

Министерство образования и науки Российской Федерации

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

О. И. Жуковский

---

---

# ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

---

---

Учебное пособие

Томск  
«Эль Контент»  
2014

УДК 91:004(075.8)

ББК 26.0я73

Ж 864

Рецензенты:

**Колупаева С. Н.**, докт. физ.-мат. наук, профессор,  
заведующая кафедрой прикладной математики

Томского государственного архитектурно-строительного университета;

**Рюмкин В. И.**, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент кафедры математических  
методов и информационных технологий в экономике экономического факультета  
Национального исследовательского Томского государственного университета.

**Жуковский О. И.**

Ж 864      Геоинформационные системы : учебное пособие / О. И. Жуковский. —  
Томск : Эль Контент, 2014. — 130 с.

ISBN 978-5-4332-0194-1

Учебное пособие представляет современные методы и средства, используемые в сфере создания и использования геоинформационных систем. В пособии изложены основы теории геоинформационных систем, включающие основы цифровой картографии, модели пространственных данных, методы и алгоритмы сбора, хранения, визуализации и анализа пространственных данных. Рассматриваются широко распространенные ГИС и методы и средства создания ГИС-приложений. Представлены основные понятия стандартизации и защиты информации в ГИС.

Пособие подготовлено в соответствии с требованиями Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования.

Учебное пособие предназначено для студентов факультета дистанционного обучения ТУСУРа.

УДК 91:004(075.8)

ББК 26.0я73

ISBN 978-5-4332-0194-1

© Жуковский О. И., 2014

© Оформление.

ООО «Эль Контент», 2014

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b>	<b>5</b>
<b>1 Геоинформационные системы</b>	<b>7</b>
1.1 Основные понятия . . . . .	7
1.2 История развития ГИС . . . . .	10
1.3 Классификация ГИС . . . . .	12
1.4 Принципы функционирования ГИС . . . . .	15
1.5 Аппаратное и программное обеспечение ГИС . . . . .	18
<b>2 Основы цифровой картографии</b>	<b>21</b>
2.1 Фигура и размеры Земли, используемые модели . . . . .	21
2.2 Системы координат, применяемые в геодезии и картографии . . . . .	23
2.3 Геодезическая система координат . . . . .	24
2.4 Картографические проекции . . . . .	27
2.5 Разграфка и номенклатура листов топографических карт и планов .	36
<b>3 Модели пространственных данных</b>	<b>38</b>
3.1 Типы пространственных объектов в ГИС . . . . .	38
3.2 Понятие о моделях пространственных данных . . . . .	40
3.3 Растровые модели данных . . . . .	43
3.4 Векторные модели данных . . . . .	48
3.5 Модели поверхностей . . . . .	57
<b>4 Визуализация пространственных данных</b>	<b>63</b>
4.1 Общие принципы визуализации пространственных данных . . . . .	63
4.2 Визуализация векторных данных . . . . .	64
4.3 Тематические карты . . . . .	67
4.4 Визуализация растровых данных . . . . .	71
4.5 Генерализация . . . . .	72
<b>5 Пространственный анализ данных в ГИС</b>	<b>74</b>
5.1 Измерительные операции . . . . .	74
5.2 Анализ отношений пространственных объектов . . . . .	75
5.3 Пространственные запросы . . . . .	76
5.4 Оверлейные операции . . . . .	78
5.5 Анализ инженерных сетей . . . . .	80
5.6 Анализ геополей . . . . .	81

---

<b>6 Программное обеспечение ГИС</b>	<b>88</b>
6.1 Программное обеспечение универсальных векторных ГИС . . . . .	88
6.2 Программное обеспечение универсальных растровых ГИС . . . . .	95
6.3 Системы Интернет-ГИС . . . . .	96
6.4 Картографические программные модули . . . . .	97
6.5 ГИС-приложения . . . . .	98
<b>7 Стандартизация и защита информации в ГИС</b>	<b>103</b>
7.1 Основные стандарты в области геоинформатики и сертификация цифровых карт . . . . .	103
7.2 Нормативная документация по защите информации в геоинформатике . . . . .	112
7.3 Алгоритмы защиты цифровой пространственной информации . . . .	121
<b>Заключение</b>	<b>124</b>
<b>Литература</b>	<b>125</b>
<b>Глоссарий</b>	<b>127</b>

---

# ВВЕДЕНИЕ

---

Информатизация как процесс перехода к информационному обществу сопровождается возникновением новых и интенсивным развитием существующих информационных технологий. Одной из таких современных и бурно развивающихся технологий является геоинформационная технология, реализуемая целым семейством геоинформационных систем (ГИС).

