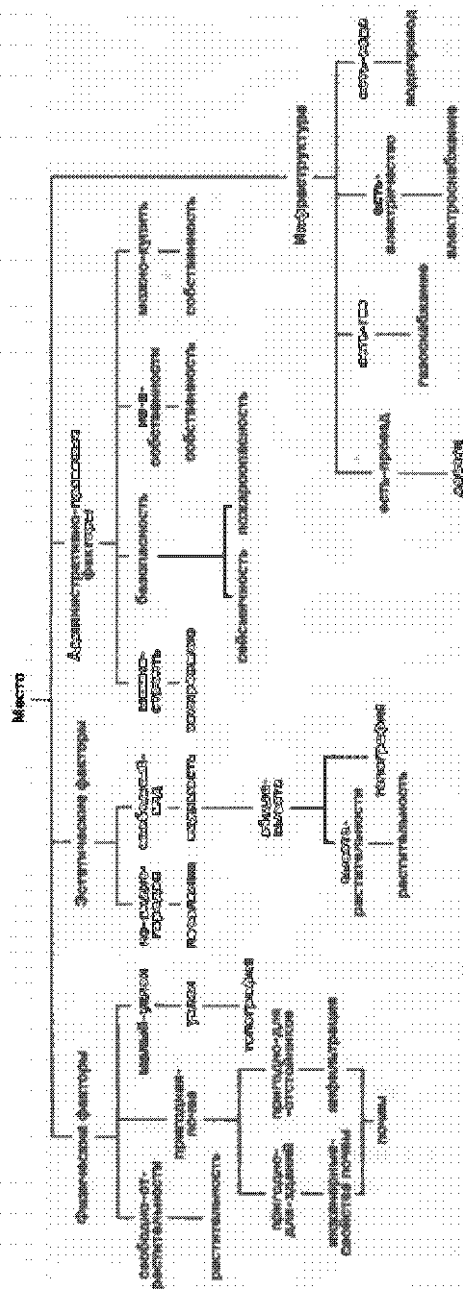


Рисунок 13.3. Блок-схема простой картографической модели горного ландшафта. Показаны элементы модели и промежуточные покрытия для выработки окончательного решения

разрешение на строительство, так как этот участок может оказаться в зоне, где запрещено строительство жилья. Если участок оказывается в сейсмически активной области, то возможны ограничения на конструкцию и методы строительства. Пожароопасные зоны требуют применения огнестойких материалов. Обе эти группы факторов влияют как на выбор места, так и на стоимость строительства.

Третья группа факторов, включенных в картографическую модель — эстетические. В конце концов, вы, скорее всего, строите горный домик для отдыха от города, поэтому наверняка не хотите видеть город из окна (но при этом быть в разумном удалении, чтобы иметь возможность ездить в город на машине). Кроме того, нужен открытый вид гор и, возможно, определенная ориентация, чтобы вы могли наблюдать закат с террасы.

Четвертая группа факторов выбора места это физические факторы. Требуется уклон не более заданной величины, чтобы не пришлось предпринимать дорогие меры против сползания дома по склону. Чтобы снизить стоимость строительства, следует выбрать место с низкой плотностью деревьев, лучше всего опушку леса. Инженерные характеристики почвы также должны оцениваться, ибо нельзя располагать дом на нестабильной почве, особенно с большим содержанием глины, которая сильно меняет свои свойства в зависимости от влажности. Предполагая возможное отсутствие канализации, вам может потребоваться создание канализационного отстойника, для чего следует внести в расчеты инфильтрационные параметры почвы.

Теперь перейдем к реальной модели, тщательно рассматривая выбор покрытий для представления отдельных факторов. Мы можем начать с инфраструктуры. Для первого фактора — доступности водопровода — нам нужно покрытие (“водопровод”), показывающее все муниципальные линии водоснабжения в рассматриваемой области, которое создается в результате цифровки соответствующей бумажной карты. Аналогично создаются покрытия с линиями электропередачи (“электричество”), газоснабжения (“газоснабжение”) и проезжими дорогами (“дороги”).

Далее, мы переходим к административно-правовым факторам. Во-первых, с кадастровых карт (показывающих принадлежность земли) мы создаем покрытие “собственность”. Оно позволит выявить свободные участки или тех, к кому обращаться за приобретением земли.

Затем мы берем карту зонирования и создаем покрытие “зонирование”, чтобы определить области, доступные для строительства коттеджей на одну семью. Нужно также знать места, представляющие опасность из-за землетрясений и пожаров. Вполне вероятно, что такие данные будут получены из других источников, например, от национальной геологической службы. Так мы создадим покрытие “сейсмичность”. Карты угрозы пожаров,

из которых будет создано покрытие "пожароопасность", можно получить в лесохозяйственной организации. Хотя последние два покрытия можно отнести к физическим факторам, они могут быть связаны с административными ограничениями, поэтому и отнесены к данному разделу.

Оценка эстетических качеств потребует карты близлежащих застроенных территорий ("поселения"). Топографические карты ("топография") дают информацию о высотах, которые могут загораживать вид с потенциального места. Карты типа леса обычно не включают информацию о высоте деревьев, так что вам придется создавать собственную карту лесного покрытия ("растительность"), либо по результатам измерений на наиболее подходящих местах, либо через использование аэрофотосъемки.

Последнюю группу составляют физические параметры. Величину уклона можно узнать из уже имеющегося покрытия "топография". Хотя уклон является самостоятельным фактором, он может быть получен из имеющихся данных. Таким образом мы не нарушаем правило выбора уникальных элементов. Другой элемент физических параметров, который может быть получен из имеющегося покрытия, показывает области с редкой лесной растительностью или с растительностью, содержащей подходящее чистое место (опушки, поляны). Имеющееся покрытие "растительность" поможет нам получить данную информацию.

Два параметра почв также могут быть получены из одного покрытия ("почвы"). Любая подробная карта почв обычно содержит как инженерные характеристики, так и параметры инфильтрации; и те и другие будут либо явно закодированы как отдельные карты, либо они будут связаны базой данных друг с другом и с областями различных типов почв. Методы отслеживания различных свойств почв будут сильно зависеть от используемой ГИС. В частности, мы могли бы просто оцифровать полигоны и сохранить бумажную копию отчета об исследовании почв, из которого мы получили информацию о почвенных участках. Такие отчеты об исследованиях связывают разнообразные параметры почв с каждым из участков (Таблица 13.1).

## Проработка модели

Посмотрите внимательно на блок-схему модели размещения горного домика: все нужные покрытия и элементы включены, и они "втекают" в конечную точку модели.

Однако кое-чего не хватает. Как из начальных данных создавались промежуточные покрытия? Чтобы завершить нашу блок-схему, нам нужно указать, какие функциональные возможности ГИС мы используем для



перехода от одной ветви к другой. Этот шаг важен не только в моделировании, он поможет в определении функциональности, требуемой от любого программного ГИС-пакета для данного проекта. Давайте рассмотрим дополненную таким образом версию блок-схемы (Рисунок 13.4).

Вместо реальных названий команд, которые могут различаться от системы к системе, здесь использованы общие мнемоники, которым вы сможете сопоставить реальные команды вашей системы. Начнем с инфраструктуры — дорог, электро-, газо- и водоснабжения. Весьма вероятно, что ничего из перечисленного не окажется на вашем участке. Но нужно знать, как близко они находятся (скажем, до 500 м), чтобы было возможным сделать ответвление в вашу сторону. Нетрудно создать буферы (команда BUFFER) шириной 500 м с каждой стороны соответствующих линий, и в результате мы получим покрытие "есть-электричество", которое показывает места, в которых есть или может быть получен доступ к электроэнергии. Аналогично строятся покрытия "есть-газ" и "есть-вода" (буферы по 250 м). Для буфера "есть-проезд" можно взять большее значение, скажем, 750 м, так как у нас есть автомобиль повышенной проходимости, позволяющий пробраться на такое расстояние и по бездорожью.

Теперь у нас есть четыре отдельных покрытия, представляющие факторы инфраструктуры. Поскольку нам нужны все эти элементы, а не один или два, то для получения результирующего покрытия "инфраструктура" нужно наложить их так, чтобы получить пересечения всех представленных на них областей. Для этого используется наложение "логическое и" (команда INTERSECT), в результате которого мы получаем области, удовлетворяющие всем четырем критериям.

Сейчас вполне закономерен вопрос: "Что делать, если ни одна область не удовлетворяет всем четырем критериям?". Такая ситуация вполне возможна. В этом случае стоит обратить внимание на фактор, наиболее удаленный от остальных. Например, если линии электропередачи расположены слишком далеко, то мы могли бы увеличить размер буфера для этого фактора (скажем, до 1000 м). Таким образом, мы ослабляем ограничения, чтобы получить решение для нашей модели, что является достаточно распространенной практикой в картографическом моделировании. Мы думаем таким же образом, когда решаем купить машину, которую можем себе позволить, а не роскошную модель, которую *хотели* бы.

Если ослабление ограничений невозможно, — например, если электроэнергетическая компания не желает тянуть кабель на 1000 м от существующих сооружений, — то вам может помочь снижение важности одного или более факторов.

Создавая буферы, мы исходили из равной важности значения всех

Таблица 13.1. Типичная страница Отчета об исследовании почв, показывающая почвенные участки и небольшую часть табличной информации, имеющейся для каждого типа почвы.

Название почвы и обозначение на карте	Жилые дома без фундаментов	Жилые дома с фундаментом	Мелкие туровые задания
Ev. Eudora part	Сильно: наводнения	Сильно: наводнения	Сильно: наводнения
Gravelly land: Ge	Умеренно: уклон	Умеренно: уклон	Умеренно: уклон
Judson: Ju	Умеренно: изменение объема	Умеренно: изменение объема	Умеренно: изменение объема
Kelleys: Ks	Сильно: наводнения	Сильно: наводнения	Сильно: наводнения
Kino: Km	Сильно: наводнения, изменение объема	Сильно: наводнения, изменение объема	Сильно: наводнения, изменение объема
Martin: Mb, Me, Mh	Умеренно: изменение объема	Сильно: изменение объема	Сильно: изменение объема
Morrill: Mt	Умеренно: изменение объема, низкая прочность	Умеренно: изменение объема, низкая прочность	Умеренно: изменение объема, низкая прочность
Mt	Умеренно: изменение объема, низкая прочность	Умеренно: изменение объема, низкая прочность	Сильно: уклон
Oska: Os	Сильно: изменение объема	Сильно: изменение объема, глубина до каменной	Сильно: изменение объема
Pawnee: Pb, po, Pn	Сильно: изменение объема	Сильно: изменение объема	Сильно: изменение объема
Sharpsburg: Sc, Sd	Сильно: изменение объема	Сильно: изменение объема	Сильно: изменение объема
Stony steep land: St	Сильно: глубина до каменной, уклон	Сильно: глубина до каменной, уклон	Сильно: глубина до каменной, уклон
Thurman: Tc	Слабо	Слабо	Умеренно: уклон
Vm, Vinland part	Умеренно: глубина до каменной, уклон	Умеренно: глубина до каменной	Сильно: уклон
Wabash: Wb, Wh	Сильно: влажность, наводнения, изменение объема	Сильно: влажность, наводнения, изменение объема	Сильно: влажность, наводнения, изменение объема

Продолжение Таблицы 13.1

местные дороги и улицы	анализацион- ный отстойникПоля орошения	область земляных каналовэконом- ических отстойников	спертилошад- и
Сильно заморозение	Умеренно наводнения	Умеренно инфильтрация	Умеренно наводнения
Слабо	Сильно: мерзкие камень	Сильно: инфильтрация, неплотные камни	Сильно: мерзкие камень
Сильно заморозение	Слабо	Умеренно инфильтрация	Слабо
Сильно: наводнения, заморозение, низкая прочность	Сильно: наводнения, влажность	Сильно: наводнения, влажность	Умеренно: наводнения
Сильно: изменение объема, низкая прочность	Сильно: просачивание	Слабо	Сильно: влажность
Сильно: низкая прочность, изменение объема	Сильно: просачивание	Умеренно: уклон	Умеренно: глинистость, просачивание
Умеренно: изменение объема	Сильно: просачивание	Умеренно: уклон	Умеренно: просачивание
Умеренно: изменение объема	Сильно: просачивание	Сильно: уклон	Сильно: уклон
Сильно: изменение объема	Сильно: глубина до каменей, просачивание	Сильно: глубина до каменей	Умеренно: просачивание, глинистость, глубина до каменей
Сильно: изменение объема	Сильно: просачивание	Умеренно: уклон	Умеренно: просачивание
Сильно: изменение объема, низкая прочность	Сильно: просачивание	Умеренно: уклон	Умеренно: просачивание
Сильно: глубина до каменей, уклон	Сильно: глубина до каменей, уклон	Сильно: глубина до каменей, уклон	Сильно: глубина до каменей, уклон
Слабо	Слабо	Сильно: инфильтрация	Сильно: уклон
Умеренно: глубина до каменей	Сильно: глубина до каменей	Сильно: глубина до каменей	Сильно: глубина до каменей
Сильно: влажность, наводнения, изменение объема	Сильно: просачивание, наводнения, влажность	Сильно: наводнения, влажность	Сильно: влажность, наводнения, просачивание



факторов, что случается довольно редко. Иначе говоря, нам следует взвесить факторы инфраструктуры. Дороги должны сохранить высокую значимость, так как, даже если вы собираетесь вести жизнь отшельника, вам нужно иметь возможность ездить за продуктами, медицинской помощью и т.д. Газ, конечно, нужен для обогрева дома и приготовления пищи, но можно воспользоваться газовыми баллонами. Аналогично можно поступить с водой. Электроэнергия остается проблемой номер один. Но в конце концов, можно снизить требования и пожертвовать телевизором, или использовать приборы на аккумуляторах. То есть, веса некоторых факторов можно свести к нулю.

Учтя ограничения подмодели инфраструктуры, мы можем перейти к административно-правовым факторам. Области, в которых допускается строительство односемейных домов, могут быть получены переклассификацией зонального покрытия, при которой устраняются все области, не удовлетворяющие этому ограничению. Аналогично может быть создано покрытие с территорией, не имеющей зарегистрированного собственника ("не-я-собственности") и еще одно — с землевладениями, которые могут быть проданы ("можно-купить"). Оба промежуточных покрытия основаны на одном и том же исходном ("собственность"), и оба создаются переклассификацией (команда RECLASS). Остаются еще сейсмо- и пожароопасность. Опасные зоны могут быть объединены операцией "или" (команда UNION), а результирующее покрытие покажет области, не подверженные опасности пожаров или землетрясений.

Полученные четыре промежуточных покрытия объединяются в общее административно-правовое покрытие операцией наложения с пересечением. При этом нужно следить за тем, чтобы пересечению подвергались лишь пригодные области. Если в пересечение войдут противоположные категории, например, сейсмо- и пожароопасные, то вы можете оказаться в весьма рискованной ситуации.

Третья подмодель, эстетические факторы, имеет меньше компонентов, чем другие, но их труднее исчислить. Начнем с покрытия населенных пунктов. Вряд ли вам удастся полностью избежать близости населенных пунктов, к тому же, вам наверняка понадобится какое-то поселение неподалеку в качестве источника припасов. Разумно ограничить размер поселений, скажем, численностью в 1000 человек. Посредством переклассификации вы можете создать покрытие ("нет-городов"), содержащее только небольшие поселки, без крупных городов. Однако, это не совсем то, что нужно, так как вам нужно знать, где находятся большие города, чтобы определить, видимы ли они с возможного места для домика. Это покрытие будет скомбинировано со следующим для исключения таких объектов из области видимости.

Вторая часть эстетической подмодели определяет возможности обзора.

На местности есть растительность которая добавляет свою высоту к высоте поверхности земли. Работая с картами, мы часто забываем, что растительность это отнюдь не плоская покрашенная зеленью поверхность. Чтобы учесть это, нам нужно ввести в модель среднюю высоту леса, которая может быть получена из ботанических или лесоводческих справочников для каждого из типов леса. Тогда мы сможем переклассифицировать покрытие "растительность" (номинальная шкала) в покрытие "высота-растительности" (шкала отношений). Данные этого покрытия и значения топографической высоты (тоже шкала отношений) можно сложить (команда ADD) для образования покрытия "общая-высота", которое нужно для определения зон видимости (команда VIEWSHED), после чего мы получим покрытие "свободный-вид", показывающее области видимости долины внизу. Теперь нужно учесть города. Комбинируя через пересечение это покрытие и покрытие "города" (свыше 1000 жителей), мы получим как видимые области с городами, так и видимые области без городов. Эти последние и будут объединены, в конечном счете, с тремя остальными подмоделями.

Завершая модель, мы обращаемся к трем физическим факторам: растительности, почвам и уклону. Из рассматривавшегося уже покрытия "растительность" мы можем путем переклассификации выделить области густого леса (которые нам не подходят) и такие, которые содержат другую растительность или редкие деревья и могут быть расчищены ("свободно-от-растительности"). Нужно помнить, конечно, что масштаб большинства карт растительности довольно мал, так что любое решение на основе таких данных должно проверяться на месте.

Среди наиболее сильных физических ограничений — величина уклона. Слишком большая крутизна либо сделает выполнение проекта невозможным, либо значительно увеличит его стоимость. Величина уклона до 15 градусов была бы идеальна. Чтобы найти все области, удовлетворяющие данному критерию, нужно взять топографическое покрытие и выполнить процедуру построения окрестностей, разделяющую области с уклоном до 15 градусов и области с большим уклоном, получив таким образом покрытие "малый-уклон".

Инженерные характеристики почвы определяют способность почвы выдерживать такое строение, как горный домик, и способность к инфильтрации, необходимая для сооружения канализационного отстойника.

Оба этих параметра определяются непосредственно по исходной почвенной карте; они либо переклассифицируются для удовлетворения заданным критериям, либо выбираются из связанной таблицы атрибутов. Полученные покрытия ("пригодно-для-зданий" и "пригодно-для-

отстойников") могут быть подвергнуты пересечению для создания более полного покрытия "пригодная почва". В результате операции наложения с пересечением мы получаем конечное покрытие подмодели "Физические факторы".

Как вы могли уже догадаться, окончательное решение состоит в пересечении покрытий с физическими, эстетическими, административно-правовыми и инфраструктурными факторами, так как все их ограничения должны быть удовлетворены. Если модель работает, как запланировано, то мы должны получить хотя бы один участок, подходящий по всем критериям.

В действительности не всё так просто. Мы рассмотрели проблему слишком сильных ограничений, которые приходится ослаблять. Но возможна и другая ситуация, — когда на многих участках почвы хороши для строительства, уклоны малы, прекрасные горные виды, нет проблем с зонированием и земельной собственностью, инфраструктура прекрасно развита. Это выглядит маловероятным, но все-таки возможно. В этом случае мы получили большие площади, удовлетворяющие нашим требованиям, и можем строить домик практически где угодно. То есть, эти замечательные результаты показывают, что наша модель оказалась не очень-то полезной в принятии решения. Конечно, ГИС в этом не виновата, она не может заменить человека, принимающего решения.

В такой ситуации мы можем усилить ограничения, чтобы выбрать наилучшее место из возможных. Как и в случае ослабления ограничений, здесь мы можем идти двумя путями. Первый — изменение критериев. Например, мы могли бы потребовать наилучших почв для строительства дома и канализационного отстойника. Мы можем также ограничить уклон величиной 7 градусов, а не 15, уменьшить допустимый размер поселений, попадающих в зону видимости, изменить другие факторы. На самом деле, легче создать набор значений для каждого фактора, и получить ранжированные ответы вместо просто "да" и "нет" (см. Главу 9).

Другой подход основан на том, что четыре группы факторов нашей модели не равнозначны. Ограничения по почве или уклону весьма существенны, однако, если нет зон, в которых возможно строительство, то физические параметры просто не имеют никакого значения. То есть, есть факторы, которые можно назвать абсолютными ограничениями, в то время как другие могут быть преодолены изменением пределов или согласием вложить в проект больше денег.

Определение того, какие факторы абсолютны, а какие могут быть взвешены, поможет выполняющему картографическое моделирование скорректировать решение в реальной ситуации. Нужно проявлять гибкость и внимание к воздействию этих весов на конечный результат. В литературе можно найти примеры использования взвешивания для улучшения модели

и удовлетворения требований пользователей-максималистов [Davis, 1981; DeMers, 1986; Lucky and DeMers, 1987].

## Разрешение конфликтов

Взвешивание не всегда даст результаты, удовлетворяющие всем выбранным условиям. Рассмотрим задачу создания картографической модели, включающей два по сути противоречащих друг другу взгляда на проблему, — скажем, лесозаготовка и сохранение пятнистых сов, защищаемых федеральным законом.