Целью дисциплины является изучение теоретических основ построения ГИС, включающих основы цифровой картографии, модели пространственных данных, методы и алгоритмы сбора, хранения, обработки, анализа и визуализации в этих системах пространственных данных. Студент должен изучить принципы работы ГИС, познакомиться с их основными функциональными возможностями. Все это позволит сформировать у студента компетенции, дающие ему возможность использовать геоинформационные системы в ходе решения комплексных задач автоматизации информационных процессов.

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

В первой главе пособия дается понятие геоинформационных систем, кратко описывается история развития геоинформатики, рассматриваются системы, ставшие прародителями современных ГИС. Подробно излагается классификация ГИС, раскрывается обобщенная схема функционирования ГИС, дано понятие аппаратных и программных компонентов ГИС.

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

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

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

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

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

В седьмой главе представлены базовые положения, касающиеся основных стандартов в области ГИС.

## Соглашения, принятые в книге

Для улучшения восприятия материала в данной книге используются пиктограммы и специальное выделение важной информации.



.....  
 Эта пиктограмма означает определение или новое понятие.  
 .....



.....  
 Эта пиктограмма означает внимание. Здесь выделена важная информация, требующая акцента на ней. Автор здесь может поделиться с читателем опытом, чтобы помочь избежать некоторых ошибок.  
 .....



..... **Пример** .....

Эта пиктограмма означает пример. В данном блоке автор может привести практический пример для пояснения и разбора основных моментов, отраженных в теоретическом материале.  
 .....



..... **Контрольные вопросы по главе** .....

---

# Глава 1

## ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

---

### 1.1 Основные понятия

В настоящее время все более широкое распространение получает особый класс информационных систем, который называют географическими информационными системами, или сокращенно геоинформационными системами, или аббревиатурой «ГИС» (Geographical Information System – GIS).

Область ГИС очень быстро развивается и захватывает все новые сферы жизни и деятельности. Геоинформационные системы стали играть существенную роль в деятельности человечества. Причины такого успеха ГИС объясняются следующим:

- 1) большой эффективностью решений сложных проблем средствами ГИС;
- 2) огромным множеством областей применения ГИС, потому что ГИС работает с пространственными данными, которые являются частью нашей повседневной жизни;
- 3) доступностью для массового пользователя как мощных персональных компьютеров, на которых возможна реализация ГИС, так и сложного программного обеспечения ГИС, снабженного достаточно простым и интуитивно понятным пользовательским интерфейсом.

В последние 15–20 лет геоинформационные системы достигли в развитии уровня коммерциализации. В настоящее время сформировалась ГИС-индустрия, оборот которой измеряется миллиардами долларов. Если ежегодный объем продаж только программного обеспечения ГИС в 2001 году составлял 1,1 млрд долларов, то в 2009 году уже превышал 2,8 млрд долларов (увеличивается в среднем на 12% в год) [1].

В ГИС-движение вовлечены миллионы пользователей более чем в 120 странах мира, которые образуют ГИС-сообщество. Специалисты по работе с ГИС в странах Запада пользуются повышенным спросом. ГИС изучают не только в университетах, в системах повышения квалификации, но уже и в школах, колледжах.

Можно с уверенностью сказать, что геоинформационные системы влияют на многие аспекты нашей жизни. ГИС интегрируются в образование, бизнес, производство и деятельность правительств.

Управление сложными территориальными системами, такими как современный город, требует не только высокой квалификации администрации, но и хорошего информационного обеспечения процесса управления. Выработка обоснованных и эффективных решений возможна только на основе соответствующей обработки и анализа огромных объемов информации о сложных системах и процессах города. Это требует привлечения эффективных средств, базирующихся на компьютерных технологиях. Внедрение ГИС в управление городом означает переход на новый, более эффективный уровень управления.

ГИС в науке помогает интегрировать научные области, стирая барьеры между биологией и геофизикой, между экономикой и демографией. Этому способствует моделирование процессов в реальном времени, мощный инструментальный пространственного анализа, высокое пространственное разрешение данных.

Растущий интерес к ГИС иллюстрирует рост потребности в пространственных данных высокого разрешения, получаемых из космоса.