Как мы могли бы подойти к такой трудной задаче? Давайте рассмотрим один из имеющихся методов, предложенный Д. Томлин [Tomlin and Johnston, 1988]. Хотя этот метод — не единственный, он показывает, что конкурирующие части задачи могут быть концептуально разделены, и достигнут приемлемый компромисс, без использования редкого программного обеспечения или дорого оплачиваемых переговорных групп. Этот метод, называемый ORPHEUS, состоит в создании двух отдельных моделей — каждой для своей стороны задачи. После оценки всех факторов вы начинаете изменять веса факторов с обеих сторон, давая небольшие уступки каждой стороне. Продолжая изменять веса на двухсторонней основе, вы должны, в конце концов, получить на выходных картах области сосуществования конкурирующих групп требований. Процесс требует некоторого времени для совершенствования, и опыт здесь незаменим. Попробуйте сами создать небольшую БД, скажем на площадь 1 кв. км, включающую данные по почвам со связанными таблицами. Затем выберите 6-8 типов землепользования для размещения в этой области, задав ограничения размера для одних типов, местоположений для других, близость к очагам загрязнения для третьих и т.д. Даже если вы не получите сразу положительных результатов, этот опыт будет очень полезен.

## Примеры картографических моделей

Теперь давайте рассмотрим три типичных примера моделей и их блок-схем. Это примеры на разные темы, которые используют разные подходы как к моделированию, так и к составлению блок-схем, что даст нам представление о некоторых из имеющихся возможностей.

Начнем с описательной модели качества среды обитания оленей (Рисунок 13.5) [Carlson and Fleet, 1986]. Она основана на наличии/отсутствии некоторых факторов, существенно важных для выживания оленей: доступности питьевой воды, растительности для пастбы и укрытия. Первый фактор использует покрытие с данными по гидрологии, второй — по



растительности. Олени употребляют в пищу древесные растения, которые имеют листья близко к земле. Таким образом, факторы пищи и укрытия получают переклассификацией растительности на кустарники и деревья как пригодные и травы как непригодные типы растительности. Модель не уточняет, какие именно типы растительности нужны, и какая именно вода может употребляться, — нетрудно представить, как эти параметры можно получить из имеющихся покрытий при наличии знаний по зоологии и поведению оленей.

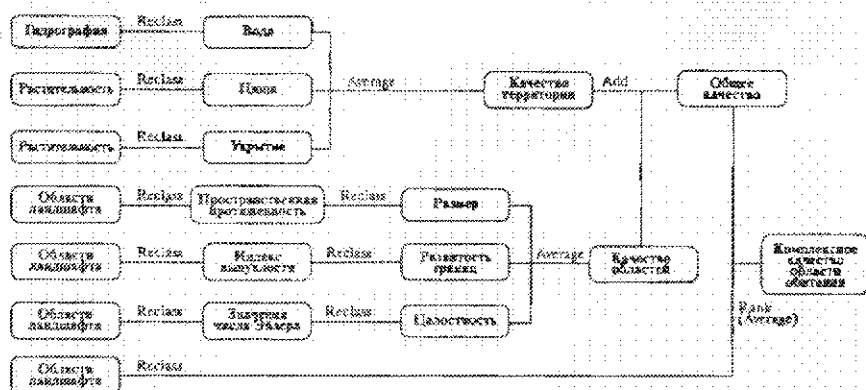
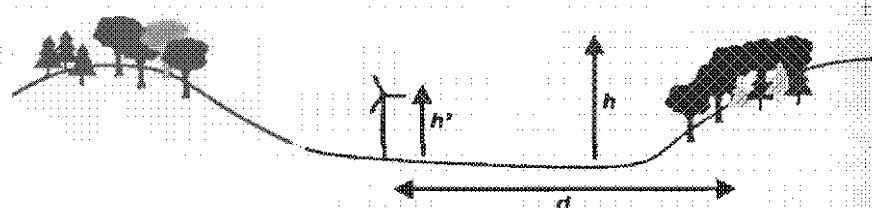


Рисунок 13.5. Блок-схема простой модели области обитания оленей. Основана на наличии/отсутствии важнейших факторов выживания: укрытия, пищи и воды и пространственной конфигурации ландшафта с учетом размера, длины границ и целостности/фрагментации ландшафта.

Вторая часть модели относится к качеству среды обитания с точки зрения пространственной конфигурации элементов ландшафта. Основные параметры здесь — размер и длина границ каждой области, а также ее целостность (см. Рисунки 8.2 и 8.3). Эта часть должна напомнить вам об использовании в картографическом моделировании упоминавшихся экологических единиц ландшафта. Кроме того, это хороший пример ландшафтных пространственных показателей в их применении к области обитания одного вида. Конечный результат этой части модели объединяет параметры ландшафта с помощью ранжирования, в данном случае через усреднение, для получения общего качества области обитания. Должно быть очевидным, как части модели могут быть объединены для получения всей модели области обитания оленей.

Второй пример показывает предписательную модель определения областей, которые получают достаточно ветровой энергии для

функционирования ветроэлектростанции (Рисунок 13.6) [Carlson and Fleet, 1986]. Используются только два исходных покрытия: топография и растительность. Первое позволяет определить ориентацию склонов, которой присваиваются порядковые категории от лучшей к худшей (с точки зрения работы генератора). Наилучшим случаем будет, конечно, горизонтальная поверхность как не создающая препятствий, в случае же уклона оптимальным является северо-западное направление, связанное с преобладающим направлением ветра, другие направления менее полезны\*.



Шаги	Операции
Найти направление уклона нет уклона = 1 (наилучший) С.З = 2 (хороший) С.З = 3 (удовлетворительный) Ю.З = 4 (плохой) другие = 4 (не пригодный)	Ориентация
Найти расстояние до препятствий $d$	Radiate
Найти высоту препятствий $h$	Переклассифицировать (Топография + Растительность)
Найти высоты генераторов: $h' = (h - h')/d$ , таким образом, $h' = h - rd$ выбрать корректное $h'$ найти $rd$ найти $h'$	Вычесть. Переклассифицировать Умножить Вычесть
Устранить влияние высоты вышек	Вычесть
Отобразить все ранжированные места независимо от высот вышек	Переклассифицировать, Отобразить
Отобразить места как функцию (аспект, высота_вышки)	Табулировать. Переклассифицировать, Отобразить

Рисунок 13.6. Блок-схема размещения ветроэлектростанции. Учитываются преобладающие ветра, высота местности, высота деревьев. Данная модель представлена как алгоритм, а не как блок-схема. В правой колонке указаны операции, необходимые для выполнения каждого шага.

\* На самом деле, плоская поверхность — не всегда самый лучший случай, так как

Другим фактором, который мы должны рассмотреть, является расстояние до препятствий, в данном случае деревьев и склонов, которое может быть получено использованием операции определения функционального расстояния; в данном примере используется команда "Radiate". Модель подразумевает, что вышки будут не выше 25 метров, через вычитание этой величины из топографических высот и ранжирование местоположений уже независимо от высот вышек. Наконец, модель перекомбинирует экспозиции склонов для получения мест для размещения генераторов. Блок-схема данной модели существенно отличается от той, что дана на Рисунке 13.4; на самом деле она является больше алгоритмом, чем блок-схемой.

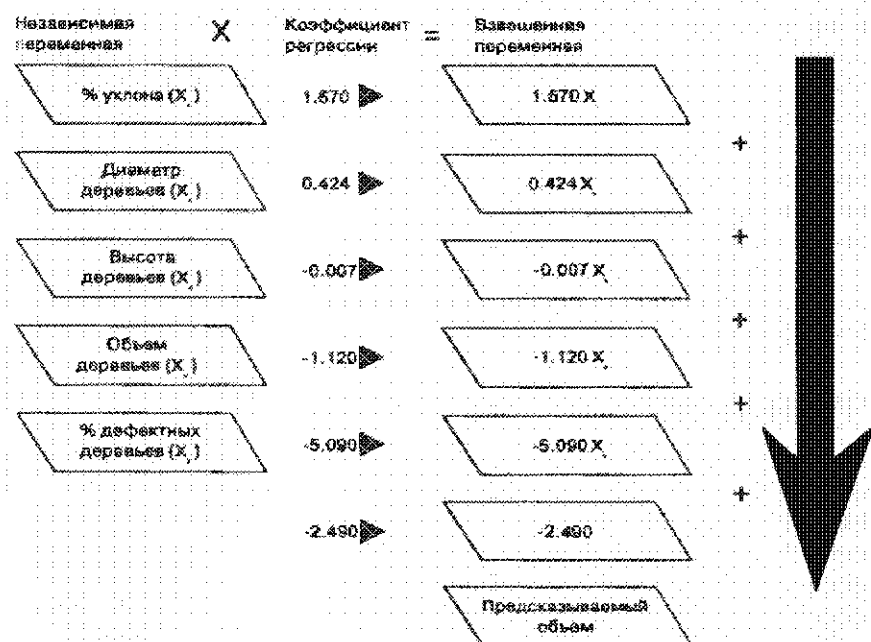


Рисунок 13.7. Предсказательная модель лесозаготовки с использованием линейной регрессии. Эта блок-схема показывает использование методов асимметричного картографирования с подстановкой в следующее уравнение регрессии для обычной практики лесоповала:

$$Y = 1.670 x_1 + 0.424 x_2 - 0.007 x_3 - 1.120 x_4 - 5.090 x_5 - 2.490$$

определенный рельеф способен концентрировать потоки ветра, правда, расчет в этом случае будет сложнее. — прим. перев.

Некоторым этот "рецептурный" подход может показаться более удобным, хотя на самом деле классическую блок-схему и алгоритм относительно легко можно преобразовывать друг в друга.

Вы можете попробовать следующий пример, представляющий статистический метод моделирования. Если вы знакомы с регрессией, то эта модель будет хорошим примером того, как асимметричные методы могут применяться с использованием коэффициентов уравнения регрессии для изменения значений полигонов.

Основываясь на предсказательном статистическом методе, известном как регрессия, данная модель пытается предсказать объем лесозаготовок (Рисунок 13.7) [Berry and Tomlin, 1984]. Данная величина нужна лесозаготовительным компаниям при попытке определения их финансового итога. В данной модели независимыми переменными (покрытиями или картами) являются процент уклона, диаметр деревьев, высота деревьев, объем деревьев и процент дефективных деревьев. Каждый фактор имеет измеримое влияние на предсказываемый объем лесозаготовки, которое отражается коэффициентами регрессии. Перемножая каждую независимую переменную на соответствующий коэффициент, модель создает взвешенные покрытия, которые при сложении друг с другом и прибавлении некоторой константы дают искомый объем заготовок. Поскольку эта модель использует проверенные, статистически значимые коэффициенты для каждой независимой переменной, результаты оказываются высоко надежными и легко проверяемыми.

## ПРОВЕРКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ МОДЕЛИ

Рассматривая картографические модели, мы исходили из того, что все будет идти по плану, и результаты будут соответствовать ожиданиям. Так как ввод данных занимает значительную долю времени работы с системой, имеет смысл выбрать небольшую часть области исследования для проверки работоспособности модели, и лишь после этого вводить все данные. Этот подход полезен и для верификации модели, о чем пойдет речь чуть позже.

Используя подмножество изучаемой области и блок-схему модели, мы начинаем с нижнего уровня каждой подмодели и, выполняя ее действия, отвечаем на следующие вопросы:

1. Если мы переклассифицируем категории, то сконфигурирована ли наша БД для выборки соответствующих значений? Или, если мы переклассифицируем категории в растровой системе без БД, имеет ли значение порядок переклассификации?

2. Если есть альтернативные методы или альтернативные комбинации методов, то какие из них скорее дадут нам корректный ответ при наименьших

затратах труда?

3. Есть ли у нас абсолютная уверенность в том, что выбранные операции действительно представляют функционирование моделируемой среды?

4. Что мы будем делать с недостающими переменными в каждом покрытии, если таковые обнаружатся?

Конечно, есть множество и других вопросов, но и этих должно быть достаточно, чтобы понять, о чем речь. Выполняя операции над частью БД, легче оценить, что происходит на каждом шаге. Вдобавок, появляется возможность проверки промежуточных результатов вручную, что пригодится при верификации модели.

Другим важным аспектом прогона модели является определение того, какие покрытия необходимы для продолжения моделирования, а какие должны быть сохранены для верификации модели. На практике, многие считают, что если покрытие создано, то его следует на всякий случай сохранить. Однако, дисковое пространство всегда ограничено, и вы легко можете растратить все свободное место. Вот еще одна причина для использования только части БД, — это позволит выявить промежуточные покрытия, которые могут систематически удаляться, а также понять, не нужно ли увеличить объем дисковой памяти для полного набора данных. Здесь же вы можете решить, для каких покрытий следует делать резервные копии; по крайней мере, для исходных данных это просто необходимо.

Прогон модели может даже пробудить азарт, так как позволяет испробовать различные модификации, — просто чтобы увидеть, что получится. Однако, следует помнить, что ГИС может запросто создавать совершенно бессмысленные результаты. А многочисленные эксперименты могут забить диск ненужными или малоценными покрытиями, при массовом удалении которых могут пострадать действительно ценные данные.

Чтобы избежать этого, следует использовать возможности защиты от модификации или удаления данных, высокая ценность которых известна. Во многих случаях с ГИС работают несколько (а иногда даже много) человек, что увеличивает риск потери или порчи данных. Чтобы сделать работу более надежной, следует использовать возможности администрирования данных и разграничения доступа, которые есть в большинстве современных ГИС и СУБД\*.

\* Информация может иметь немалую стоимость, так что планирование защиты данных и определение прав доступа, также как и ведение протокола работы, являются важными сторонами серьезного проекта, позволяющими предотвратить или минимизировать ущерб от непреднамеренных или умышленных разрушительных действий, а также восстановиться и проанализировать последовательность событий в случае, если такие действия произойдут. — прим. перев.

## ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ

Карты являются удобным средством сообщения информации. Их визуальное воздействие таково, что люди принимают изображенное как истинное, не задаваясь вопросами о данных, на основе которых эта карта построена, или методах моделирования, использованных при ее создании. Поэтому не должен вызывать удивления и тот факт, что многие, даже большинство, моделей принимаются как должное, подобно картам. Такое отношение может быть очень опасно для клиента, который может потерять деньги, престиж и даже весь свой бизнес, принимая решения на основе некачественных данных или некорректных комбинаций корректных данных. Это может быть опасно и для поставщика ГИС или консультационной фирмы, которым придется тратить больше времени и средств на судебные тяжбы, чем на создание картографических моделей.

Решением является **верификация модели** (model verification). Существует не так много примеров верификации моделей в практических приложениях и литературе. Это не должно вас удивлять, так как пользователи ГИС не имеют иммунитета против силы графического документа. Часто просто красивая карта выглядит ничуть не хуже, чем корректная карта. Оказавшись на демонстрации приложений ГИС, вы тут же подвергнетесь атаке широким спектром цветов, символов, шрифтов, картинок типографского качества. Не удивительно, что мы тратим гораздо больше времени на создание, нежели на верификацию. Кроме того, нужно немало труда, чтобы получить простой картографический продукт из сложной модели. Все-таки, несмотря на редкость верификации, мало кто не согласится с важностью ее проведения.

Итак, определение. Я определяю термин "верификация" достаточно свободно, для описания не только корректных, но и полезных моделей. В конце концов, если результаты анализа корректны, но бесполезны, их нельзя назвать продуктом. В пределах этого определения должны получить ответы три вопроса.

1. Действительно ли используемые в модели данные отражают условия, которые мы пытаемся смоделировать?
2. Корректно ли мы скомбинировали факторы модели для представления их реального взаимодействия? Правильно ли описываем или предписываем таким образом процесс принятия решения?
3. Является ли конечный результат приемлемым и/или полезным для пользователей в качестве средства для принятия решений?

Первый вопрос должен рассматриваться еще на стадии ввода данных, но это не всегда возможно. Одной из причин составления блок-схемы модели является выявление недостающих переменных, определение возможности получения адекватного решения на основе имеющихся покрытий. Иногда бывает так, что используемые факторы не дают ожидаемого результата, что

может свидетельствовать о неполноте модели или о том, что используемые факторы неадекватно представляют ограничения модели. В этом случае может помочь прогон модели на небольшом подмножестве БД, типичном для всего содержания.

Блок-схема будет очень полезной при поиске недочетов модели, в том числе и для рассмотрения подмоделей, в одной из которых может таиться недостаток, делающий некорректным общий результат. Иногда таким недостатком могут быть устаревшие данные, о чем также следует помнить.

Очень хорошим примером оценки представительности данных является проведение переписи кустарниковых соек для проверки точности представления местонахождений этих птиц при помощи модели их области обитания во Флориде [Duncan et al., 1995]. Это исследование особенно ценно тем, что показывает недостаточность простого сравнения распределений в качестве основы для принятия решений. Вместо этого для оценки результатов авторский коллектив использовал статистическую проверку, приведшую к дискуссии о возможных причинах обнаружившегося несоответствия.

Другой проблемой соответствия элементов модели реальному миру являются недостающие переменные. Всё-таки, ГИС может быть реализована и при отсутствии некоторых переменных [Williams, 1985]. Они могут быть просто недоступны, и потому должны быть исключены из модели, при этом окончательный вариант модели должен указывать, каких факторов не достаёт, и явно признавать, что модель не является полной картиной реальности.

В некоторых случаях переменные не отсутствуют, а слишком неясны или плохо определены (для их использования). Они также могут оказаться непространственными по определению, что не позволит поместить их в явно пространственный контекст при отсутствии пространственных представителей [DeMeis, 1995].

Вторым вопросом верификации является правильное комбинирование факторов. Прежде всего нужно выяснить, дают ли аналитические функции ГИС должные результаты на основе известных входных данных. Поставщики многих систем не сообщают конкретной информации о том, как эти результаты достигаются. Исследование разнообразных ГИС показало, что разные системы дают несколько отличающиеся результаты при выполнении аналогичных операций на одной и той же исходной БД [Fisher, 1993]. Возможно, вам тоже понадобится подобное тестирование, хотя в реальной обстановке это вряд ли возможно из-за высокой стоимости приобретения и поддержки нескольких систем, различающихся программно и даже аппаратно. В качестве альтернативы можно предложить создание специальной контрольной БД с известными параметрами для проверки

выполнения каждой аналитической операции на приемлемость результатов. Этот подход, как и предыдущий, требует немало времени, поэтому его можно рекомендовать в основном тогда, когда ваши данные очень чувствительны к используемым алгоритмам. На счет составления такой испытательной БД практически нет общих указаний, вам следует полагаться на ваше собственное знание данных и того, как программа должна их обрабатывать. Несомненно, это еще одна причина для приобретения концептуальных знаний функционирования ГИС.

Другая ситуация: вы убеждены в правильной работе всех нужных функций ГИС, но не имеете полной уверенности в том, что все шаги выполняются в правильной последовательности. Чтобы проверить это, вы можете использовать подход обращения прецеденса, похожий на проверку деления умножением (когда вы умножаете частное на делитель, чтобы получить делимое). В случае картографического моделирования вы можете взять простую БД, и, следуя по блок-схеме от результата к исходным данным, должны получить те покрытия, с которых начинали [Tomlin, 1990]. Любой шаг, который производит отличающиеся покрытия, становится очевидным. Здесь может пригодиться сохранение промежуточных покрытий, пока результаты модели не получат подтверждения; их можно также использовать, чтобы не запускать модель каждый раз с самого начала.

Намного сложнее вторая часть вопроса: взаимодействуют ли сами факторы таким образом, чтобы адекватно моделировать происходящее в реальности. Здесь нет простого рецепта, можно только сослаться на опыт и интуицию разработчиков. Во многих случаях они знакомятся с моделируемой средой и представляющими ее данными настолько, что любые несоответствия между данными и моделью становятся им сразу же видны. То же можно сказать и о правильном выборе факторов. Если модель противоречит интуиции, то есть немалая вероятность того, что "здесь что-то не так".

Если отрицается возможность плохих данных или некорректных функций ГИС, то остается только некорректность самой модели. Между прочим, некорректные или неестественные результаты должны, как и в статистическом анализе, приводить к дальнейшему исследованию реального функционирования моделируемой среды. В таком случае ГИС оказывается полезным инструментом для развития науки, а также внедрения в практику ее достижений.