В прошедшие годы усилия концентрировались на создании пространственных баз данных, на накоплении данных. Это в свою очередь привело к необходимости разработки проблемы распространения геопространственных данных и обмена данными, в том числе создания стандартов на инфраструктуру геопространственных данных. Дальнейшее развитие ГИС обуславливают высокая динамика жизни, рост населения, урбанизация, уменьшение и ограничение природных ресурсов, глобализация. Двадцать первое столетие — период широкого внедрения средств интеграции информации. В информационном обществе ГИС становится одной из важнейших технологий интеграции и коммуникации информации.



.....

Как уже было сказано выше, аббревиатура ГИС расшифровывается как *географическая информационная система*, или *геоинформационная система*. Можно рассматривать ГИС как набор аппаратных и программных инструментов, используемых для ввода, хранения, манипулирования, анализа и отображения пространственной (первоначально географической) информации. Термин «*геоинформационная*» стал сегодня обозначать уже нечто большее, чем его развернутый вариант.

.....

В том случае, когда те или иные данные об объекте имеют точную координатную привязку, говорят, что объект имеет *пространственное* описание, и он должен изучаться с применением средств и методов геоинформатики.

Геоинформатика — новая, быстро развивающаяся отрасль науки. Существует несколько ее определений.

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





.....

*Наиболее полное определение геоинформатики в соответствии с толковым словарем основных терминов геоинформатики (1999 г., под редакцией А. М. Берлянта, А. В. Кошкарева) таково: «**геоинформатика** (geo-informatics) — наука, технологии и производственная деятельность по научному обоснованию, проектированию, созданию, эксплуатации и использованию географических информационных систем, по разработке геоинформационных технологий, по прикладным аспектам или приложению ГИС для практических и геонаучных целей» [2].*

.....

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



.....

***Геоинформационная система** — это информационная система, обеспечивающая сбор, хранение, обработку, доступ, отображение и распространение пространственно-координированных данных (пространственных данных). ГИС содержит данные о пространственных объектах в форме их цифровых представлений (векторных, растровых, квадратомических и иных).*

.....

ГИС поддерживается программным, аппаратным, информационным, нормативно-правовым, кадровым и организационным обеспечением. С точки зрения теории информационных систем ГИС — это большой класс информационных систем (ИС), позволяющих работать с пространственными данными [3].



.....

Приставка гео- во всех этих словах (геоинформатика, геоматика, ГИС) происходит не от слова «география», а от слова «геос» — «земля»; эта приставка характеризует пространство (геос — характеристика пространственности), работу с пространственно-координированными данными.

.....

Более того, процент чисто пространственно-привязанных данных обычно в ГИС не очень велик, технологии обработки данных в таких системах имеют мало общего с традиционной обработкой географических пространственных данных в географии и, наконец, пространственные данные лишь служат базой для решения большого числа прикладных задач в ГИС, цели создания которых далеки от географии.

В современных ГИС осуществляется комплексная обработка информации — от ее сбора до хранения, обновления, обработки и представления (визуализации). В связи с этим ГИС можно рассматривать с различных позиций. Например, считать их системами управления, поскольку они в ряде проблемных областей предназна-

чены для обеспечения принятия решений по оптимальному управлению землями и ресурсами, городским хозяйством, по управлению транспортом (в том числе трубопроводным) и т. п.

Кроме того, как системы, использующие базы данных, ГИС являются автоматизированными информационными системами. При этом следует подчеркнуть, что ГИС объединяют в себе как базы данных с атрибутивными данными, так и графические базы данных или их еще называют пространственными базами данных.

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

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

## 1.2 История развития ГИС

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

Истоки ее находятся в работах коллективов, сформулировавших первые задачи и подходы к построению информационных систем, ориентированных на обработку пространственных данных. Это коллективы ученых и разработчиков из Канады и Швеции. Канадские работы были связаны с созданием в 1963–1971 гг. канадской ГИС (CGIS) под руководством Р. Томлинсона. CGIS является одним из примеров крупной универсальной (по тем временам) региональной ГИС национального уровня и до сих пор считается классической. Работы шведской школы геоинформатики концентрировались вокруг ГИС земельно-учетной специализации, в частности шведского земельного банка данных, предназначенного для автоматизи-

зации учета земельных участков (землевладений) и недвижимости. Анализ ранней канадской и шведской литературы по ГИС показывает, что ГИС «первого поколения» (60-х — начала 70-х годов прошлого столетия) значительно отличались от того, что понимается под ними сегодня. Их зачастую отличала ориентация на чисто утилитарные задачи инвентаризации земельных ресурсов, земельного кадастра и т. п. Однако благодаря ученым в составе этих коллективов были сформулированы оригинальные идеи, что позволило заложить в основу этих ГИС фундаментальные принципы. Так, первый и главный принцип, который вывел ГИС из круга баз данных общего назначения, заключался во введении в число атрибутов операционных объектов (земельных участков, строений и т. п.) *признака пространства*, в какой бы форме местоуказания (в координатах, в иерархии административной принадлежности, в терминах принадлежности к ячейкам регулярных сетей членения территории) он ни выражался [1].