Третья сторона верификации модели связана с полезностью модели в качестве инструмента принятия решений. Здесь важно представление выходной информации, о чем пойдет речь в Главе 15, но несколько слов нужно сказать об этом и в контексте верификации, а именно о том, что неадекватная картографическая форма может легко повести пользователя в



ложном направлении. Это может случиться, например, когда модель использует цвета, которые обычно подразумевают повышенную значимость или опасность (например, красный) для обозначения малозначительных объектов. Даже если не было намерения присвоить значительный вес неправильно понятому фактору, результатом может стать анализ, приводящий к принятию неправильного решения. Возможен и такой случай: в результате классификации вы выделяете небольшую область повышенной опасности со стороны радиоактивных отходов, игнорируя при этом множество других областей, которые не намного менее опасны, чем эта.

Важным вопросом является соответствие представления информации задачам клиента. Возможны различные формы вывода, не только карта. В некоторых случаях таблица может оказаться более полезной. Например, если клиентом является владелец газеты, пытающийся увеличить тираж, то полученный в результате список местных жителей, не являющихся подписчиками, будет более полезным для прямого маркетинга, нежели карта распределения тиража. Другим случаем большей полезности таблицы может быть распределение больных определенным заболеванием по территориальным единицам страны или региона. Некоторым пользователям полезнее будет список территориальных единиц, отсортированный в порядке убывания числа или процента таких больных, нежели карта хороплет. Причиной может быть незнание с картографическими методами одних пользователей или желание других иметь численные данные, на основе которых такая карта могла бы быть построена, чтобы обнаружить критические значения.

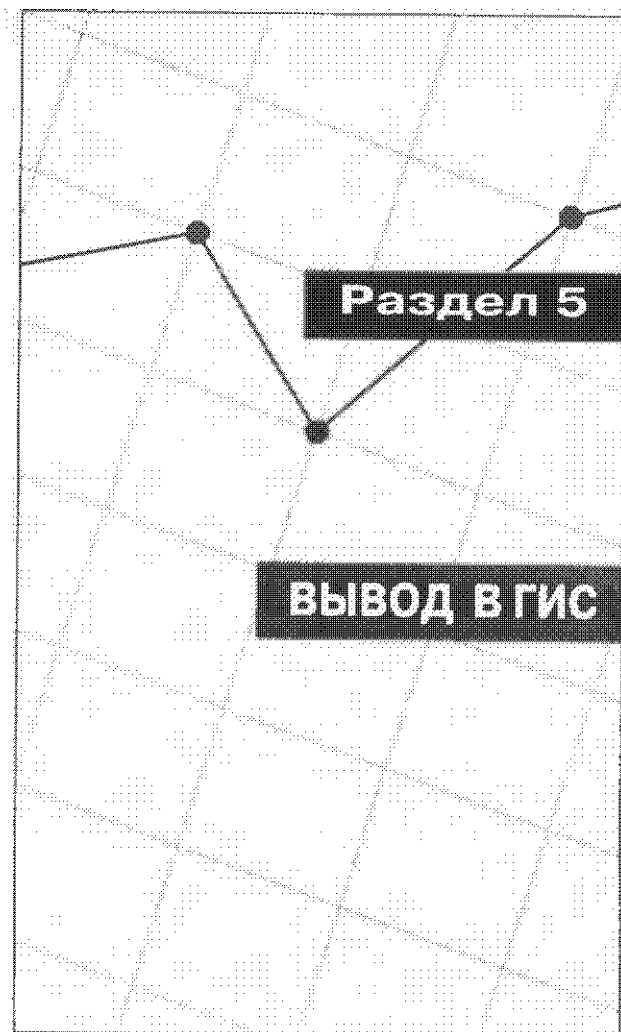
Возможны и другие формы вывода. Например, при использовании ГИС в службах экстренного реагирования, помимо создания карты с кратчайшим маршрутом к месту происшествия, система может посылать электронный сигнал непосредственно в то отделение службы, которое должно принять вызов. Хотя сегодня это может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

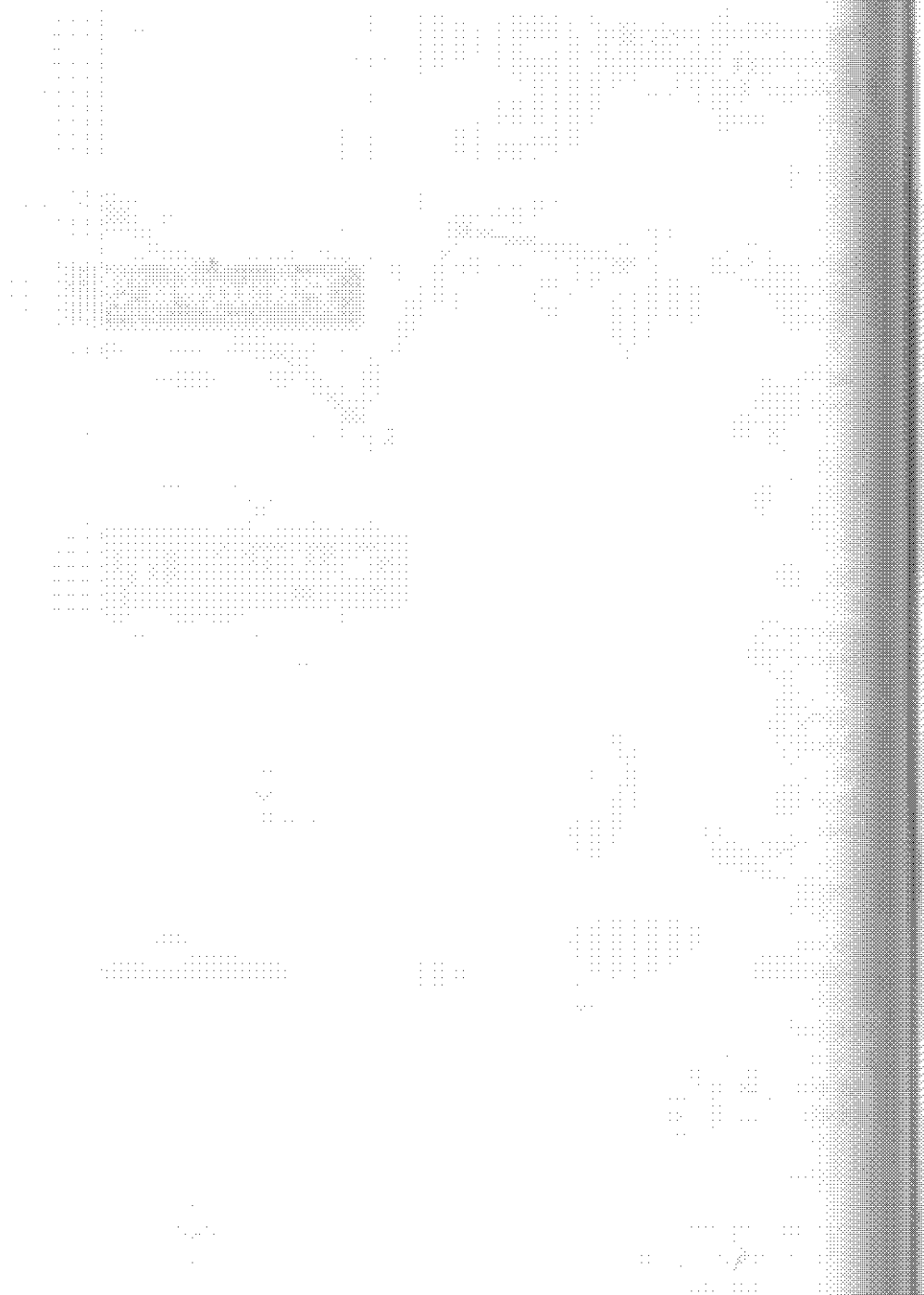
Последний рассматриваемый вопрос верификации модели — приемлемость результатов для пользователя. Возможно, клиенту нужен вполне определенный результат, соответствующий его пониманию, предубеждению или политической ориентации. Если клиент дает данные для включения в модель, то ответственность за их качество и качество принятия решений на их основе ложится на клиента. Следует понимать, что ваша работа может использоваться для оправдания принятых решений "задним числом". Поэтому, если вы обнаруживаете негативную оценку клиентом корректных результатов, вы можете попытаться объяснить ему, в чем его взгляд не соответствует действительности, возможно, используя для

этого блок-схему и объяснение работы модели. Согласие заказчика будет положительным результатом этой части верификации модели. Если же он настаивает на получении заданных им результатов, то это уже вопрос профессиональной этики: будете вы "играть заказанную им музыку" или будете более шепетильны в выборе клиентов.

## Вопросы

1. Имея столько команд и опций в ГИС, как можно построить модель?
2. Что мы имеем в виду, говоря, что процесс картографического моделирования является циклическим? Создайте сценарий в вашей области интересов, иллюстрирующий это утверждение.
3. Какое преимущество имеет дедуктивное картографическое моделирование перед индуктивным? Где индуктивное моделирование могло бы больше всего пригодиться?
4. В чем разница между явными и скрытыми переменными? Между неявно и явно пространственными переменными? Что такое пространственные представители и как они используются в картографическом моделировании?
5. Какова цель составления блок-схем картографических моделей? Какие преимущества они дают?
6. Что вы будете делать, если ограничения вашей модели не позволяют получить приемлемое решение? Каковы два возможных пути решения этой проблемы?
7. Что вы будете делать, если ограничения вашей модели слишком слабы, приводя к результатам, слишком неопределенным, чтобы помочь вам в принятии решения?
8. Почему веса факторов так важны при создании картографических моделей? Почему некоторые факторы являются абсолютными, а не просто с более высоким по сравнению с другими весом? Приведите примеры.
9. Каковы три основных вопроса верификации картографической модели? Предложите способы решения каждого из них.
10. Приведите примеры, когда картографический вывод может быть не так полезен, как другие формы вывода результатов пространственного анализа.
11. Почему важно прогонять модель на прототипе БД перед реализацией полной БД?
12. О чем мы должны помнить при начале реализации модели? Почему при этом не стоит полагаться лишь на экспериментирование или интуицию?





## Глава 14

### Вывод результатов анализа

Вывод результатов — конечный продукт любого анализа. И если он не понятен пользователю, то мы не справились с нашей задачей. В конце концов, целью является не просто анализ сам по себе, а и представление результатов. Здесь мы рассмотрим как технику вывода ГИС, так и некоторые требования дизайна для создания качественного, понятного выходного продукта. Обе стороны важны, так как техника физически ограничивает наши возможности создания изображений, а пользователи имеют физические и психологические ограничения и особенности восприятия, влияющие на интерпретацию результатов.

Вопросам дизайна вывода ГИС уделено относительно мало места в литературе, хотя в области традиционной картографии — предостаточно. Здесь вам может также помочь литература по графическому дизайну, которой тоже немало. Ценность этих знаний обусловлена еще и тем, что качественный вывод делает пользователей довольными, а довольный пользователь это клиент, который к вам еще вернется.

Техническая сторона играет большую роль, при этом техника постоянно меняется. А ценность качественного вывода всегда остается в силе, и хотя знание технических особенностей оборудования может быть полезным, гораздо важнее соотношение техники и качества вывода.

Есть много возможностей увидеть примеры хорошего и плохого вывода ГИС: выставки, конференции, Интернет, рекламно-информационные материалы поставщиков систем, презентации и т.д. Наблюдая их, вам следует не только восхищаться возможностями систем, но и посмотреть на их вывод критически, попытаться выразить словами его достоинства и недостатки. Это поможет не только понять, что следует делать, а что — нет, но и освоить лексику данной дисциплины и более четко формулировать требования к представлению результатов аналитических процедур.

### ВЫВОД: ОТОБРАЖЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА

Вывод результатов анализа может быть постоянным (permanent) и временным (ephemeral), в зависимости от типа выходного устройства. К первой категории мы относим вывод на бумагу, пленку или магнитные

носители — все они могут хранить результат долгое время. Вторая категория — вывод, обычно на экран монитора или проекционный экран, с целью демонстрации результатов анализа или предварительного просмотра файлов при решении об использовании их в анализе или о постоянном выводе.

Вывод может быть также разделен на человеко- и машинно-ориентированный [Burrough, 1986]. Машинно-ориентированные вывод чаще всего используется для сохранения материала на компьютерных носителях информации; он возвращает нас от подсистемы вывода ГИС к подсистеме хранения и редактирования. Человеко-ориентированный вывод предназначен для восприятия людьми. Машинно-ориентированные формы требуют решений о структуре данных, носителе информации и совместимости с другими программами и компьютерными системами, принять которые проще, чем решения о человеко-ориентированном выводе, поскольку люди больше различаются по опыту и уровню понимания графических средств коммуникации. По этой причине мы уделим больше внимания именно человеко-ориентированному выводу.

Поскольку сейчас в выводе ГИС преобладает картографическое представление, и это состояние, по-видимому, сохранится на несколько лет или даже десятилетий вперед, большая часть главы будет посвящена именно этой форме. Но мы рассмотрим и другие формы и основания для их использования вместе с картографическим выводом или вместо него.

## **КАРТОГРАФИЧЕСКИЙ ВЫВОД**

Карты всё еще остаются наиболее компактным способом представления географической информации.

ГИС позволяют создавать самые разнообразные карты, однако сегодня большинство ГИС-аналитиков имеют очень ограниченный опыт в картографическом производстве и дизайне. По этой причине, и потому, что количество пользователей карт постоянно растет, требования эффективного представления становятся все более насущными.

Целью изготовления карты является создание у пользователя представления о том, как выглядит соответствующее реальное окружение [Robinson et al., 1995]. Эта цель в значительной степени является функцией назначения карты и связана с предполагаемой аудиторией. **Общегеографические карты** (general reference maps) стремятся отобразить одновременно широкий спектр различных географических феноменов. Но поскольку большинство карт на выходе ГИС относятся к **тематическим картам** (thematic maps), выделяющим структурные отношения в рамках выбранной темы, мы сконцентрируем наше внимание именно на них. В случае ГИС слово “тема” можно заменить на “решение”, так как такие карты

чаще всего являются результатом решения определенной задачи или ключом к завершению процесса принятия решения.

Помимо размещения на тематической карте исследуемых объектов, на ней должна также присутствовать некоторая система координат, чтобы была возможность определения положений этих объектов в географическом пространстве [Robinson et al., 1995]. В некоторых случаях, например, при отображении данных, полученных со спутников, координатная система становится особенно важной, поскольку пользователь может быть не знаком с представлением наземных объектов в псевдоцветах и не сможет прочитать карту без координатной сетки или очертаний знакомых объектов. Кроме того, координатная сетка позволяет оценивать пространственную протяженность и площадь объектов.

Первое правило при составлении тематической карты гласит, что она должна быть читаема, анализируема и интерпретируема [Muehrcke and Muehrcke, 1992]. А проще: "устраните все ненужные объекты". Каждый помещаемый на карту объект должен что-то говорить на тему этой карты. Не должно быть ничего лишнего и всяких украшений вроде тех, что помещают на карты спрятанных пиратских сокровищ.

Даже после того, как вы устраните лишние объекты, нужно будет принять множество решений о выборе, обработке и генерализации выходных данных, а затем — об использовании соответствующих символов для отображения этих данных таким образом, чтобы пользователь легко мог их понять [Robinson et al., 1995]. Этот процесс состоит из своего рода смеси науки и искусства, и, чтобы достичь наилучшего результата, следует выполнить несколько предварительных набросков перед началом реальной компиляции карты.

Дизайн карты может быть очень сложным, особенно при широких возможностях современных компьютерных программ. Однако логические (интеллектуальные) и графические (визуальные) цели картографического дизайна часто конфликтуют. Разрешение этих проблем почти всегда происходит путем компромисса [Robinson et al., 1995]. Например, если вы располагаете символы домов на карте, то и логика, и эстетика диктуют согласованный подход, скажем, расположение символов в точных координатах домов. Но если там же имеется линейный символ, представляющий дорогу, проходящую очень близко от этих домов, то либо символ дороги, либо символы домов должны быть смещены. При некоторых обстоятельствах вам может потребоваться смещение как символов домов, так и символа дороги в сторону от их точных положений (Рисунок 14.1).

Выбор, сделанный на Рисунке 14.1, отражает важнейшее положение о том, что графические объекты не абсолютно точно указывают реальное положение физических объектов, которые они представляют. Картографам

приходилось решать огромное множество подобных проблем, поэтому они создали подробный набор соглашений (conventions) и традиций, которые являются результатом проб и ошибок, а главное, — проверки среди пользователей карт. Эти результаты содержат самые эффективные методы достижения компромисса, они должны быть для вас руководством для ваших собственных картографических решений. Отклонений от установленных норм почти всегда приводит к созданию карты, менее эффективной в сообщении результатов вашего анализа, чем она могла бы быть.

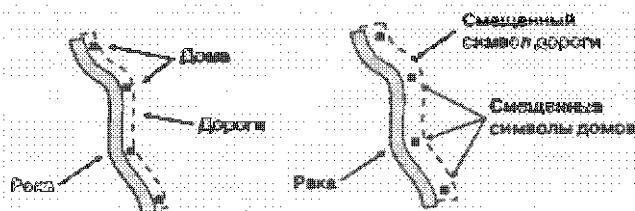


Рисунок 14.1. Компромисс размещения символов. Участок карты, иллюстрирующий компромисс, необходимый для размещения символа реки вблизи символов домов. Некоторые объекты должны быть физически смещены, чтобы дать место другим.

## Процесс дизайна

Первый шаг состоит в выборе типа карты, которую вы собираетесь создать, размещаемых на ней объектов и общего ее вида. Эта стадия интуитивна, результат ее — общий план вашей карты. Может быть полезен набросок, сделанный от руки, прежде чем вы сядете за компьютер (Рисунок 14.2).

Далее вы выбираете символы для отображения объектов, интервалы классов, цвета, типы линий и другие графические элементы. Это тоже можно сделать на эскизе. При этом обычно отмечают размеры объектов и расстояния между ними, которые потом могут быть введены в программу (Рисунок 14.2b).

Заключительная стадия процесса дизайна состоит в точной настройке того, что было сделано на предыдущей стадии. Здесь в общий план карты могут вноситься только небольшие изменения. Главное — создание прототипа на экране монитора перед выводом на печать, так как принтеры и плоттеры намного медленнее экрана монитора. При этом следует учитывать возможные различия изображений на экране монитора и на бумаге, обусловленные использованием специальных языков управления периферийными устройствами. При выводе текста нередко получается так,

что шрифты в компьютере и в принтере немного различаются, что приводит к наложению или сдвигу надписей, чего не наблюдалось на экране, или замене некоторых символов (особенно символов национального алфавита и специальных), коды которых различаются в компьютере и принтере (Рисунок 14.3)\*. Другая часто встречающаяся проблема – несоответствие цветов: заметно различающиеся на экране компьютера цвета могут оказаться практически одинаковыми на бумаге. Здесь можно порекомендовать вывести уменьшенную копию карты или ее часть, чтобы оценить соответствие и, если нужно, внести коррективы перед печатью всей карты\*\*.

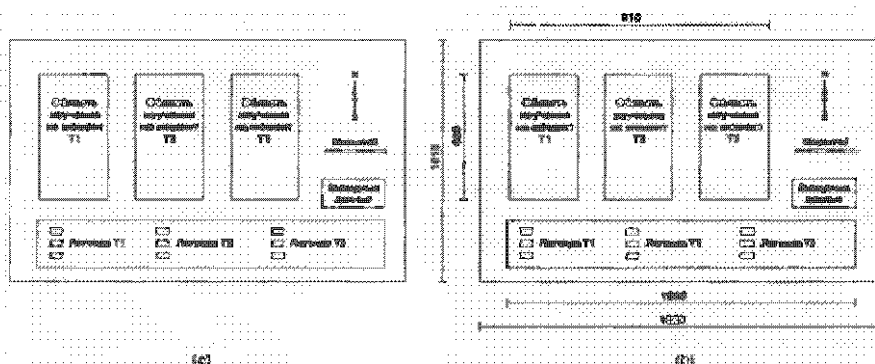


Рисунок 14.2. Предварительная компоновка карты. Составленные от руки (а) и на компьютере (б) наброски, показывающие основные объекты, их размещение и общую композицию карты. На компьютерном варианте указаны размеры объектов, что полезно для завершения компоновки.

## Роль символов в дизайне

При создании карты вы должны варьировать вид графических примитивов, представляющих точечные, линейные и площадные объекты, чтобы эти объекты были различимы.

Основные параметры, которые могут изменяться, это форма, размер, ориентация и цвет [Robinson et al., 1995]. Кроме этого, для заполнения

\* Эта проблема радикально решается установкой в драйвере периферийного устройства (например, принтера) флажка требования выводить всё, включая текст, в виде графики. При этом возможно некоторое замедление вывода, зато соответствие всегда будет полным.

\*\*Более надежный путь – калибровка оборудования с использованием специальных калибровочных программ (обычно используемых в издательском деле) для достижения максимального соответствия изображений на экране и бумаге. После калибровки учет всех различий и их корректировка производится программой автоматически в процессе вывода. — прим. перев.



площадных объектов могут использоваться штриховки (patterns), которые характеризуются организацией (arrangement) — регулярной или случайной, частотой следования элементов (texture), позволяющей делать их светлее или темнее, и ориентацией (orientation) этих элементов [Robinson et al., 1995].

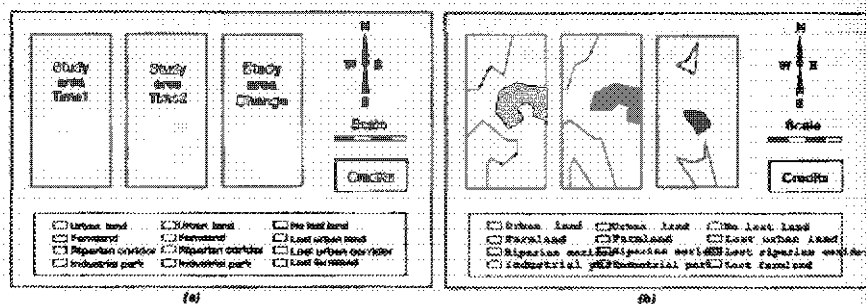


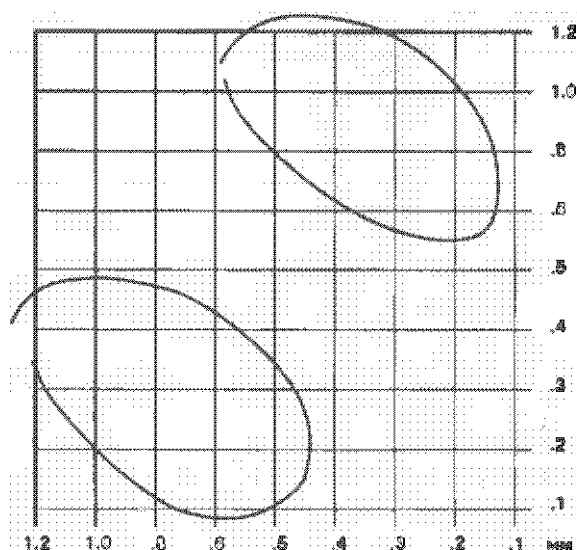
Рисунок 14.3. Окончательная композиция карты. Изображение карты на экране компьютера (а) и то, что можно обнаружить на бумаге (б). Заметны наложения, отсутствовавшие на экране компьютера.

Все эти параметры могут изменяться для улучшения графического представления объектов и их групп. Поскольку карты воспринимаются как единое целое (в отличие текста, воспринимаемого последовательно, слово за словом), необходимо также уделять внимание таким характеристикам дизайна, как разборчивость (legibility), визуальный контраст (visual contrast), отношение основного изображения и фона (figure-ground) и иерархическая структура (hierarchical structure).

Графические символы должны быть прежде всего разборчивыми: отдельные линии — разделимыми, цвета — различными, формы — узнаваемыми [Robinson et al., 1995]. Размеры символов должны учитывать расстояние, с которого карта рассматривается и которое может меняться от десятков сантиметров при индивидуальной работе до нескольких метров при демонстрации в коллективе. При этом нужно помнить и о физических ограничениях оборудования и человеческого глаза.

Другим фактором разборчивости является видимость самих символов. Например, линии замечаются легко, поэтому нет нужды делать их особенно широкими. Одни сочетания цветов помогают различению (как черные буквы на белом фоне), другие — мешают (те же черные буквы на темно-синем фоне). Наконец, использование легко узнаваемых символов и их комбинаций помогает разборчивости, — классическим примером являются фигуры, используемые на дорожных знаках, — они позволяют передать сообщение без использования текста.

Визуальный контраст также необходим для различения графических символов и текста на имеющемся фоне, а также при их близком расположении. Если некоторые элементы выглядят почти одинаково из-за сходства размера, формы, штриховки или других параметров, то может быть полезным внести дополнительные вариации, чтобы увеличить контраст (Рисунок 14.4). При этом нужно не "перегибать палку", так как слишком большой контраст может привести к утомлению зрителя при длительном рассматривании.



**Рисунок 14.4** Ширина линий и скука. Пример изображения, скучного вследствие одинаковой ширины линий. Обведенные области кажутся более заметными и привлекают больше внимания по сравнению с областями меньшего контраста

## Принципы графического дизайна

Компонуя карту, вам придется размещать ее элементы на ограниченной площади. Многие карты выглядят неинтересными вследствие того, что на них слишком много или слишком мало белого фона. Посмотрите на карту штата Калифорния (Рисунок 14.5). Специфичное очертание его границ дает большие пустоты в левом нижнем и правом верхнем углах. В них легко можно разместить масштаб, указатель северного направления, легенду и другие

компоненты, для каждого из которых нужно подобрать размер и толщину линий, чтобы заполнить свободное пространство. В данном случае мы имеем дело с соотношением основного изображения и фона. Карта, которая полностью состоит из основного изображения, менее желательна, чем карта с некоторым аморфным фоном, обособляющим основное изображение и дающим ощущение принадлежности суше (Рисунок 14.6). Фон поднимает также контраст и визуальную привлекательность. Карта, на которой слишком много фона, уменьшает значение основного изображения и может вызвать у зрителя подозрение о том, что она не полна.

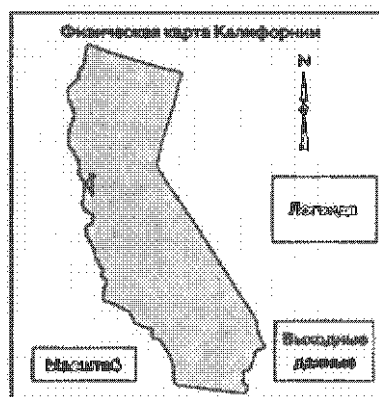


Рисунок 14.5. Баланс карты. Компонировка карты штата Калифорния, использующая особенности его очертания для расположения вспомогательных компонентов карты, дающая в результате более сбалансированную карту и лучшее соотношение основного изображения и фона.

Но отношение рисунок-фон содержит больше, чем только соотношение размеров. Если суша и водные поверхности имеют один цвет, то зритель легко может их перепутать. Добавление названий, знакомых очертаний границ, картографической сетки и штриховки позволит пользователю легко различать изучаемую область и не анализируемые участки карты (Рисунок 14.7).

Отношение фигура-фон содержит также аспект, называемый "хороший контур". Например, иногда, чтобы разместить на карте надпись, требуется разорвать какую-нибудь находящуюся под ней линию. Это не нарушает логической целостности, так как зритель воспринимает подразумеваемую линию, хотя на карте она и разорвана, но при этом надпись также будет возможно прочесть. Другие примеры включают логическую

дифференциацию суши и воды, границ и дорог, растительности и построек. Нужно рассматривать как можно больше таких соотношений с точки зрения отношения фигура-фон, учитывая при этом возможные ограничения на использование одного или более из этих параметров.

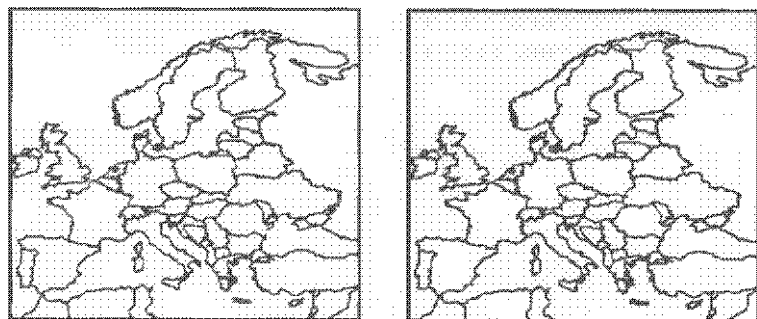


Рисунок 14.6. Соотношение рисунок-фон. Две карты одной области показывают, как контраст фона и рисунка позволяет облегчить различение того, какие области являются сушей, а какие — водой.

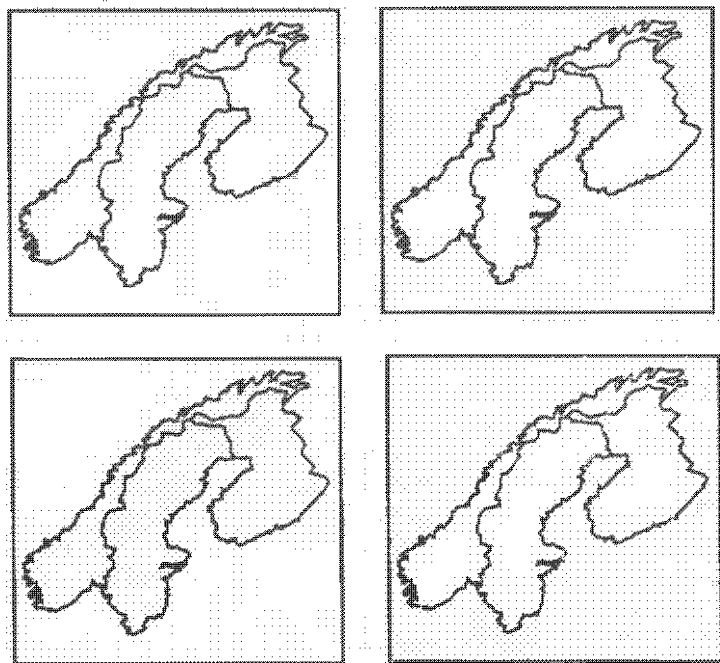
При этом целью остается создание полезной карты, а не просто применение как можно большего числа принципов дизайна.

Последним принципом графического дизайна является иерархическая организация. Все графические элементы, присутствующие на карте, должны быть организованы таким образом, чтобы подчеркнуть то, что наиболее важно. Этот принцип слабо применяется на общегеографических картах, так как их цель — дать возможность различным по интересам пользователям фокусироваться на важных для них элементах, поэтому все элементы такой карты должны иметь равное значение. А тематические карты, наиболее распространенные в среде ГИС, должны подчеркивать конкретные объекты или результаты анализа. Это может быть сделано посредством иерархической организации, или разделения элементов по уровням визуальной значимости.

Существуют три основных метода достижения иерархической организованности. Стереогранный (stereogrammic) метод требует выбора и модификации графических приемов с тем, чтобы позволить наиболее значимым элементам выглядеть расположенными выше, чем менее важные элементы. Это полезный метод улучшения соотношения фигура-фон. Ключами к восприятию глубины могут быть использование трехмерных объектов, различия в толщине линий, цвете, яркости или размере.

Второй метод иерархической организации называется расширительным (extensional), он чаще всего используется для ранжирования линейных или

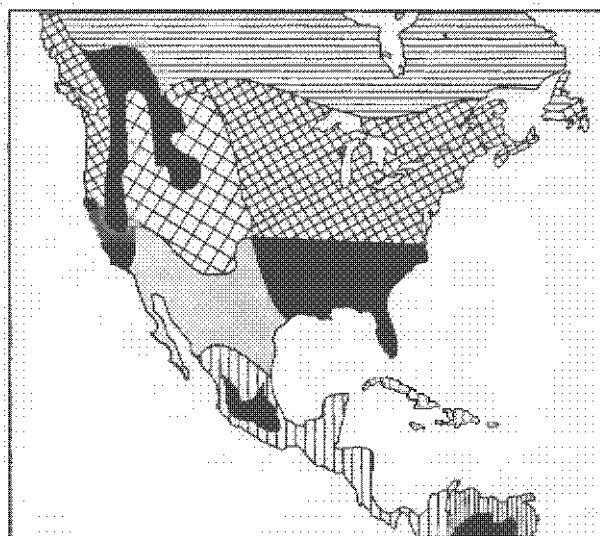
точечных объектов. Например, главные дороги должны выглядеть более заметными, чем второстепенные. Здесь мы можем варьировать толщину линий, их яркость или внутреннюю структуру (прерывистость, длину штриха и т.п.), а также комбинации этих свойств для показа значимости каждого линейного объекта. Некоторые ГИС имеют весьма ограниченные возможности изменения символов, но как правило, имеющимися средствами вполне возможно достичь желаемого результата.



**Рисунок 14.7. Стереограммная иерархия.** Использование сетки и штриховки создаст ощущение глубины, известное как стереограммная иерархия.

Последний метод создания иерархической графической организации, называемый методом подразделительной иерархии (subdivisional hierarchy), применяется главным образом для показа различий во внутреннем устройстве областей (Рисунок 14.8). Так, например, пастбища могут делиться на активно-, умеренно- и малоиспользуемые. Этот же метод используется при обозначении границ государств жирными линиями, в то время как

внутреннее административное деление показывается тонкими линиями. Различие между расширительной и подразделительной иерархиями состоит в том, что первая больше соответствует порядковой шкале измерений, в то время как вторая — номинальной. В принципе, все шкалы измерений могут связываться с графической иерархией, нужно только соблюдать правило, требующее большей заметности отличий для основных категорий, чем для второстепенных.



Типы климата

	Влажное:	Сухое:
Арктический		
Умеренный		
Субтропический		
Тропический		
Высокогорья		

Рисунок 14.8. Подразделительная иерархия. Использование подразделительной иерархии для разделения областей. Более высокий уровень иерархии использует более интенсивную штриховку или заливку.

## ВНЕШНИЕ ФАКТОРЫ КАРТОГРАФИЧЕСКОГО ДИЗАЙНА

Все принципы дизайна, которые мы рассмотрели, зависят от некоторого числа **внешних факторов**, определяющих природу создаваемой карты, типы используемых графических элементов и применяемые принципы дизайна.

Первым и наиболее важным фактором является **назначение** (purpose) карты, в то время как **сущностная задача** (substantive objective) связана с природой информации, которую вы пытаетесь отобразить. Тематические карты, создаваемые в ГИС, предназначены для изображения конкретных результатов анализа. Здесь очень важна простота: чем более сфокусирован вывод, тем легче его понять. Вследствие низкой стоимости создания карт в среде ГИС по сравнению с традиционной ручной картографией нет нужды создавать малое число особенно сложных карт. С другой стороны, большой объем данных и широта возможностей отображения создают тенденцию перегружать карты. Результаты отдельных аналитических процедур вполне могут представляться на отдельных картах, которые, в конце концов, можно разместить и на одном листе, сохраняя тем самым их общую целевую ориентацию.

Другой аспект назначения карты, **эргономическая задача** (affective objective), имеет в виду не столько то, *что* отображается, сколько то, *как* это делается. Решив, что вы изобразите на карте, вам нужно также выбрать форму представления, которая сможет адекватно передать ваше сообщение. Если карта показывает опасные зоны, то ее дизайн должен недвусмысленно демонстрировать их важность, ее приятная наружность может иметь некоторую художественную ценность, но посылать при этом зрителю не то сообщение, которое вы предполагаете.

Вторым фактором является **реализм** (reality), означающий, что каждая область имеет собственные характеристики, налагающие ограничения на применимость критериев дизайна. В географическом анализе обычно участвуют области со сложными физическими, транспортными, социальными или экономическими структурами, ведь именно они требуют пространственного анализа. Эта сложность может существенно ограничивать возможности размещения названий, размеры и стили символов, типы штриховки и т.д. Такие ограничения неизбежны, и помочь здесь может только практическое знание области изучения и природы данных о ней. Априорное знание ограничений поможет выбрать оптимальную стратегию дизайна заранее, а не на последних стадиях, когда изменения вносить может быть намного труднее.

Третьим фактором является **наличие данных** (available data) — вопрос не только подготовки карт, но и проведения пространственного анализа. Большинство БД ГИС имеют значительный объем — таковы требования анализа; кроме того, анализ часто проводится для больших территорий.

Вполне возможна, например, карта с сотней категорий землепользования; создать же сто различных цветов весьма проблематично. В этом случае следует изменить процедуру дизайна для включения подразделительной иерархии с различными цветами и типами штриховки для каждого подраздела (Рисунок 14.9). С наличием данных может быть связана и другая проблема: данных либо недостаточно для анализа и отображения, либо они старые и собирались на иных принципах, либо для них использовалась слишком редкая выборка. Например, не будет сравнимы данные вековой давности по растительности и современные ДДЗ. Первые будут, скорее всего, содержать лишь несколько общих категорий, часто находящихся под воздействием личного опыта сборщика данных, в то время как ДДЗ будут иметь большое число категорий, полученных по компьютерным алгоритмам классификации.

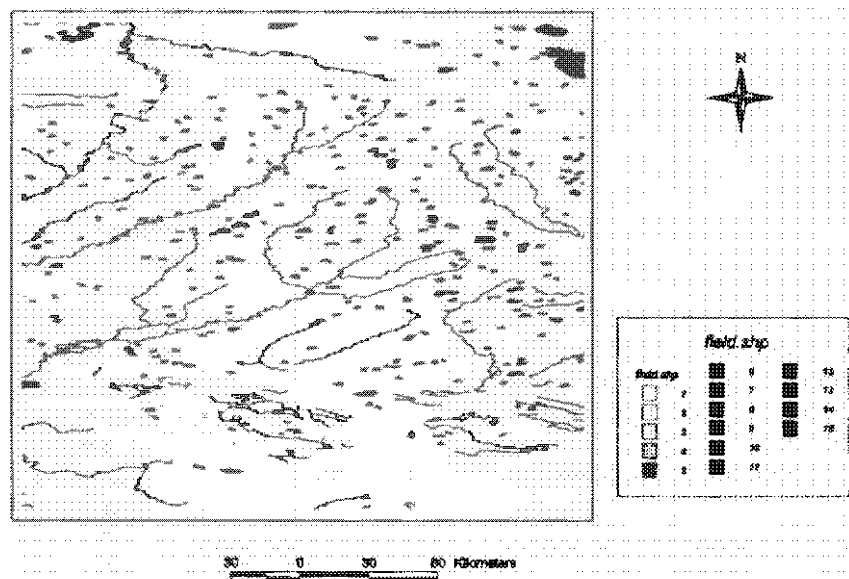


Рисунок 14.9. Проблемы с категориями. Карта с большим числом категорий. Из-за недостатка подразделительной иерархии может быть трудно понять, к какой категории относится каждый полигон.

Представление также зависит отчасти от масштаба карты. Его уменьшение



уменьшает детальность карты и пропорционально уменьшает ее символы. Но в некоторый момент дальнейшее уменьшение символов становится невозможным из-за потери их различимости. Поэтому при дизайне карты приобретают важность выбор объектов, упрощение и обобщение (генерализация).

Следующим фактором является **целевая аудитория** (audience). Многие пользователи выходных документов ГИС не имеют знаний и опыта в географии и картографии [Robinson et al., 1995]. В таких условиях карта должна восприниматься как можно легче, благодаря сохранению лишь наиболее важных объектов и названий и применению общеизвестных символов. В то же время, более опытные пользователи смогут извлечь дополнительную информацию из более плотного представления с более абстрактными символами [Robinson et al., 1995]. Значение может иметь также и возраст, ибо пожилым людям и детям труднее воспринимать мелкие символы и текст. В случае проблем с цветовосприятием у пользователя может даже потребоваться монохромное изображение.

Условия использования играют важную роль в дизайне карты. Сюда входят не только варианты карты-плаката или настольного документа. Если карта будет использоваться в условиях плохого освещения, то нужно увеличивать контраст и размер символов. Если карта будет использоваться в полевых условиях, то ее нужно ламинировать. Например, во время войны в Персидском заливе 1993 года Национальное географическое общество США изготовило для военных сотни ламинированных карт. Весь набор условий работы с картой должен учитываться перед принятием окончательного варианта дизайна.

Наконец, на дизайн карты влияют **технические пределы оборудования**. Очевидно, что на черно-белом принтере нельзя напечатать цветную карту. Дешевые цветные принтеры часто имеют лишь небольшое число воспроизводимых цветов. Существенно также пространственное разрешение устройства вывода, ограничивающее размер символов и уровень детализации. Все эти факторы должны быть учтены.

## **НЕТРАДИЦИОННЫЙ КАРТОГРАФИЧЕСКИЙ ВЫВОД**

Традиционно, тематические карты создаются главным образом в **ортотрафической** (orthographic) форме, когда зритель как бы смотрит на землю сверху. Такие карты рассчитаны на близкое к реальности воспроизведение форм и соотношений. Но существуют и другие картографические формы, имеющиеся во многих коммерческих ГИС.