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

Рассмотрим программные системы, являющиеся прародителями современных ГИС. Уже несколько десятилетий назад на рынке информационных систем были представлены несколько видов систем, работающих с пространственно-координированной информацией:

- системы автоматизированного проектирования — САПР (CAD — computer-aided design);
- системы автоматизированного картографирования (AM — Automated Mapping Management);
- системы управления инфраструктурой или инженерными сетями (FM — Facilities Management).

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

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

Рассмотрим подробнее предшественников современных ГИС.

**САД-системы.** Это системы для автоматизированного проектирования с использованием средств машинной графики. На этой области применения программного обеспечения (ПО) специализируются фирмы Autodesk, Seli и др. Такого рода системы работают с техническими чертежами. Применение САД-систем необхо-

димо для ускорения процесса черчения, повышения точности за счет более детального просмотра элементов чертежа в произвольном масштабе, улучшения качества чертежа, возможности вносить исправления, многократного копирования.

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

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

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

**FM-системы.** FM-системы — это системы управления инженерными сетями (водопроводные, трубопроводные, энергетические, телефонные сети и т. д.), то есть пространственными объектами, с каждым из которых связана содержательная информация. FM-системы используют для решения задач, не требующих метрической точности положения объектов в пространстве [1].

### 1.3 Классификация ГИС

Любую ГИС можно отнести по одному или нескольким признакам к тому или иному классу. Рассмотрим основные классы современных ГИС [2].

#### **Классификация ГИС по архитектурному принципу построения.**



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

**Закрытые** системы характеризуются низкой ценой, в них заранее представлен (определен) класс решаемых системой задач. Они характеризуются простотой интерфейса и быстрым освоением этих систем пользователями. Набор выполняемых ими функций не может быть изменен, что в значительной мере определяет короткий жизненный цикл этих систем.

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

#### **Классификация ГИС по аппаратной платформе.**

**ГИС профессионального уровня.** Это достаточно мощные системы, созданные изначально для клиент-серверного применения (используются мощные серверы и рабочие станции). Эти системы строятся по модульному принципу и могут поставляться в различной комплектации. К этому типу относятся широко известные ГИС фирм Intergraph — MGE, ESRI — ArcGIS и др.

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

**Интернет/Инtranет-ГИС.** Отличительная черта таких систем — использование клиент-серверной технологии в их построении и Web-технологии. При этом все данные хранятся на сервере и становятся доступными на клиенте посредством сети Интернет/Инtranет. Клиенты находятся на ПК и бывают двух видов: «тонкие» и «толстые». «Тонкие» клиенты традиционно основаны на использовании стандартного браузера, а «толстые» представляют собой отдельное приложение, взаимодействующее с сервером с картографическими и иными данными. Считается, что у таких ГИС большое будущее в разных областях человеческой деятельности.

#### **Классификация ГИС по территориальному охвату.**

По территориальному охвату различают следующие ГИС:

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

#### **Классификация ГИС по предметной области информационного моделирования.**

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

По предметной области информационного моделирования различают ГИС:

- городские (муниципальные — МГИС, urban GIS);
- природоохранные (environmental GIS);

- земельные ИС;
- мониторинга водных ресурсов;
- геологии и геологоразведки и т. д.

### **Классификация ГИС по функциональным возможностям.**

По функциональным возможностям различают ГИС:

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

*Универсальные ГИС* характеризуются открытостью, работают с различными форматами данных, обладают достаточно мощным графическим редактором, имеют средства разработки и внедрения различных приложений (увеличение набора функций). По мере развития и создания новых версий эти ГИС снабжаются большим числом добавочных модулей как общего, так и специального назначения (например, ГИС MapInfo, ArcInfo и др.).

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

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

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

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

### **Классификация ГИС по используемой модели данных.**

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

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

*Гибридные ГИС* сочетают в себе возможности векторных и растровых ГИС.



.....  
 Подавляющее большинство современных ГИС не являются строго векторными или строго растровыми. Обычно в векторной ГИС имеются некоторые средства работы с растровыми данными и, наоборот, в растровой ГИС имеются средства для работы с векторными моделями данных (подобное наблюдается и среди графических редакторов) [1].  
 .....