Среди первых возможностей векторного графического отображения для нетрадиционного представления тематических карт были **проволочные**

внешний вид карт, но расположение объектов на них соответствует реальному положению в пространстве, а значению некоторого показателя. Ведь расстояния, направления и другие пространственные отношения являются относительными, а не абсолютными. Картограммы можно встретить повсюду, что говорит об их полезности.

Например, в автобусах и поездах можно встретить схемы маршрутов. В них остановочные пункты располагаются на прямой линии, а не в двумерном пространстве, причем расстояние между ними также обычно не соответствует реальному. Эти условности упрощают карту до уровня схемы, оставляя только наиболее важные пространственные характеристики – состав и последовательность остановок и возможности пересадок (Рисунок 14.10). В дорожных атласах можно встретить линейные маршрутные картограммы (*routed line cartograms*), на которых показаны еще и расстояния между населенными пунктами и примерное время в пути.

Картограммы изменяют географическое пространство, преобразуя его в легко понимаемые модели реальности. Другая форма картограммы, линейная картограмма центральной точки (*central point linear cartogram*), можно использовать как евклидово, так и функциональное расстояние (Рисунок 14.11) [Bunge, 1962]. Среди наиболее используемых видов картограмм находятся площадные картограммы (*area cartograms*), которые варьируют размер каждой нанесенной на карту области в зависимости от некоторого параметра этой области. В классическом примере использования данного метода [de Blij and Muller, 1994] размер каждой страны пропорционален численности ее населения, а не ее площади. Площадные картограммы могут быть как непрерывными, когда все области соприкасаются, так и с разрывами, когда соприкосновения нет (Рисунок 14.12) [Campbell, 1991].

Интерпретация картограмм может потребовать некоторого времени на выработку навыка у пользователя, не знакомого с этой формой. Но когда сможет легко в них разбираться, результаты обычно стоят этого. В то же время, многие пользователи хотят получать и традиционные картографические формы, чтобы сравнивать с ними этот радикально отличающийся способ графического представления.

Вполне вероятно, что вам не будут часто встречаться картограммы в качестве вывода из ГИС на конференциях и выставках. Отчасти это потому, что большинство членов ГИС-сообщества либо не знакомы с этими формами, либо еще не привыкли к их использованию. Другой причиной может быть малое количество систем, позволяющих легко строить картограммы в компьютерной среде. Как бы то ни было, использование картограмм в качестве альтернативы традиционному картографическому выводу будет расти по мере роста осведомленности о них разработчиков и пользователей ГИС.

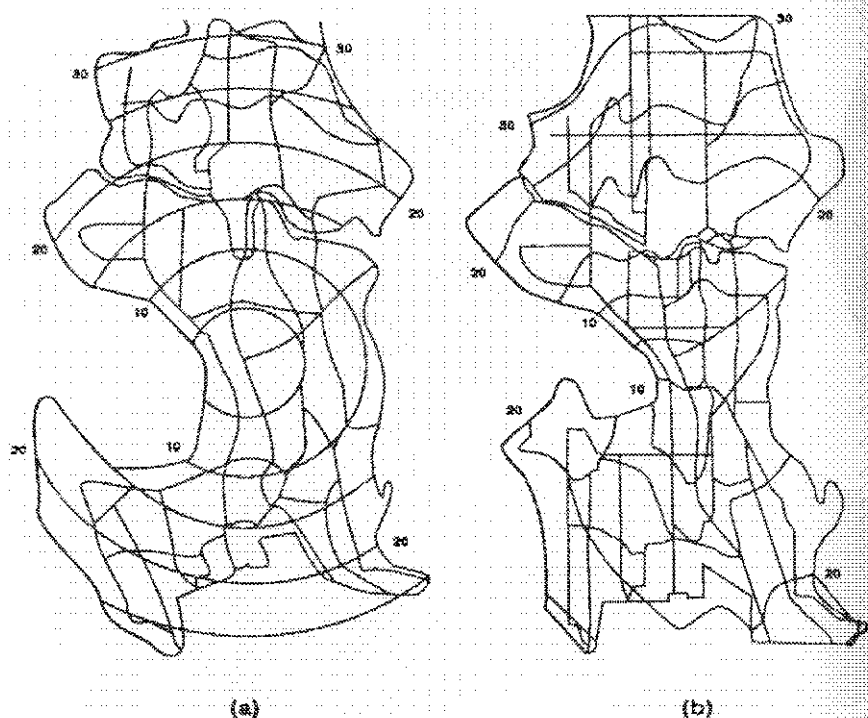


Рисунок 14.11. Картограмма центральной точки. а) Обычное представление времени движения от центра Сиэтла с интервалом в 5 минут. б) Картограмма, показывающая функциональное расстояние с интервалом в 5 минут.

## НЕКАРТОГРАФИЧЕСКИЙ ВЫВОД

Несмотря на преобладание карт среди выходных документов ГИС, некоторые данные лучше представляются в иных формах, когда карта не создается вовсе, или как дополнение к карте (когда, например, карта не может быть непосредственно воспринята целевой аудиторией).

## Интерактивный вывод

Возможно, классическим примером замены картографического вывода альтернативной формой является использование ГИС в службе спасения. Если вызов требует тушения пожара, то ГИС позволяет одновременно с принятием вызова оператором определить ближайшую к указанному адресу пожарную часть и направить в нее электронный сигнал тревоги. То есть, в данном случае выводом ГИС будет не карта, а электронный сигнал. Кроме того, та же ГИС может определить кратчайший маршрут для пожарной машины и нанести его на карту, а саму карту дополнить маршрутным листом, в котором перечислены улицы, перекрестки и иные отметки, позволяющие пройти маршрут без помощи карты. Хотя эксплуатируемые сегодня системы не так интеллектуальны, технические возможности вполне позволяют реализовать описанный сценарий, в котором альтернативный вывод может как дополнять карту, так и заменять ее.

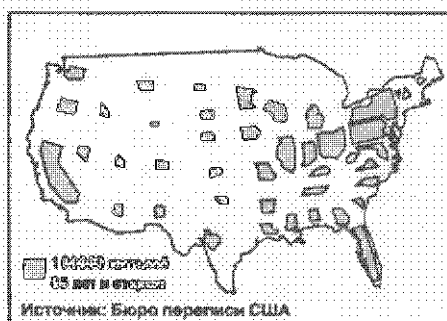
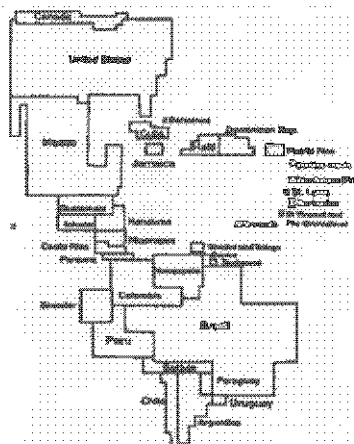


Рисунок 14.12. Сплошные картограммы и картограммы с разрывами.

## Таблицы и графики

Существуют многие альтернативные виды вывода из ГИС [Garson and Biggs, 1992], но более других распространены таблицы и графики, которые, помимо прочего, не требуют для вывода дорогостоящего оборудования.

Таблицы и графики могут существенно улучшить понимание картографических результатов. Представьте себе, что вы анализируете изменение распределения типов землепользования в процессе вытеснения

жилой застройкой естественной среды и сельскохозяйственных угодий. Серия карт показывает области наиболее существенных изменений. Вы можете прямо в легенды карт вставить таблицы процентов по типам землепользования на каждый момент времени. Кроме того, под каждой картой можно поместить столбчатую диаграмму распределения классов землепользования, а также изменения с предыдущего момента. Можно также создать матрицу, показывающую изменения "от" и "до" для всех моментов времени. Такая таблица поможет понять, какие типы землепользования и основном поглотили естественную среду, какие — сельхозугодия.

Как и в случае с картами, в дизайне некартографического вывода также есть свои принципы. Таблицы в ГИС чаще всего встречаются в легендах карт для связывания атрибутивных данных с графическими объектами карты и как распечатки значений атрибутов объектов. К ним может также прилагаться содержимое словаря данных для детального описания данных и дополнения легенды карты.

Вопросы дизайна текстового вывода включают общие идеи назначения, читабельности и целевой аудитории, знакомые вам из раздела о картографическом дизайне. В вопросе назначения следует подумать о том, насколько эффективно текст и таблицы могут дополнить или полностью заменить картографический вывод.

Текст и таблицы понятны практически всем, и вопросы читабельности достаточно общеизвестны, вспомним основные. Используемый шрифт должен быть простым, без украшательства. Цвет и яркость символов и фона должны образовывать хороший контраст. Таблицы и текст желательно отделять от карты рамкой. Не следует злоупотреблять сокращениями, — чем меньше таблица требует объяснений, тем она удобнее. Для групп близких по смыслу строк или столбцов можно использовать дополнительное выделение, например, цветом. В общем, как и с картами, здесь следует полагаться на здравый смысл и чувство визуального баланса.

Рассматривая создаваемые таблицы с точки зрения целевой аудитории, следует использовать терминологию, понятную клиенту. Информация, которая содержится в таблицах, не должна быть избыточной, — избыток не только не интересен, но и может породить путаницу. Поэтому перед созданием табличного вывода следует выяснить, что именно нужно пользователю, и как это лучше представить. Вряд ли будет полезен монстр с полусотней столбцов и не меньшим числом строк. Наверняка его можно было бы заменить серией графиков и диаграмм, которые в изобилии имеются в программах электронных таблиц и деловой графики\*.

\*Например, ГИС-продукты компании ESRI поддерживают связи с такими программами и статистическими системами. Во многих случаях можно также использовать стандартные механизмы передачи данных между приложениями, подобные DDE и Clipboard в Windows.

*прим. перев.*

Обычно графики строятся в декартовых координатах; реже встречается другой тип координат — полярные, в которых координатами являются угол и длина вектора, проведенного из начальной точки. На простых графиках данные изображаются точками, которые часто соединяются прямыми отрезками или плавной кривой. Довольно часто используется другой вид графиков — гистограммы, в которых вместо точек используются столбцы, расположенные вертикально или горизонтально; они лучше подходят для изображения небольшого количества дискретных данных.

Следует отметить еще один интересный тип графиков — аддитивный. В нем одновременно показываются значения нескольких параметров, причем столбцы строятся не на общей оси и не на отдельных осях, а прямо друг на друге, что отражает аддитивный характер этих показателей. Например, такими параметрами могут быть процентные содержания песка, ила и глины в почве, которые в сумме составляют сто процентов.

Построение графиков благодаря компьютеру стало почти что тривиальной задачей. Самы программы их построения предлагают много дополнительных возможностей: использование цветов, объемных букв, линий и фигур, занимательных символов и т.д. На самом деле, такие украшения в большинстве случаев не нужны, они только ухудшают читабельность вывода и напрягают зрение.

Все решения о графическом представлении должны следовать основному критерию — простота и разборчивость. Значимые линии должны выделяться на общем фоне. Координатная сетка не должна быть слишком частой и заслонять собой сам график. Координатные оси должны доходить до максимальных значений изображаемых величин, желательно также наносить на оси максимальные и минимальные значения координат. При совмещении нескольких графиков следует позаботиться о том, чтобы масштаб для каждого показателя не вводил зрителя в заблуждение, что малые величины больше, чем они есть в реальности, и наоборот.

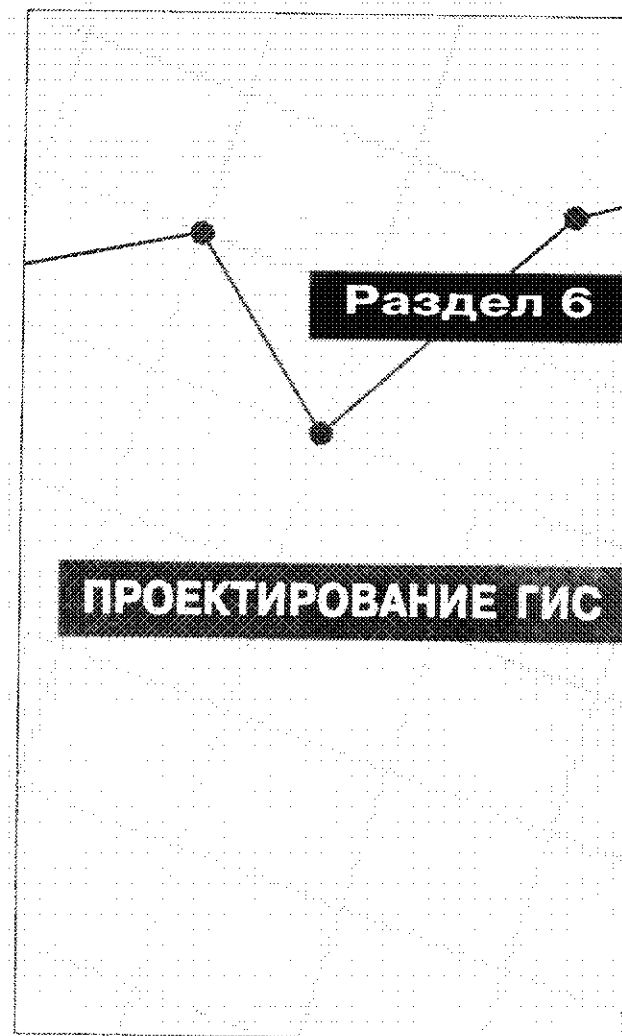
В настоящее время имеется большой объем литературы по деловой графике и графическому представлению, к которой и следует обращаться для детального изучения этого вопроса [Cleveland and McGill, 1988; Holmes, 1984; Meilach, 1990; Robertson, 1988; Sutton, 1988; Tufte, 1983; Zelazny, 1985].

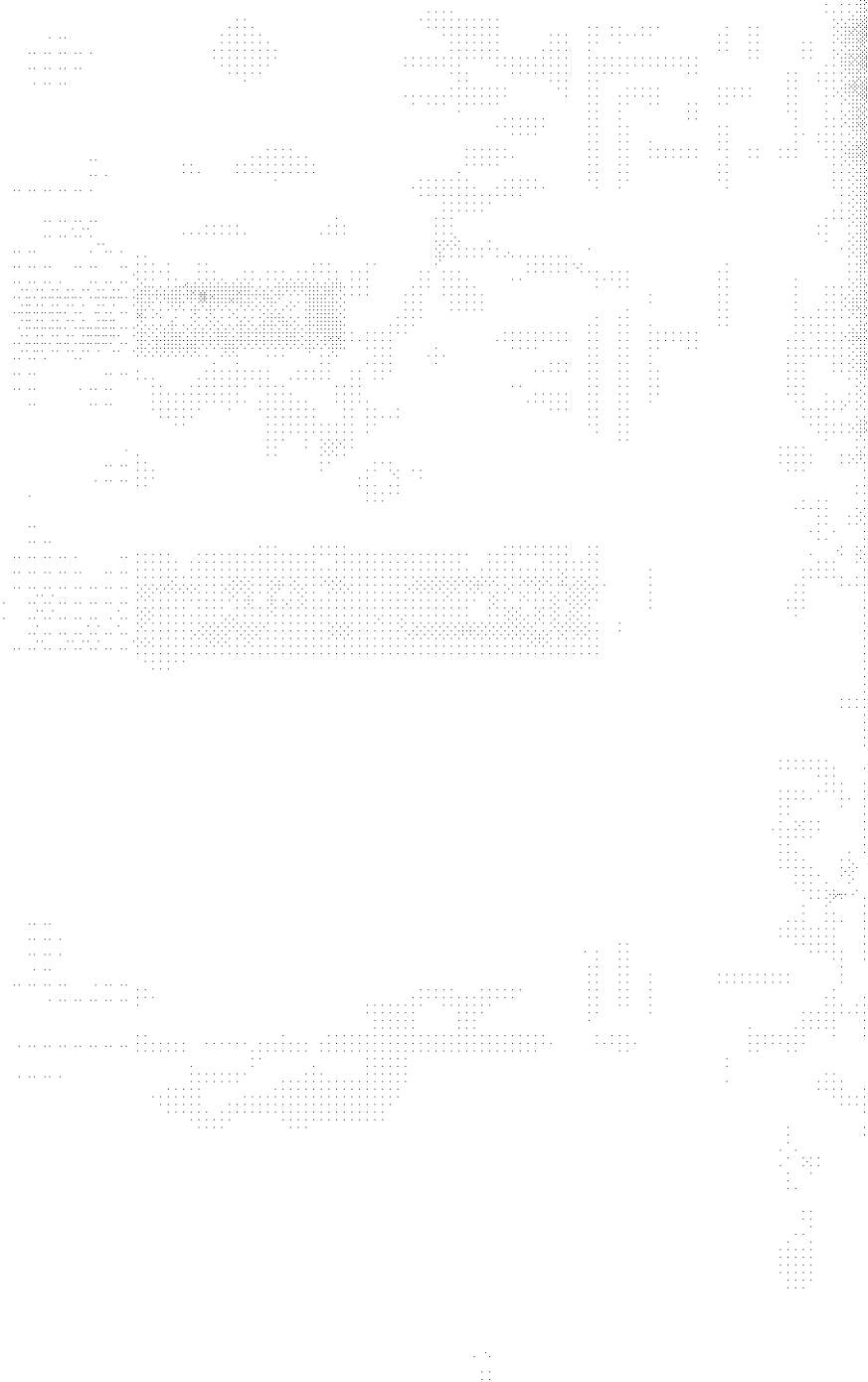
Наконец, следует упомянуть новую возможность некартографического вывода, становящуюся все более популярной — фотоснимки. Недаром говорят, что лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать. Эти изображения могут быть получены сканированием обычных фотографий, съемкой цифровыми фотоаппаратами, оцифровкой отдельных кадров видеосъемки. Они позволяют показывать здания, характер местности, образцы растений и животных. Такие изображения, хранимые в атрибутивной БД, помогают существенно улучшить понимание того, что представлено на карте. Как и в

прочих случаях, не стоит злоупотреблять этой возможностью, так как для хранения снимков требуется нередко значительное дисковое пространство, а сами изображения по своей природе способны отвлекать внимание зрителя от карты, к которой они являются всего лишь иллюстрациями. То есть, использовать их нужно лишь тогда, когда они действительно добавляют нечто уместное и важное к основному выводу.

## Вопросы

1. Почему важно знакомство с картографическим дизайном в ГИС? Почему это даже более важно для ГИС, чем для традиционной картографии?
2. Какова главная забота при создании карты в результате анализа в ГИС? Чем это дело отличается от карты как формы искусства?
3. Приведите отличный от приведенного в книге конкретный пример того, как могут конфликтовать интеллектуальные и эстетические соображения. Укажите, как можно было бы решить эту задачу.
4. Почему, несмотря на доступность компьютера и графических программ, процесс дизайна карты следует начинать с карандаша и бумаги?
5. Продемонстрируйте на конкретных примерах три основных принципа дизайна.
6. Покажите на примерах, какие ограничения дизайна возможны в картографическом выводе ГИС.
7. Приведите пример того, как слишком большой объем данных может создать проблемы в дизайне карты. Приведите примеры проблем при недостатке данных.
8. Какие параметры дизайна влияют на создание качественного трехмерного картографического вывода?
9. Приведите как можно больше примеров полезного применения анимации картографического вывода.
10. Что такое картограммы? Почему сегодня они не являются общепотребительными в среде ГИС? Когда они могут оказаться полезными в качестве вывода результатов анализа в ГИС? Приведите примеры.
11. Перечислите некоторые типы некартографического вывода. Подумайте о том, когда вы могли бы принять решение о замене или дополнении имеющейся карты.
12. Каковы основные вопросы дизайна для создания и использования графиков в качестве вывода ГИС?







## Глава 15

### Проектирование ГИС

Наше путешествие в мир геоинформатики подходит к концу. Мы прошли путь от представления географических объектов в цифровой форме до организации их в сложные модели, от ответов на простейшие вопросы до комплексного анализа множественных покрытий. Наш географический фильтр расширился, — теперь мы имеем гораздо больше возможностей для концептуализации, регистрации и анализа нашего окружения и представления результатов этого анализа. И теперь мы не только можем сами использовать полученные знания, но и показывать другим полезность компьютеризированной географии в широком спектре исследований. Эти знания пригодятся нам в новых путешествиях, в серьезных приложениях реального мира, и в данной главе мы рассмотрим, как следует планировать каждый проект, чтобы он был успешным.

Главная тема главы — проектирование: выбор инструментария, определение объектов и их отношений, выбор области исследования, оценка данных, — все, что нужно для построения работоспособной ГИС. Важность хорошего проектирования очевидна: большинство проблем с неработоспособными или плохо работающими ГИС проистекают из некачественной разработки. Система не даст ожидаемых результатов при плохо организованных данных, некорректных моделях данных или ограничениях функциональности программного обеспечения; иногда менеджеры системы недооценивают временные затраты, необходимые для создания БД.

С другой стороны, качественно спроектированная система может использоваться не на полную мощность, либо из-за ее сложности, либо просто из-за незнания персоналом всего потенциала системы. Первоначально полезные системы могут потерять свою актуальность из-за старения программного и аппаратного обеспечения, данных или методики работы, которые снижают гибкость системы в изменяющихся условиях. Наконец, возможны случаи провала из-за изменения организационной структуры в связи с внедрением новой технологии в среду, основанную на ручной работе. Многое из того, что мы можем сказать о хороших системах, узнается на опыте неудачных систем, — подобно тому, как успех в бизнесе зависит от способности учиться на чужих ошибках.

Хотя некоторые ГИС создаются для внутреннего использования организацией-разработчиком, большинство систем создается на заказ, для других организаций, использующих их в своей работе. По этой причине мы уделим основное внимание организационной стороне проектирования ГИС. Другая причина в том, что успешность системы в научно-исследовательском окружении во многом основана на тех же критериях, что и успех в коммерческой среде. Если вы можете создать систему, работоспособную в условиях финансово-чувствительной коммерческой среды, то сможете достичь успеха и в других обстоятельствах. Успех проекта зависит не только от знания моделей данных и алгоритмов, но и от умения организовать работу для сборки их в нечто единое и подчиненное конечной цели системы, в чем знание теории бизнес-ориентированных систем и исследования операций может быть не менее ценным, чем навыки географа. Так что, закончив эту главу, следует не почивать на лаврах, а продолжать начатое путешествие.

## ЧТО ТАКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИС?

Первые ГИС стали появляться в 1960-х годах. Одни из них создавались в целях эксперимента в университетах, другие — как оперативные системы, подобно большинству создаваемых сегодня систем. Большинство из них не имели успеха: в одних случаях они вообще не работали как аналитический инструмент, в других — давали ошибочные результаты, в третьих — просто зависали.

Такие системы не выжили главным образом потому, что были плохо спроектированы как *программные* системы. Однако сегодня можно наблюдать все большее число успешно работающих пространственно-аналитических средств, которые могут и не быть чисто географическими информационными системами, но выполняют свои задачи эффективно и за умеренную цену.

Большинство проблем, связанных с ГИС сегодня, — не технические. На самом деле, современный уровень возможностей программ существенно превосходит требования сообщества пользователей, особенно в коммерческих приложениях. Главная проблема — частое несоответствие возможностей программного обеспечения и нужд пользователей: в данных, в анализе, в обучении, в признании пользователями.

К сожалению, проблемам разработки до сих пор уделяется недостаточно внимания. Поэтому мы и рассмотрим проектирование ГИС, в основном как вариант общей разработки программного обеспечения, который может быть полезным для создания успешной ГИС.

## НЕОБХОДИМОСТЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИС

Проектирование не является гарантией успеха, недостижение которого может быть следствием и других причин, например, неадекватного маркетинга. Но в большинстве случаев оно позволяет увеличить шансы на успех.

Конечно, ошибки в программах обычно не так опасны, как ошибки в ракетных двигателях, но действие их может быть незаметным, а поэтому более коварным, как в смысле обнаружения их присутствия, так и поиска того места программы, в котором кроется ошибка. Ошибки могут приводить к зависанию компьютера и потере данных. Воздействие даже одной простой ошибки может быть существенно усилено огромным количеством последующих операций над испорченными данными, и это распространение может продолжаться довольно долго, пока не будет обнаружено явное расхождение ожидаемого и получаемого. Значение проектирования геоинформационных систем особенно велико, поскольку они относятся к разряду наиболее сложных коммерческих программных систем.

Даже если вычислительная точность соблюдена и данные введены без ошибок, нельзя забывать о существовании различных групп потенциальных пользователей и специфике задач, решаемых этими группами.

В связи с этим мы должны понимать, что, особенно в многопользовательской организации важно учесть потенциальных пользователей на стадии проектирования. Так, например, системы в общественном секторе создаются для ответов на запросы о довольно больших территориях, таких как районы, области, регионы. Тем не менее, вы можете обнаружить, что многие государственные организации разрабатывают крупные базы данных без особой консультации или взаимодействия с другими заинтересованными сторонами. Такой близорукий подход дублирует усилия, приводя к ненужному расходу времени и денег [DeMers and Fisher, 1991]. Проблема — в незнании других потенциальных пользователей тех же самых БД. Многие ГИС разрабатывались без предварительной оценки использования системы или вообще без указания потенциальной клиентуры. В качестве примера можно привести Региональную программу оценки окружающей среды на основе спутниковых данных, запущенную в штате Северная Дакота в 1970-х годах, когда стала очевидной полезность в оценке окружающей среды с применением данных со спутников *LANDSAT*. Хотя идея имела хорошее научное обоснование, клиентуры для использования результатов программы не существовало, что привело в конце концов к прекращению государственного финансирования этой программы.

Касаясь второго вопроса — удовлетворения системой потребностей пользователей, — мы рассматриваем главным образом возможности

программного обеспечения, требования к данным и соответствие задачам организации. Первые два пункта указывают на то, что знание функциональных возможностей системы и конструирования баз данных очень важно для долговременного функционирования ГИС. Перед тем, как будет приобретена ГИС с ее моделью данных и аналитическими способностями, должны быть четко определены потребности клиента в обработке пространственных данных. Например, задачи учета земель легче решаются с использованием векторной модели данных, тогда как задачи поверхностного моделирования или постоянного обновления данных на основе космоснимков могут быть легче удовлетворены системой с растровой моделью данных. В обоих случаях требования обработки данных диктуют тип используемой системы и ее аналитические возможности.

Иметь соответствующие задачам организации данные и программы — еще не всё. Система должна также соответствовать профилю работ организации и ее персоналу. Как сами ГИС различаются по тому, что и как они делают, так и организации, использующие ГИС, различаются в своей деятельности. Университетская среда будет скорее всего местом сложных экспериментов на грани возможностей ГИС. Кроме того, там часто меняются исследуемые вопросы, а данные системы и аналитические потребности весьма переменчивы или едва определены [Burrough, 1986]. Частая смена персонала с различным уровнем подготовки, бюджетные ограничения, сроки выполнения исследовательских программ, — все это требует определенных параметров от университетской ГИС. Напротив, коммерческие организации имеют больше денег, более стабильный персонал, более определенные и более узкие рамки приложений. Кроме того, аналитические возможности могут быть менее широкими по сравнению с институтами. Организации, финансируемые государственными органами, имеют потребности в данных и анализе, вытекающие из их полномочий.

Бэрроу [Burrough, 1987] дает отличный набор общих идей, связанных с работой ГИС в этих различных средах. И хотя такие обобщения создают хороший фундамент для принятия решений, немногие организации полностью вписываются в данную структуру. Следует учитывать, что каждая организация уникальна и должна рассматриваться именно так для наилучшего использования ГИС. Эта точка зрения позволяет нам также считать организацией наш собственный проект, особенно если он выполняется группой людей, занятых лабораторной работой, независимым исследованием или работой по гранту.

## ВНЕШНИЕ И ВНУТРЕННИЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИС

Прежде всего нам нужно договориться о терминах. Рисунок 15.1 показывает, что процесс проектирования в целом распадается на две основных составляющих — системное проектирование и проектирование программного обеспечения.



Рисунок 15.1. Процесс проектирования ГИС.

Проектирование программного обеспечения требует досконального знания структур данных, моделей данных и программирования. Эта работа относится к наиболее высоко оплачиваемым в данной профессии и требует соответствующей компьютерной технической или научной степени вдобавок к знанию основ ГИС. Но нашим главным интересом является второй вопрос.

Системное проектирование рассматривает взаимодействие отдельных людей, групп людей и компьютеров внутри организаций [Yourdon, 1989]. Этот аспект расширяет определение того, что такое ГИС. Это не только вычисления. Это также влияние внедрения системы на людей, на то как они выполняют свою работу, и как это, в свою очередь, влияет на функционирование самой организации. Автомобильная промышленность прошла путь от индивидуальной сборки автомобилей через конвейерное производство до внедрения роботов. Геоинформационные системы, как многообещающая технология, могут оказать сходное влияние на коммерческие, государственные и научные организации. Подобно тому, как компьютерные программы редактирования текста и справочные системы библиотек радикально изменили способ написания научных статей, так и ГИС фундаментально изменяют работу организаций, специализирующихся

на анализе пространственных данных. Внедрение новой технологии требует дополнительного обучения персонала, денег на приобретение программного и аппаратного обеспечения, оно изменяет потоки информации внутри организации и, следовательно, изменяет структуру самой организации. И теперь, когда появляется всё больше крупных БД, мы должны уделять больше внимания целостности и качеству данных, а доступ к ним многих пользователей поднимает актуальность мер безопасности и контроля качества внутри организации.

Системное проектирование ГИС может быть разделено на две взаимодействующие части: **техническое проектирование (technical design)** (внутренние вопросы) и **организационное проектирование (institutional design)** (внешние вопросы). Внутренние вопросы чаще всего относятся к функциям системы и БД. Будет ли система работать так, как это требуется? Сможем ли мы получить ответы на вопросы, на которые нам нужно получить ответ? Имеются ли у нас данные в нужном формате? Есть ли у нас сотрудники, имеющие должную подготовку для эксплуатации системы? Сможет ли она меняться при изменении наших потребностей? Таковы некоторые наиболее общие вопросы технического проектирования. Организационные вопросы включают следующие: Имеем ли мы достаточно финансирования для обеспечения длительного функционирования системы? Можем ли мы получить данные за приемлемую цену? Нужно ли нам привлекать прикладных программистов для адаптации программного обеспечения? Получим ли мы достаточную поддержку от поставщиков программ? Будем ли мы нести ответственность на основании закона за ошибки в нашем анализе? Учтены ли цели, находящиеся за пределами окончания выполнения анализа в ГИС? Все эти вопросы важны для организационного проектирования.

Техническая сторона проектирования не может быть отделена от организационной. Даже прекрасная с технической точки зрения работа ГИС должна считаться неудачей, если мы теряем поддержку нашей организации или внешнего спонсора. Причины могут быть самыми разными, в том числе и мнение руководства о чрезмерности расходов на ГИС. И конечно, если ваша система не может дать ответы на задаваемые вопросы, поддержка организации может быть очень быстро утрачена.

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

Новая дисциплина, называемая **разработкой программного обеспечения (ПО) (software engineering)**, появилась в информатике относительно недавно. Проблемы в создании различных программ часто аналогичны тем, что возникают на стадии реализации ГИС. Целью разработки ПО является

создание программ, успешно решающих или помогающих решать задачи, которые прежде выполнялись вручную. В качестве примера можно привести текстовый редактор. Он должен позволять набирать и редактировать текст, проверять правописание, вставлять в текст иллюстрации, изменять шрифт, выводить текст на печать. Ранние программы имели лишь часть этих функций, в то время как сегодня все они являются стандартными для большинства программ редактирования текста. Как показывает этот пример, главная задача — не просто написать хороший программный код, но прежде всего знать, что именно кодировать.

При реализации ГИС, перед началом процесса, мы также должны понять потребности пользователя, включая потребности в анализе, обучении, соответствии применяемых аналитических методов общим целям организации. Перед началом написания программного кода мы, как проектировщики ГИС, должны подготовить информацию по структурам данных и моделям, программам, имеющим нужные аналитические возможности при наименьшей цене, системе, наиболее соответствующей целям организации, и требованиям обучения персонала.

## Принципы проектирования систем

Среди первых идей, возникших в области проектирования систем была идея жизненного цикла проекта (project life cycle). В большинстве организаций одновременно выполняются несколько проектов. Для каждого проекта мы должны решать, что и когда должно делаться, и кто ответственен за исполнение. Поскольку каждый проект имеет начало, середину и окончание (как мы надеемся ;-), мы можем сказать, что он имеет жизненный цикл, который, в свою очередь, диктует действия и организационную структуру, ведущие к успешному завершению. Если вы работаете над одним-единственным проектом, главные принципы останутся теми же, хотя детали и различаются.

Возможен существенно иной подход к реализации проекта, с иным стилем руководства, иными задачами и другим типом участвующего персонала. Жизненный цикл такого проекта часто развивается в очень гибкой обстановке. Это в особенной степени относится к исследовательским проектам, в которых цели могут меняться в зависимости от промежуточной информации. Организации, больше ориентированные на бизнес, обычно используют более формальный и структурированный подход. При большой длительности проекта или частой смене персонала может быть полезным изменение структуры жизненного цикла проекта для учета нужд новых работников, их роли в проекте.

Выполняете ли вы проект самостоятельно, внутри небольшой группы или

внутри большой организации, должна быть установлена методика выполнения, обеспечивающая успешное завершение работы. В качестве простого примера жизненного цикла проекта можно привести курсовую работу. Она может потребовать полевой работы, вычислений, анализа, обзора литературы, подготовки результатов, написания. Вы не начинаете (я надеюсь) с написания, пока не завершите подготовительных этапов, — нужен определенный порядок выполнения для достижения конечного результата. Если вы выполняете работу в одиночку, то может быть достаточным определение подзадач и порядка их решения. В условиях многих взаимосвязанных проектов должны быть решены две другие задачи, которые вместе с первой можно формализовать так:

1. Определить действия в проекте и последовательность их выполнения.
2. Согласовать данный проект с другими проектами организации.
3. Определить точки принятия решений о запуске и остановке отдельных этапов проекта.

Важно отметить, что жизненный цикл проекта — только общая его основа, главные решения принимает руководитель. Многие важные аспекты работы организации (внешняя конкуренция, поддержка работников, обеспечение здоровой атмосферы и т.д.) относятся, в принципе, к компетенции руководителя. Жизненный цикл проекта обеспечивает ориентиры для поддержки принятия правильных решений в должное время [Yourdon, 1989].

## Линейная модель разработки системы

Среди первых методов реализации жизненного цикла проекта была линейная модель (waterfall model) проектирования системы [Boehm, 1981; Royce, 1970] (Рисунок 15.2). Возможны различные состав и число шагов, которые в целом покрывают: определение требований пользователя, определение функциональных потребностей, системный анализ, детальное проектирование, тестирование отдельных модулей, подсистем и системы в целом.

Линейная модель обеспечивает упорядоченное движение от анализа требований до ввода информационной системы в эксплуатацию. Обычно она проходит от концептуального проектирования через проектирование программ и написание кода до отладки и окончательного тестирования. При разработке ГИС с использованием линейной модели имеются некоторые проблемы. Поскольку модель требует завершения каждого этапа перед началом следующего, любая задержка на одном этапе замедлит создание всей системы [Yourdon, 1989]. То есть, в контексте ГИС, мы не сможем начать ввод данных, пока не получим все требования пользователя. Хотя это требование кажется вполне обоснованным, новые требования часто



обнаруживаются в самом конце этапа их определения, и многие дни или недели, которые могут использоваться для ввода данных, будут потеряны в ожидании абсолютной уверенности, что все требования известны.



Рисунок 15.2. Линейная модель жизненного цикла системы.

Другой проблемой данного метода является его линейность. Хотя нам желательно последовательное развитие нашей ГИС, почти каждая реализация сталкивается с трудностями. И, как оказывается, легче внести поправки в несовершенную систему, которую уже видели в работе, чем предсказать все возможные проблемы до начала реализации проекта. Вы, конечно, знаете, что гораздо легче написать черновик и отредактировать его, чем сразу написать целую курсовую работу. Кроме того, клиенты часто пренебрегают важными деталями до начала работ или открывают новые применения ГИС по мере наблюдения за реализацией системы.

Может также измениться ситуация с финансированием, в результате чего к проекту могут быть предъявлены иные требования или урезаны дорогостоящие части системы. Следуя линейной модели, мы будем скорее

всего иметь завершенную или почти завершенную систему как раз тогда, когда обнаружим, что нужно добавить что-то еще или устранить сделанные на прежних этапах ошибки.

## Мифический человеко-месяц

Ошибки, обнаруживаемые после завершения системы могут показаться не такими уж важными. Но допустим, что мы создали работоспособную систему для внешнего заказчика, и теперь занимаемся другими проектами. Через несколько месяцев звонит клиент и сообщает, что ГИС не позволяет преобразовывать дорожные мили в мили расстояния на карте. Оказывается, что мы забыли включить в программное обеспечение функцию, выполняющую эту операцию. А тем временем, люди, занятые в этом проекте, точнее наши эксперты по транспорту, сменили место работы. Но наша компания остается ответственной за обеспечение недостающей функции. Подумайте о возможных последствиях этой ситуации, которая легко подпадает под заголовок идеи "мифический человеко-месяц", выдвинутой Бруксом [Brooks, 1975].

В простейшей форме эта идея утверждает, что ошибка в одну денежную единицу на первом этапе обойдется в сумму от 400 до 4000 единиц на пятом этапе.

Другими словами, ошибки, которые могли быть легко исправлены вначале, вызывают значительные трудности на более позднем этапе. Наиболее распространенным ответом на такое несчастье является "денежное влияние". Таким образом, ответом на нехватку транспортного модуля для ГИС нашего клиента могло бы быть выделение большой группы людей на решение этой задачи. Однако, как предсказывает Брукс, это просто не сработает, эти люди скорее всего не будут знакомы с данным проектом, и ни один из них не будет иметь опыта построения транспортных модулей. Следовательно, нужно потратить время на обучение. Это не только неэффективный способ работы с людьми, но и приостановка других проектов. И пока мы пытаемся срочно повысить компетенцию работников для разработки транспортного модуля, клиент не может выполнять некоторые задачи, для решения которых ГИС приобреталась.

Концепция мифического человеко-месяца может применяться и в научных приложениях. Поскольку цели в таком случае часто плохо определены, а также из-за быстрой смены работников-студентов, строго модульный и линейный подход к проектированию часто оказывается неэффективным. Ниже мы рассмотрим возможную альтернативу.

## Некоторые общие характеристики систем

Имеем ли мы дело с программной системой или ГИС-проектом, чем более они специализированы, тем менее приспособляемы для решения новых задач. Разрабатывая, например, ГИС для работы с ДДЗ, вы скорее всего воспользуетесь моделями данных и методами, специфичными для раstra. Если же в дальнейшем вы решите включить модель гравитации, использующую векторные данные, инструментарий вашей системы не будет соответствовать новым задачам, и вам придется добавить к ней возможности работы с векторными данными и провести обучение пользователей. Это в чем-то похоже на создание новой системы и помещение ее рядом с уже существующей.

Размер системы тесно связан с количеством используемых ресурсов, — чем больше система, тем больше ресурсов нужно для ввода данных, их анализа и администрирования, устройств для вывода результатов, управляющего персонала, следящего за многими этапами анализа.

К счастью, системы могут быть разбиты на составляющие части, каждой из которых можно управлять по отдельности, подобно отдельному проекту. Это другая характерная черта систем, имеющая первостепенную важность для крупных систем. С ней сильно связана также идея о том, что многие системы, возможно даже, большинство, имеют тенденцию расти.

Поэтому, даже если ваша ГИС первоначально выполняла лишь несколько аналитических задач, по мере роста знаний, мастерства персонала и признания полезности системы управляющим звеном и клиентами, система должна будет расти для соответствия изменившимся условиям. В действительности, чем успешнее ее работа, тем больше вероятность роста. Нужно помнить и том, что успех проекта часто достигается умением "преподнести" его заказчику и спонсорам. Большинство коммерческих систем служат многим людям, следовательно, имеет значение знание их организационного окружения.

## ОРГАНИЗАЦИОННОЕ ОКРУЖЕНИЕ ГИС

Ни одна ГИС не работает "в вакууме". Выполняя свою работу, вам приходится учитывать интересы других пользователей системы, выполняющих свои проекты, или координировать свои собственные усилия с коллегами по проекту. При внешнем финансировании нужно учитывать цели и задачи спонсора. Программное и аппаратное обеспечение часто также поступают со стороны. Как видите, в большинстве проектов имеются многие участники, как внутренние, так и внешние.

## Связь между системой и внешним миром

Рисунок 15.3 иллюстрирует упрощенную модель отношений между ГИС (система) и внешним миром. Внутри системы происходит взаимодействие между людьми, ответственными за повседневную работу ГИС, с теми, кто эксплуатирует систему, и теми, кто отвечает за управление проектом. Это показано на рисунке двухсторонней внутренней стрелкой. Остальные стрелки показывают связи с внешним миром. Теперь определим участников и их взаимодействие.