### Другие виды классификации ГИС.

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

*Полимасштабные ГИС* (масштабно-независимые ГИС, multiscale GIS) основаны на множественных или полимасштабных представлениях пространственных объектов (multiple representation), обеспечивая графическое или картографическое воспроизведение данных на любом из избранных уровней масштабного ряда на основе единственного набора данных с наибольшим пространственным разрешением.

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

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

## 1.4 Принципы функционирования ГИС

Набор функций, реализованный в ГИС, зависит, в первую очередь, от назначения системы в целом. Обобщенную схему функционирования ГИС можно представить как набор определенных блоков. В разных системах отдельные блоки реализованы более или менее универсальными или узкоспециализированными и имеют различные наборы конкретных функций. Рассмотрим подробнее задачи этих блоков [1].

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

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

*Блок визуализации исходных данных.* Исходные данные, представленные в ГИС, визуализируются, т. е. наглядно отображаются в удобном пользователю виде (базы данных, таблицы, электронные карты и т. п.).

*Блок обработки исходных данных.* Является интеллектуальным блоком. С помощью его производится проверка корректности, истинности исходных данных,

происходит выделение структур данных, которые участвуют в технологическом процессе, и ведется собственно обработка данных.

*Блок представления исходных данных.* Представляет результаты обработки информации в предыдущем блоке в виде структур данных, пригодных для эксплуатации и применения специализированных функций, в первую очередь пространственного анализа.

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

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

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

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

Полный набор представленных блоков описывает работу ГИС в целом. Однако в различных ГИС отдельные блоки реализованы с различной функциональностью, а отдельные блоки вообще отсутствуют.

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

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

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

### **Структура универсальных ГИС.**

Рассмотрим структуру типовой универсальной ГИС. В такой ГИС можно выделить четыре больших компоненты: ядро, подсистемы импорта/экспорта данных, средства расширения функционала ГИС и графический интерфейс пользователя.



**Ядро** ГИС состоит из следующих основных подсистем.

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

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

*Подсистема пространственного анализа* представляет собой библиотеку функций для анализа пространственных отношений, выполнения оверлейных операций, построения буферных зон и др.

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

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

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

*Средства расширения функционала ГИС* могут представлять собой среду для исполнений приложений, написанных на внутреннем языке ГИС, или являться надстройкой с поддержкой технологий VBA, COM или Net. Возможны и иные варианты расширения функционала ГИС.

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

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

*Графический интерфейс пользователя* является неотъемлемой частью любой системы, работающей с графической информацией. С его помощью осуществляется интерактивное взаимодействие пользователя с ГИС. К основным элементам интерфейса пользователя относятся: главное окно, основное меню, панели инструментов, окно карты, окно слоев и др. Интерактивное взаимодействие позволяет

пользователю взаимодействовать, в первую очередь, с окном карты с помощью традиционных инструментов изменения масштаба, панорамирования карты и т. п.

## 1.5 Аппаратное и программное обеспечение ГИС

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

### Периферийные устройства ввода данных.

К таким средствам относятся [3]:

1. *Клавиатура*. Предназначена для ввода алфавитно-цифровой информации. С ее помощью можно вводить как атрибутивные данные, так и графические (пространственные). В последнем случае такой ввод производится посредством ввода *координат* объектов в той или иной системе координат.
2. *Мышь*. Традиционно мышь используется как основное средство ввода графической информации посредством векторного редактора.
3. *Сканер*. Сканер используется для формирования растрового представления по исходным бумажным или иным материалам. Сканеры различаются:
  - по способу подачи исходного материала для считывания (ручные, планшетные, протяжные, например роликовые и барабанные);
  - по принципу считывания информации (работающие на просвет или на отражение);
  - по глубине цвета;
  - по разрешению;
  - по геометрической точности;
  - по скорости сканирования;
  - по формату (максимальному размеру сканируемого источника).
4. *Дигитайзер*. Это устройство предназначено для ручного цифрования (сколки) графических документов. Результат сколки представляется в виде множества или последовательности точек, образующихся при обходе контуров объектов, положение которых описывается прямоугольными декартовыми координатами.
5. *Графический планшет*. Является альтернативой мыши и позволяет позиционировать курсор с помощью специального пера и планшета, имитируя рисование обычной ручкой.