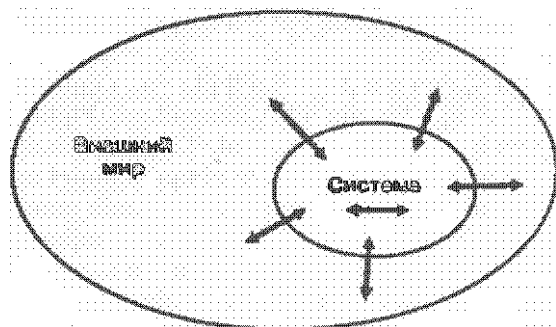


Рисунок 15.3. Внутренние и внешние участники.

### Внутренние участники

Система включает три основные группы участников, каждая — со своими задачами.

**Пользователи системы** — те, кто используют ГИС для решения пространственных задач — обычно хорошо разбираются в ГИС, хотя возможно, в какой-то одной системе. Их основные задачи это оцифровка, проверка ошибок, редактирование, анализ исходных данных, получение ответов на запросы. Пользователям системы обычно требуется дополнительное обучение вследствие значительных изменений как в программном обеспечении, так и в требованиях к системе на выполнение анализа. В большинстве работ эта группа — наименее постоянная, в нее часто входят новые сотрудники, замещающие тех, кто перешел на другие должности.

**Операторы системы** ответственны за ее ежедневную работу, чаще всего они решают задачи, позволяющие пользователям системы работать наиболее эффективно. В их обязанности входит устранение неполадок при зависаниях программ, или когда сложность анализа требует дополнительных ресурсов. В большинстве случаев они также отвечают за обучение пользователей. Это

подразумевает, что операторы системы часто имеют опыт работы пользователей. Они знают как аппаратуру, так и программы, чтобы быть в состоянии производить их обновление. Вдобавок к функциям администраторов системы они часто являются и администраторами баз данных, следя за правами доступа и целостностью БД.

И пользователи и операторы системы действуют в рамках большей организации, часто называемой спонсором системы. Спонсор выделяет финансирование для приобретения аппаратного и программного обеспечения и выплаты зарплаты. Он обеспечивает также политическую жизнеспособность системы. Иными словами, если нет достаточно крупной организации, то, вероятно, нет и ГИС. Спонсором системы может быть исследовательская группа университета, получившая грант для реализации проекта, или государственная организация, которой ГИС требуется для своей работы, или коммерческая организация, которой ГИС нужна для работы с клиентами. Финансирование и обеспечение жизнеспособности системы требуют, чтобы спонсор предпринимал долгосрочное планирование.

## **Внешние участники**

Поскольку в большинстве установленных сегодня систем используется покупное программное обеспечение, нашим первым внешним участником будет поставщик ГИС, специализирующийся на разработке и распространении ПО ГИС одного или нескольких типов, а также его сопровождении и обновлении. Поставщики ПО могут работать совместно с поставщиками аппаратного обеспечения, для создания систем "под ключ". Во многих случаях поставщик обеспечивает и обучение персонала работе с системой, которое может проводиться силами специализированных учебных центров, сотрудничающих с поставщиками.

Поставщики данных, второй внешний участник в мире ГИС, могут быть частными или государственными (общественными) организациями. Частные компании поставляют самостоятельно сгенерированные данные или данные из общедоступных источников, модифицированные для конкретного пользователя (например, преобразованные в нужный пользователю формат). Частные компании чаще всего являются коммерческими, то есть поставляют данные с добавленной стоимостью.

Государственные агентства поставляют данные для больших участков или всей территории страны. Во многих случаях эти данные создаются ими для их же использования, но при этом могут поставляться также и внешним пользователям, обычно за некоторую цену, но для некоммерческого использования данные могут поставляться и бесплатно. Некоторые источники данных можно найти в Приложении 1.

Еще одна группа внешних участников — разработчики приложений — становится все более значимой по мере роста сложности программного обеспечения ГИС. Они являются опытными программистами, создающими пользовательский интерфейс для уменьшения потребности в опытных специалистах по работе с ГИС при выполнении каждодневных задач. Во многих случаях программирование ведется на макроязыках, поддерживаемых поставщиками ГИС для разработки приложений, избавляющими от необходимости использования традиционных языков программирования\*. В прошлом большинство разработчиков приложений были внутренними участниками (прикладными программистами), имеющими многолетний опыт работы с ПО ГИС и знающими его аналитические возможности. Сегодня же их функции отходят множеству фирм, специализирующихся на создании приложений на заказ. Помимо прочего, это позволяет снизить расходы на обучение новых пользователей системы за счет более низких требований к знанию того, что скрыто за интерфейсом.

Наконец, есть системные аналитики ГИС. Эти внешние участники специализируются на проектировании систем. Чаще всего они являются частью группы профессионалов, ответственных за определение целей и задач системы внутри организации, "тонкую настройку" системы для обеспечения ею необходимых аналитических методов, гарантированную интеграцию системы в рамках организации. Короче говоря, системные аналитики действуют как штурманы для организаций, использующих ГИС. Обычно они предоставляются консультационной фирмой, специализирующейся на реализации ГИС для заказчиков, но могут быть и работниками компании-поставщика ГИС.

## СТРУКТУРИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

### Техническое проектирование

В общем виде, мы разделили процесс проектирования ГИС на разработку программного обеспечения и проектирование системы (Рисунок 15.1), которое может быть далее разделено на техническое и организационное проектирование.

Техническое проектирование включает две части: функциональность системы (операции) и БД системы (данные). Первая часть связана главным

\* В настоящее время наблюдается обратная тенденция — расширение использования универсальных языков программирования для создания приложений ГИС, обусловленная развитием стандартных сред визуальной разработки приложений. Это избавляет программистов от необходимости изучать язык каждой системы, а также облегчает интеграцию ГИС с другими программными средствами. — *прим. перев.*

образом с выполнением тех видов анализа, которые система должна обеспечивать. БД системы это набор электронных карт и соответствующих компонентов, над которыми интерактивно работают программное обеспечение и персонал для реализации целей проекта.

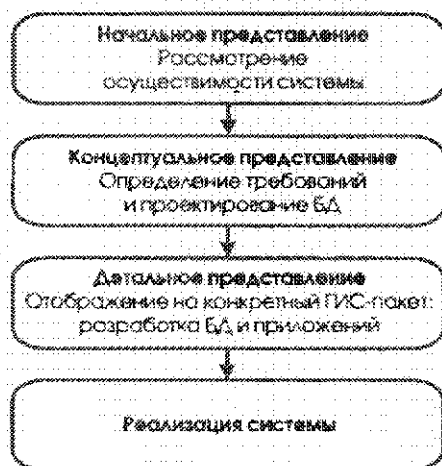


Рисунок 15.4. Упрощенная модель проектирования ГИС.

Любой проект содержит движение от концептуального уровня к детальному и далее — к уровню реализации (Рисунок 15.4) [Marble, 1994]. При продвижении от этапа концепции к этапу реализации растет уровень знания функциональности и БД, и наоборот, до того, как станут ясны детали, нам нужно выработать концепцию (идею) системы и найти способ ее реализации. Тщательное концептуальное проектирование — важный первый шаг в создании любой хорошей ГИС.

## Концептуальное проектирование

Мы начинаем проект, делая самые общие утверждения о том, что система должна делать, какие задачи решать, об общих типах данных и т.д. Хорошее концептуальное представление позволяет планировать дальнейшее развитие и изменение системы. Но в отличие от линейной модели, концепция должна быть достаточно гибкой для учета предстоящих изменений в целях, доступности данных, персонале и требованиях управления. Таким образом, на стадии концептуального проектирования существенной является

независимость от конкретного ГИС-пакета, так как выбранное ПО может ограничить нашу свободу в определении целей вследствие собственных ограничений функциональности и используемых в ней моделей данных.

При концептуальном проектировании определяется общий вид всей системы и ее потребности в данных. Если по какой-либо причине требования изменятся, то в это время мы сможем изменить общий вид. Вместо использования концептуального представления как жесткой структуры мы используем его как стартовую точку для выбора начального направления, что позволит нам ставить в дальнейшем адекватные вопросы. Вдобавок к независимости от программного обеспечения, концептуальное представление позволяет нам определить все возможные источники получения данных. Хотя ГИС не должна быть движима исключительно лишь данными, ее функциональность и даже жизнеспособность могут в значительной степени определяться доступностью, ценой и качеством данных для решения поставленных задач. Это значит, что нам может потребоваться использование разнородного ПО или выдвижение предложения об изменении бюджета проекта для приобретения дополнительных данных. Возможно даже, что мы поймем, что ГИС не является практически осуществимым или жизнеспособным решением для данной организации.

## Психологические проблемы внедрения ГИС

Главным препятствием при внедрении любой информационной технологии, будь то текстовые процессоры, бухгалтерские системы или ГИС, является психология людей. Они нередко оказываются причиной низкой отдачи от вложений организации в это новшество, что чаще всего обусловлено фундаментальными изменениями в работе. Даже простые текстовые редакторы могут обескуражить людей, не знакомых с работой на компьютере и привыкших к пишущей машинке. Они будут сопротивляться всякой попытке внедрения компьютеров в их работу. Хотя, конечно, есть и такие, кто активно приветствует автоматизацию деятельности. Аналогичная проблема возникает при внедрении покупной бухгалтерской системы, созданной без внимания к людям, которые должны использовать ее ежедневно.

Хотя программа сама по себе может быть пригодна для выполнения возложенных на нее задач, надо учитывать, что с ней должны работать люди. Те же, кто ожидает, что компьютер должен выполнять все основные задачи точно также, как они делали это до его внедрения, могут прибегать к прежним методам, пока система не будет изменена, или пока они не найдут себе другое место работы.



Даже если ПО соответствует потребностям отдельных пользователей, оно не может гарантировать немедленного одобрения. Требуется некоторое время на его освоение, в течение которого возможно снижение производительности работы организации. Таким образом, обучение имеет две стороны: персонал должен иметь желание и возможность учиться использовать систему, а организация должна обеспечить соответствующее обучение.

Наконец, есть еще одна проблема. Часто в организации есть люди или группы людей, знания и опыт которых гарантируют им их место работы. Но, поскольку ГИС, как и любая информационная технология, открывает двери для свободного потока информации и, по сути, позволяет многим другим решать задачи этих людей, они могут воспротивиться ослаблению их власти и, следовательно, внедрению системы. Эта причина часто объясняет трудности внедрения ГИС во многих организациях.

## **Вопросы стоимости и отдачи**

Помимо желания персонала работать с системой необходимо еще желание администрации вкладывать деньги в ее создание и внедрение. Для этого администрация должна быть убеждена, что эффект оправдывает вложения. В целом, управленцы считают, что нет надежного способа определения возврата инвестиций. Мало известно заранее о точной стоимости реализации ГИС и еще меньше — об экономическом выигрыше от этой реализации. Это отчасти объясняется тем, что число и сложность карт, которые вводятся в систему, радикально изменяются. Кроме того, поскольку на разработку БД уходит большое время, отдача в начальный период от этих вложений часто минимальна. В этом случае руководство организации должно быть уверено, что долговременные преимущества все-таки существуют. Среди наиболее успешных способов убеждения администрации является указание на положительный опыт внедрения ГИС в подобных же организациях. Другой вариант — узнать требуемое спонсором отношение отдача/цена и попытаться “вписаться” в него [Tomlinson, n.d.]. В таком перестраховочном подходе цена специально завышается, чтобы избежать на стадии реализации превышения объявленной стоимости.

## **Модели требований к данным и к приложениям**

Структурированное техническое проектирование может быть двух видов. Модель потребностей данных (data requirements model) основана на идее, что наличие определенных данных влияет на то, какой анализ можно провести. Модель обычно проходит этапы концептуального, логического (логические

связи между данными) и физического проектирования БД. А модель потребностей приложений (application requirements model) основана на той идее, что система движима анализом, который она должна выполнять. Эта модель идет от общего функционального анализа к проектированию приложений более высокого уровня и проработке конкретных деталей выполнения анализа. Но поскольку данные и приложения взаимосвязаны, ГИС лучше представлять движимой обоими этими факторами\*.

## ФОРМАЛИЗОВАННАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИС

Предпринимались несколько попыток создания и совершенствования моделей проектирования ГИС, начиная с той, что была разработана после тщательной оценки реализации одной системы [Calkins, 1982], которая была в дальнейшем усовершенствована в связи с ростом объема литературы по административно-информационным системам (MIS) [Johnson, 1981]. К тому времени были разработаны уже несколько систем поддержки разработки ПО, которые могли сразу же использоваться в области ГИС, с оговоркой, что проектирование ГИС фокусируется не только на программах, но и на базах данных, с которыми программы работают, причем с учетом организационного контекста для тех и других.

### Спиральная модель: Быстрое создание прототипов

На основе одного из подходов к разработке ПО [Boehm, 1981, 1986, 1988] был разработан и реализован гибкий многоуровневый процесс проектирования. Эта спиральная модель [Marble, 1994] выделяет три уровня детальности и три задачи проектирования ГИС: сбор, организацию и анализ информации (Рисунок 15.5). Первый уровень — начальная модель — наиболее общая основа обсуждения реализуемости ГИС. Второй уровень — концептуальная модель — включает анализ потребностей и первые обсуждения проектирования БД. Третий уровень — детальное проектирование — занимается вопросами конкретного ПО для реализации системы.

В начальной модели создается блок-схема, показывающая отдельные задачи этого процесса. Каждый блок этой модели имеет несколько более детальных уровней. Концептуальная и детальная модели также имеют несколько уровней детализации. Объяснение всех трех подмоделей больше подходит для последующих курсов по геоинформатике и детально описано в книге автора этого метода. Здесь же мы рассмотрим только начальную

\* Известная формула Вирта "программы = алгоритмы + данные" — *прим. перев.*

модель и общие вопросы движения по спирали.

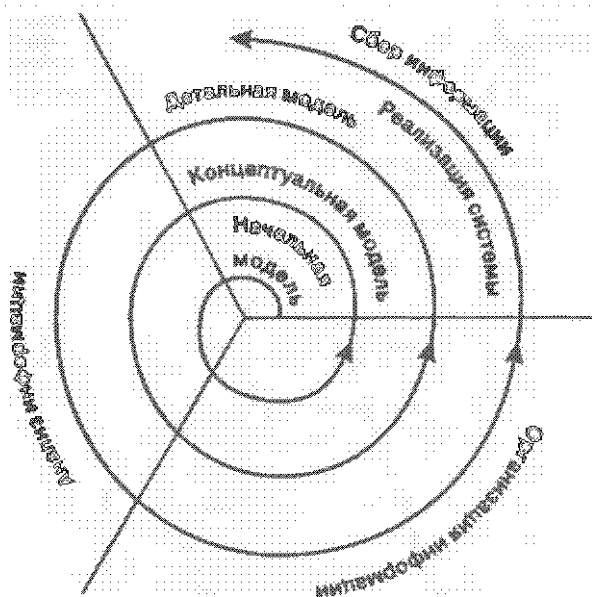


Рисунок 15.5. Спиральная модель проектирования ГИС.

Рисунок 15.6 показывает последовательность принятия решений. На первом шаге информация от клиента используется для определения целей организации, ибо реализация ГИС, не отражающая понимание общих целей организации, возможно, выраженное как декларация производимых продуктов и услуг, не будет принята администрацией. Второй шаг (1.1.2) — определение того, что должна делать ГИС. Часто это трудно сделать для некоторых потенциальных пользователей, чей интерес к ГИС происходит от высокой оценки данной технологии в деловых кругах. Многие интересуются ГИС лишь потому, что кто-то еще использует ГИС. В этот момент мы должны спросить потенциального пользователя, действительно ли ему нужен анализ. Вполне возможно, что ему не нужен сложный анализ и вполне подойдет САПР или система компьютерной картографии.

Задачи всех возможных пользователей должны быть учтены при решении о целях ГИС. Необходимо идентифицировать потребности каждого пользователя. Хорошим методом является выяснение того, какие конечные

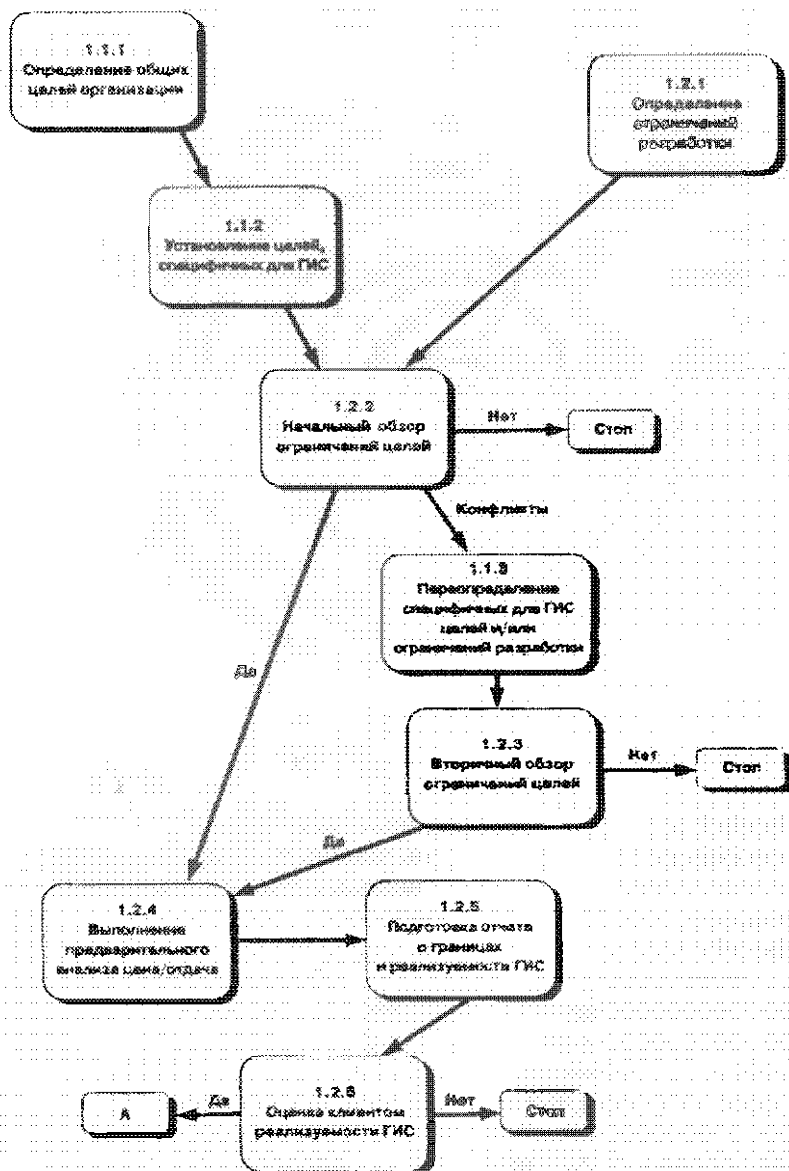


Рисунок 15.6. Шаги процесса проектирования. Начальная модель как последовательность решений о продолжении или прекращении внедрения ГИС в организации.

пространственно-информационные продукты (spatial information products (SIP)) пользователи хотели бы получить от системы. Нам нужно определить отношение между этими пространственно-информационными продуктами, требуемыми каждым пользователем в организации и задачами, которые каждый из них должен реализовывать. Каждый такой продукт требует привлечения определенных исходных данных. Кроме того, переходя от пользователя к пользователю мы объединяем их частные представления (local views) о том, что должна делать ГИС в общее представление (global view), что часто делается администрацией для удовлетворения более крупных целей организации. По завершению данного этапа обычно составляется отчет о требованиях на уровне выходных продуктов для потенциальных пользователей, чтобы подтвердить наше понимание рассмотренных вопросов.

Одновременно с определением целей проводится анализ ограничений разработки (шаг 1.2.1), которые включают бюджет реализации и дальнейшей поддержки проекта, время для достижения конечного результата, доступность и стоимость данных для проекта. Важно различать каждое ограничение как финансовое, временное или связанное с потребностями моделирования. Возможны ограничения и по аппаратному обеспечению (например, организация использует только персональные компьютеры). В случае недоступности данных по финансовым соображениям, например, из-за высокой стоимости снимков со спутников, следует поискать альтернативные источники данных или применить другие методы анализа. Для каждого ограничения, когда оно обнаруживается, мы должны рассмотреть обходные пути, а не просто оставлять его "на потом". Затем мы переходим к шагу 1.2.2, сравнению потребностей пользователей с имеющимися ограничениями. Другими словами, мы решаем, не окажется ли ГИС роскошью, давая ответ на пятьсот долларов к задаче на пять долларов. Продолжение проекта возможно только тогда, когда требуемые информационные продукты, деньги, время и доступность данных позволят использовать ГИС.