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

### **Периферийные устройства вывода данных.**

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

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

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

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



## Контрольные вопросы по главе 1

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

---

## Глава 2

# ОСНОВЫ ЦИФРОВОЙ КАРТОГРАФИИ

---

### 2.1 Фигура и размеры Земли, используемые модели

Рассмотрим ряд базовых понятий [1].



.....  
***Картография** — это наука, которая занимается созданием, изучением и использованием картографических произведений.*

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

.....

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

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

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

Представьте себе поверхность, совпадающую со средним уровнем Мирового океана в спокойном состоянии. Такая поверхность называется урвенной. Урвенная поверхность всюду горизонтальна, т. е. в любой ее точке перпендикулярна к направлению отвесной линии в этой точке. Поверхность воды Мирового океана

в спокойном состоянии, мысленно продолженная под материи, названа *уровенной поверхностью* Земли и принята за действительную форму Земли [2].



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

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

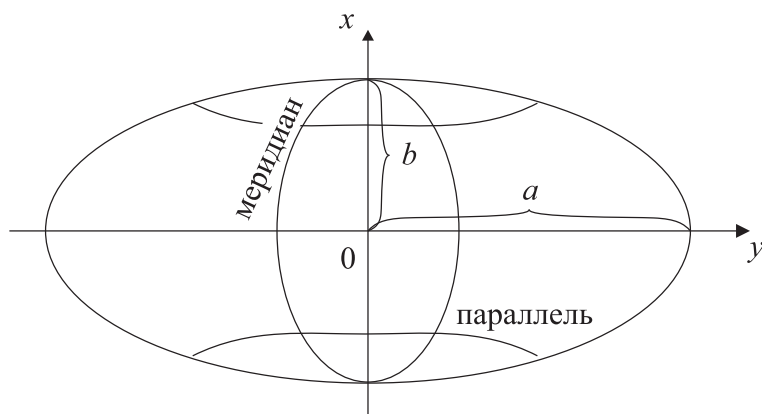


Рис. 2.1 – Референц-эллипсоид Красовского

Наиболее близкой к геоиду математической поверхностью является эллипсоид вращения.



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

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

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

- $a = 6\,378\,245$  м;
- $b = 6\,356\,863$  м;

- начальный пункт Пулково;
- превышение геоида над референц-эллипсоидом в начальном пункте равно нулю;
- принята Балтийская система высот, отсчет высот ведется от нуля Кронштадтского футштока;
- полярное сжатие (отношение разницы полуосей к большой полуоси) определяется как  $\alpha = (a - b)/a = 1/298,3$ ;
- начало координат системы совпадает с центром тяжести Земли.

Обратите внимание, что в картографии принято обозначать  $x$  вертикальную ось координат, а через  $y$  — горизонтальную ось координат.

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

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

Также шаром можно воспользоваться при применении способа двойного отображения, когда вначале эллипсоид отображают на шар, а затем шар — на плоскость [3].

## 2.2 Системы координат, применяемые в геодезии и картографии

При производстве топографо-геодезических работ используют: географическую (астрономическую), плоскую прямоугольную, полярную, геодезическую и зональную системы координат и высот [1, 3].

**Географическая (астрономическая) система координат.** Положение любой точки  $M$ , лежащей на поверхности земного шара — геоида (рис. 2.2), определяется ее географической широтой  $\varphi$  и географической долготой  $\lambda$ , которые получают из астрономических наблюдений.

При этом координаты  $\varphi\lambda$  определяются следующим образом. Пусть  $MO$  — отвесная линия (нормаль к уровню поверхности);  $\varphi$  — угол между отвесной линией и плоскостью экватора (на север берется со знаком «+», на юг — со знаком «-»), а  $\lambda$  — двугранный угол между меридианом данной точки  $M$  и начальным меридианом (Гринвичским). Счет долготы ведется от Гринвича на  $180^\circ$  на запад со знаком «-», а на восток со знаком «+».  $P_N, P_S$  — обозначение точек полюсов, соответственно северного и южного.  $QQ$  — линия экватора.

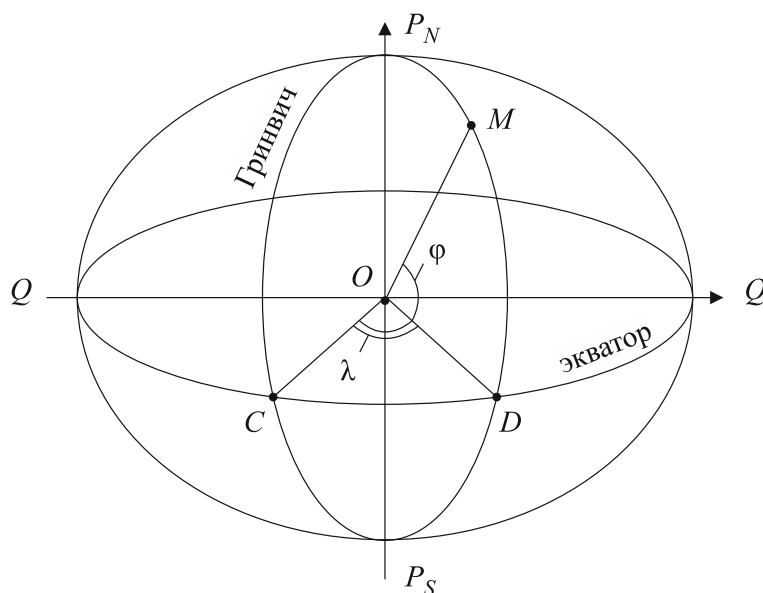


Рис. 2.2 – Схема определения положения точки в географической системе координат

### 2.3 Геодезическая система координат

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

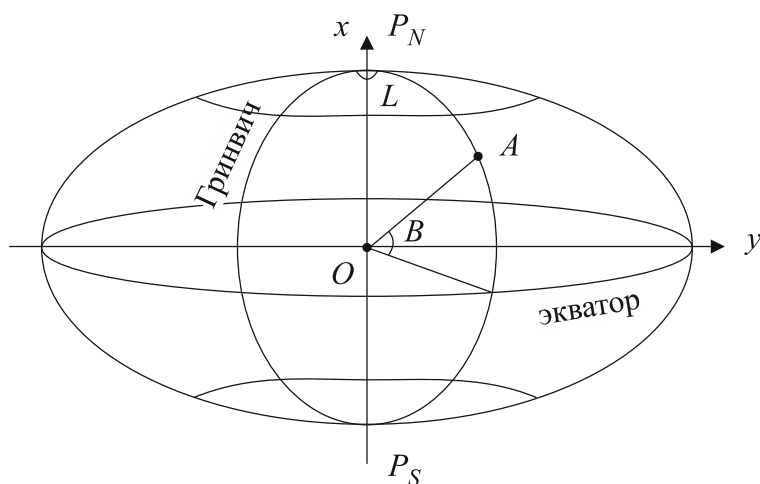


Рис. 2.3 – Схема определения положения точки в геодезической системе координат

$B$  — угол между нормалью к поверхности эллипсоида в данной точке и плоскостью экватора. Взаимное расположение отвесных линий и нормалей к поверхности референц-эллипсоида и геоида приведено на рисунке 2.4.



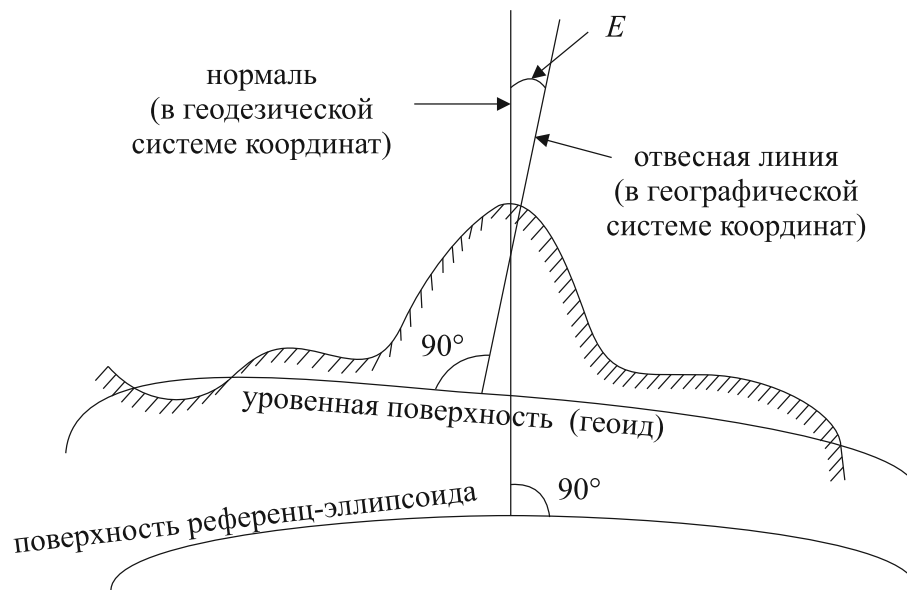


Рис. 2.4 – Схема расположения отвесных линий и нормалей к поверхности референц-эллипсоида и геоида

$E$  — уклонение отвесной линии от нормали. Среднее значение  $E$  равно примерно  $3-4''$ , в отдельных регионах до десятков секунд. Учитывая, что  $1''$  равен примерно 31 м на поверхности Земли, координаты одной и той же точки в географической и геодезической системах координат могут различаться на 100 м и более.