Следующие шаги (1.1.3 и 1.2.4) напрямую используют результаты сравнения потребностей и ограничений. Переопределение целей, связанных с ГИС, и/или ограничений разработки (1.1.3) могут потребовать разрешения конфликтов при формировании баланса потребностей и ограничений для определения реализуемости ГИС. Баланс часто трудно достигим, поэтому вам, возможно, придется создать иерархическое представление потребностей и ограничений, присвоив им некоторые приоритеты, включая и стоимость системы в целом. Когда наиболее значимые требования к ГИС являются также и наиболее дорогостоящими при реализации, компромисс может быть достигнут поиском альтернативного, менее дорогого решения или

снижением требований для уменьшения стоимости. В некоторых случаях решением может быть отсрочка слишком дорогих работ по ГИС в ожидании возможности ослабления ограничений или упрощения приложений.

Стоимость реализации — очень важное, но не всегда главное ограничение, особенно в коммерческой среде, где более значима возможная прибыль, которая и анализируется на шаге 1.2.4. В затраты входят приобретение данных, аппаратного и программного обеспечения и их сопровождение, обучение и работа персонала, ввод данных (наиболее трудноопределимая статья расходов), выделение помещений и многие другие вопросы [Агопoff, 1989]. Затраты должны также разделяться на начальные инвестиции и эксплуатационные расходы. Отдачу определить гораздо труднее, но в общем случае ее можно выявить по пяти категориям [Агопoff, 1989]:

1. Будущая эффективность новых методов по сравнению со старыми.
2. Новые некоммерческие продукты и услуги, обычно связанные с более высоким качеством продуктов, производившихся до реализации ГИС.
3. Новые коммерческие продукты и услуги, включая продажу другим организациям знаний и опыта, связанных с ГИС.
4. Более высокое качество принимаемых решений (основная движущая сила большинства проектов, которую очень трудно определить количественно).
5. Нематериальные преимущества, включая четкую современную организацию работы, улучшение коммуникаций, внешнего облика компании и внутренней активности.

Анализ цена/отдача не является точной наукой, однако объем литературы на эту тему, в которой можно подыскать ответы, постоянно растет [Goodchild and Rizzo, 1986; Green and Moyer, 1985; Kenney and Hamilton, 1985, 1986; Kevany, 1986; Laroche and Hamilton, 1986]. И хотя такой анализ может дать некоторое финансовое основание для решения, он редко является главным решающим фактором [Агопoff, 1989]. Часто именно понимание потенциала информационных продуктов ГИС движет администрацией в решении о создании системы, а также и в решениях о плане реализации.

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОДУКТЫ ГИС

В значительной степени, информационные продукты ГИС являются результатом анализа, выполняемого программным обеспечением. Каковы же они конкретно — зависит от природы организации, ее целей и опыта работы с системой. Хотя многие организации имеют достаточно хорошо структурированный компактный набор продуктов, другие, особенно исследовательские организации, имеют большой постоянно меняющийся набор возможных продуктов, который может быть даже трудно определить

[Rhind and Green, 1988; Wellar, 1994]. Но и там чаще всего имеется общее представление о том, что ГИС может делать, что она может дать организации.

## **Как информационные продукты влияют на ГИС**

Организации, которые имеют в виду определенную цель, когда рассматривают реализацию ГИС, вполне могут иметь некоторое представление о том, как мог бы выглядеть вывод результатов анализа, даже если у них есть лишь смутное представление о том, как этот анализ мог бы быть проведен.

Кроме того, они, скорее всего, имеют общее представление о том, какие данные могли бы быть частью системы. В действительности, многие организации понимают ценность данных в компьютерной форме даже до того, как они смогут увидеть возможную пользу их анализа. Чтобы добиться от пользователей конкретных описаний пространственно-информационных продуктов, мы должны признавать сильную связь между тем, что входит в систему (наличие данных) и тем, что выходит из нее.

Но поскольку пользователи не могут мгновенно стать знатоками ГИС, наша задача — помочь им определить (но не определять за них) их потребности. То есть, системный аналитик должен действовать отчасти как просветитель, чтобы получить описания продуктов у пользователей. Именно поэтому я настаиваю на важности понимания вами аналитических возможностей ГИС, технологий создания баз данных и управления ими.

Действуя как просветители, мы должны потратить немало времени на выяснение того, как ГИС могла бы наилучшим образом помочь каждому пользователю. Это лучше всего делать персонально, а не общим анкетированием, поскольку личное общение позволяет выяснить те задачи, которые пользователь постоянно решает, и всесторонне объяснить функции, которые ГИС могла бы выполнять соответственно этим задачам. Все материалы, показывающие, что именно пользователь создает (образцы карт, письменные ответы на вопросы, отчеты о решениях, официальные распоряжения и т.д.), будут полезны в установлении хорошего соответствия между существующими продуктами и теми, что будут получены от ГИС. Собирая эту информацию, вам следует помнить, что пользователю более интересно, что может быть получено, нежели как это может быть произведено. Последний вопрос более уместен при приближении этапа реализации системы.

## **Организация частных представлений**

Работая со многими потенциальными пользователями, имеющими различные потребности, полезно проследить отношения между каждым

пользователем и каждым пространственно-информационным продуктом. Томлинсон [Tomlinson, n.d.] предлагает использовать матрицу решений (Decision System Matrix), в которой строки соответствуют пользователям, а столбцы — продуктам; Рисунок 15.7 показывает сильно упрощенную версию.

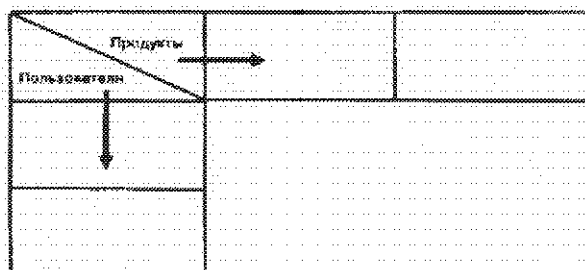


Рисунок 15.7. Таблица решений. Организация отдельных пользовательских представлений о ГИС в матрицу.

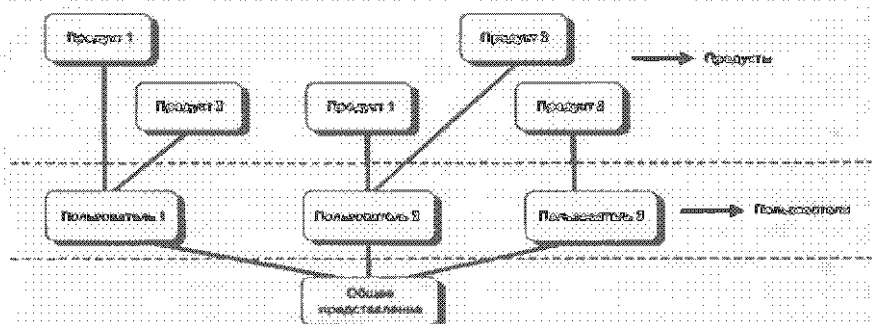


Рисунок 15.8. Объединение представлений. Использование организационной диаграммы для показа частных представлений пользователей о ГИС.

Этот прием позволит не только зарегистрировать пространственно-информационные продукты для каждого пользователя, но и даст информацию для объединения частных пользовательских представлений в более крупное общее представление. Альтернативой матрице решений может быть организационная диаграмма, подобная показанной на Рисунке 15.8. Общее представление в нижней части диаграммы показывает потребности организации в целом, следующий ярус — частные представления пользователей, наверху — продукты, разнесенные по пользователям.



Диаграмма такого типа, как и матрица решений, полезна для объединения частных представлений в общее; обе они могут использоваться также для определения наиболее важных продуктов, в зависимости от частоты упоминания пользователями.

## Ошибки проектирования

Ошибки проектирования (design creep) обычно обусловлены отсутствием предварительного изучения системы в организации. Результатом таких ошибок может стать система с возможностями, большими, чем требуется, или наоборот – система, не имеющая всех необходимых функций. Рисунок 15.9a показывает линейный подход к проектированию ГИС, идущий от исследования реализуемости системы через стадию проектирования к реализации системы. Как вы можете видеть, изучение в организации начинается довольно поздно, когда система уже спроектирована, и начата ее реализация. Таким образом, пользователи вынуждены изучать и эксплуатировать систему, которая может не соответствовать их нуждам.

Рисунок 15.9b соответствует более гибкой спиральной модели [Marble, 1994], в которой изучение системы продвигает ее разработку. По мере того, как пользователи лучше узнают возможности системы, они могут описать свои требования к системе задолго до начала ее реализации. Вы можете также видеть, что чем более тщательно организационное изучение, тем более развитой становится система, причем кривая изучения всегда преобладает над кривой проектирования.

Короче говоря, пользователи направляют проектирование ГИС, а не следуют тому, что есть в уже установленной системе. Этот подход позволяет избежать ошибок проектирования, он позволяет системе расти в своей сложности по мере роста потребностей организации.

## ОБЪЕДИНЕНИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ

В организациях, имеющих много пользователей необходимо учитывать потребности каждого. Эти отдельные наборы потребностей называются частными представлениями (local views) о том, что и как ГИС должна будет делать. После этого мы должны провести объединение частных представлений (view integration), для которого можно использовать весьма удобный метод, заключающийся в проведении парного группирования сходных пользователей или групп. Это может быть легко выполнено с помощью матрицы решений или организационной диаграммы. Наиболее общие потребности (которые актуальны для большинства пользователей) дадут нам набор приоритетов, которые могут сравниваться с главными целями

организации.

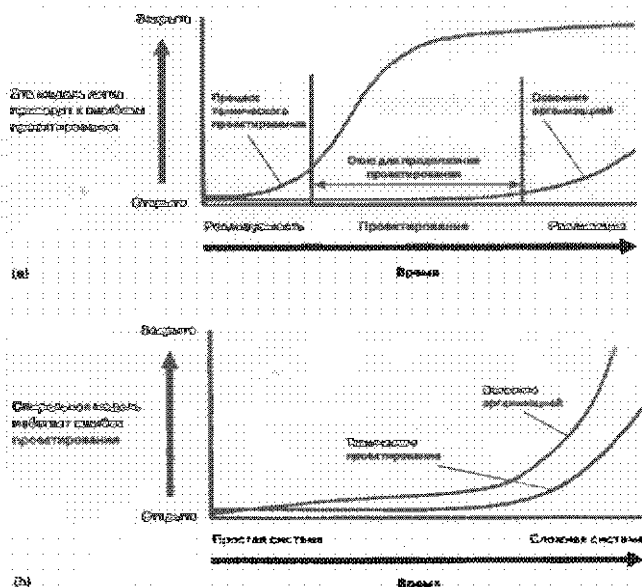


Рисунок 15.9. Устранение ошибок проектирования. Два подхода к проектированию системы: а) линейный подход, ведущий к ошибкам проектирования и б) спиральная модель, избегающая их.

Когда между частными представлениями существуют противоречия, потребуется дополнительное обсуждение для выявления нестыковок. Их разрешение может потребовать проведения экспертизы, модификации и даже переопределения частных представлений для достижения соответствия с общими целями организации.

Может понадобиться нескольких итераций, чтобы объединить отдельные частные представления в группы. Это объединение гарантирует, что в основном потребности пользователей будут удовлетворены. Окончательное решение по определению общего представления обычно возлагается на администрацию, рассматривающую потребности отдельных пользователей как часть общих потребностей.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ БД: ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ

### Изучаемая область

Помимо основной идеи пространственно-информационных продуктов существуют и другие стороны проектирования ГИС для организации. Когда имеются несколько проектов, необходимо рассматривать соответствующие изучаемые области по отдельности. Они чаще всего основываются на формальном решении о том, почему область подвергается изучению. Так, для исследования городского уровня, весь город будет областью исследования. Для исследования, связанного с природными явлениями или объектами, как, например, загрязнение реки, весь водосборный бассейн реки может быть выбран в качестве области изучения, поскольку загрязнение может приходить с любой территории, дающей сток в один из притоков реки. Короче говоря, область изучения может выбираться на основе политических и административных границ, физических границ, границ собственности, или отражать, главным образом, финансовые ограничения или ограничения по данным, обнаруживаемые на ранних стадиях процесса проектирования.

Если для некоторой части предполагаемой области изучения имеются более подробные данные, чем для остальной части, они не должны диктовать размер области изучения. Это обстоятельство можно использовать таким образом, что небольшая часть с более подробными данными может играть роль прототипа для детального анализа всей области изучения, в расчете на то, что в дальнейшем и на всю область можно будет получить данные такой же подробности. Кроме того, они могут пригодиться для улучшения знания о всей области изучения.

Когда планируется использовать какой-либо вид интерполяции, граница области изучения должна быть расширена в достаточной степени, чтобы обеспечить корректные результаты интерполяции на ее краях. И, наконец, чем больше область изучения, тем больше денег и времени потребуется на создание базы данных. Часто именно вопросы стоимости являются главным ограничителем в установлении границ области изучения. Помимо этого, расширение области изучения повышает вероятность недостатка данных для всех покрытий, необходимых для проведения анализа. Выбор меньшей области изучения в качестве начального прототипа — хороший способ продемонстрировать организации полезность системы. Если это сделано достаточно эффективно, то спонсор наверняка согласится выделить больше денег на расширение области изучения.

## Масштаб, разрешение и уровень детальности

Существует связь между размером изучаемой области и масштабом вводимых карт. Как вы помните, чем мельче масштаб карты, тем выше степень генерализации, тем менее точно представление объектов реального мира. На выбор масштаба влияет важность соответствующего покрытия для моделей анализа. Хотя не существует общих указаний для определения подходящего масштаба, большинство профессионалов используют подход "наилучших доступных данных", считая, что лучше больше подробностей, чем меньше.

Растровые данные имеют особенности: с уменьшением размера ячеек растра быстро возрастает объем данных. И хотя современные компьютеры имеют достаточно емкие устройства хранения, большой объем данных значительно замедляет выполнение операций над покрытиями, использующих поиск по окрестности. В одних случаях размер ячеек растра может диктоваться наименьшим представляемым объектом, в других — требованиями модели [DeMers, 1992], в третьих — вопросами совместимости с другими цифровыми данными, например, с ДДЗ со спутников.

## Классификация

При проектировании ГИС мы должны рассматривать не только имеющиеся источники данных, но и систему классификации, удовлетворяющую требованиям моделирования. Решение о последней лучше принимать после рассмотрения видов вводимых данных. Использование более подробной классификации часто предпочтительно по двум причинам: она дает пользователю больший объем сведений, и при сравнении с данными другого покрытия меньшей подробности всегда можно агрегировать некоторые классы, в то время как обратный процесс либо затруднен, либо вовсе невозможен.

Но классификация — больше чем просто выбор должного уровня детальности. Нужно учесть, что мы делаем сравнения между покрытиями, и, таким образом, между классификациями. Кроме того, часто необходимо иметь возможность проводить согласованную классификацию в пределах одного покрытия данных из разных источников. Допустим, вам нужно покрытие с классами почв регионального охвата, созданное на основе различных исследований почв более детального окружного уровня. Если эти исследования проводились на значительном временном удалении друг от друга, то будет необходимо переработать их, чтобы добиться однородности классификации. Более подробное обсуждение проблем классификации, особенно в их связи с ошибками, дано Бэрроу [Burrough, 1986].

## Система координат и проекция

Выбор проекции определяется площадью области изучения и доступными данными. Здесь также нет жестких правил, только здравый смысл. При этом следует учитывать, что преобразования проекций вносят дополнительную погрешность в данные. На выбор проекции влияет также то, какие характеристики земной поверхности должны сохраняться (обычно те, что наиболее важны для анализа). В общем, и по отношению к системе координат, и по отношению к проекции, пространственная и временная совместимость очень важна для корректности процесса принятия решений.

## Выбор программного обеспечения

Выбрать подходящее для организации программное обеспечение всегда бывает трудно. Во многих случаях решение принимается разработчиком системы даже до начала процесса проектирования. Этот "перевернутый" подход — реальность для многих организаций и отдельных лиц. Руководства в этой области [например, Vittingough, 1986] быстро устаревают из-за постоянного совершенствования как программного, так и аппаратного обеспечения. Выбор модели данных основывается на тех видах анализа, которые нужны, а они, в свою очередь, определяются пространственно-информационными продуктами проекта. Многие современные ГИС поддерживают более одной модели данных или могут использовать набор различных аналитических модулей. Выбор аппаратной платформы и периферийных устройств диктуется финансовыми ограничениями, требованиями по точности, условиями обучения и даже личными предпочтениями.

Так как же мы решаем для самих себя или для клиента, какой ГИС-пакет приобрести? Разумным подходом является подготовка документа, содержащего аналитические потребности, ограничения по стоимости, необходимая точность, потребности в обучении. Затем эти спецификации предлагаются большому числу поставщиков для получения конкурирующих предложений контракта. Возможно, к списку требований полезно будет прибавить запрос списка клиентов компании, как тех, что удовлетворены ее работой, так и тех, кто столкнулся с проблемами. Полученные ответы скажут вам о типах организаций, использующих систему (давая нам представление об их потребностях в моделировании) и позволят вам получить впечатления о системе из первых рук. Только после этого должно приниматься окончательное решение по выбору ГИС-пакета.

## ПРОВЕРКА И УТВЕРЖДЕНИЕ

С точки зрения эксплуатации, методология проектирования хороша лишь настолько, насколько хороши результаты, полученные от реализации. Главный вопрос, на который нужно получить ответ: будет ли ГИС решать нужные организации задачи своевременно и корректно? Если процесс проектирования проводился должным образом, то в результате мы получим продукт, соответствующий всем потребностям организации, основанным на потребностях отдельных пользователей. Эти потребности должны быть достаточно конкретными и детальными, чтобы поставщик мог установить соответствие рассматриваемой системы этим требованиям. Известно, что лучше сразу сделать хорошо, чем потом переделывать. Нередки случаи, когда организации приходится связываться с другим поставщиком (разработчиком) после того, как обнаруживается, что система не удовлетворяет выдвинутым требованиям. Часто такие неудачи являются промахом не разработчика, а самой организации или ее системного аналитика, не давших полных спецификаций. Стоимость переделки может быть намного больше, чем стоимость разработки правильной системы на основе систематического, полного и хорошо организованного анализа потребностей организации.

## Вопросы

1. В чем была причина большинства неудач ГИС в 1960-х годах? Каковы причины большинства неудач сегодня?
2. Почему мы должны рассматривать системное проектирование для ГИС? Почему не удовлетворяются потребности некоторых пользователей? Почему важно знать аналитические возможности ГИС, когда мы проектируем систему для третьих лиц?
3. Что такое система? Как этот объект проектирования расширяет наше определение ГИС? В чем различие между техническим и организационным проектированием?
4. В чем идея жизненного цикла системы? Каково ее назначение? Почему линейная модель жизненного цикла системы не подходит для проектирования и реализации ГИС в организациях?
5. Что такое "мифический человеко-месяц"? Что эта концепция говорит нам о стоимостной эффективности правильного выполнения работы с первого раза?
6. Кто является внутренним участником в организационном окружении? Какие задачи они решают?
7. Кто является внешним участником в организационном окружении? Какую роль они играют в реализации ГИС?

8. Что такое концептуальное проектирование ГИС? Почему его недостаточно для проектирования ГИС для организации? Каковы некоторые трудности с ГИС, создаваемые "человеческим фактором"? Что такое анализ цена/отдача и какую роль он играет в проектировании ГИС?

9. Опишите и изобразите спиральную модель проектирования ГИС. Какие преимущества она имеет перед линейной моделью жизненного цикла системы?

10. Опишите шаги начального проектирования ГИС с использованием спиральной модели проектирования.

11. Перечислите и опишите возможные плюсы внедрения ГИС в организацию. Придумайте для примера некоторую организацию и расскажите о возможных преимуществах, вносимых ГИС в работу этой организации.

12. Что такое пространственно-информационные продукты? Как они связаны с вводом данных в ГИС? Как они управляют реализацией ГИС?

13. Опишите и изобразите матрицу решений системы для организации частных представлений ГИС. Сделайте то же для организационной диаграммы. Расскажите, как эти методы могут использоваться для последующего объединения представлений.

14. Что такое ошибки проектирования? Опишите и изобразите, как спиральная модель проектирования ГИС препятствует их возникновению.

15. Какие главные соображения по проектированию БД мы должны учесть при проектировании ГИС? Определите некоторые общие правила для каждого из них.

16. Что означают "проверка" и "утверждение" в контексте проектирования ГИС в противоположность ГИС-моделированию?