**Система прямоугольных координат.** Схема использования *прямоугольных координат* изображена на рисунке 2.5.

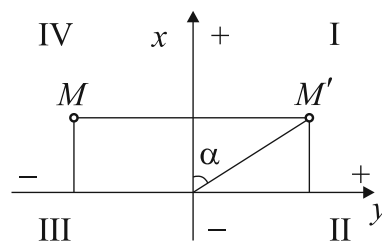


Рис. 2.5 – Положение точек  $M$  и  $M'$  в системе прямоугольных координат

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

**Полярная система координат.** Схема использования полярной системы координат изображена на рисунке 2.6, где  $O$  — полюс, а  $OX$  — полярная ось (меридиан). Положение любого пункта можно определить по радиусу  $r(d)$  и углу  $\Theta$ .

**Зональная система координат.** Зональная система координат используется для определения прямоугольных координат в проекции Гаусса–Крюгера. Поверхность Земли разбивается на 60 зон, каждая по  $6^\circ$  шириной. Так как абсциссы  $x$  отсчитываются от экватора к полюсам, то для территории России, расположенной в северном полушарии, они будут всегда положительными. Ординаты же в каждой

зоне будут как положительными, так и отрицательными, в зависимости от того, где находится точка по отношению к осевому меридиану (запад –; восток +).

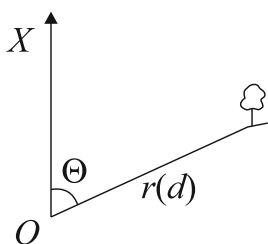


Рис. 2.6 – Система полярных координат

Для удобства в работе необходимо избавиться от отрицательных значений ординат в пределах каждой зоны. Расстояние от осевого меридиана зоны до крайнего меридиана даже в самом широком месте зоны  $\approx 330$  км. Но для расчетов удобнее взять расстояние, равное круглому числу километров. С этой целью, ординату осевого меридиана зоны условились считать равной 500 км. За начало координат для каждой зоны принимают точку с координатами  $x = 0$  км,  $y = 500$  км (рис. 2.7). Так как одинаковые координаты точек могут повториться в каждой из 60 зон, необходимо указывать номер зоны, в которой расположен данный пункт (при указании координаты  $y$ ).

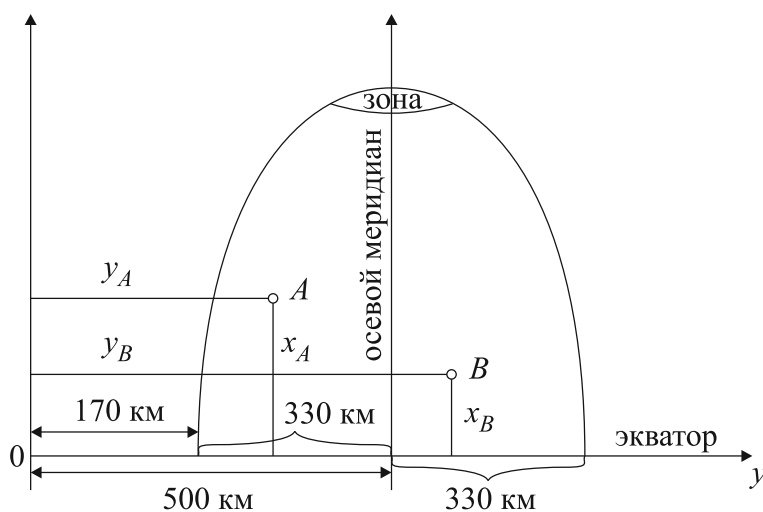


Рис. 2.7 – Зональная система координат

Пример 7-й зоны:

$$x_A = 6\,136\,000 \text{ м}, \quad x_B = 4\,200\,000 \text{ м.}$$

$$y_A = 7\,316\,000 \text{ м}, \quad y_B = 7\,630\,000 \text{ м.}$$

## 2.4 Картографические проекции



.....  
**Картографической проекцией** называют математически определенный способ отображения поверхности эллипсоида на плоскости. Картографическая проекция устанавливает соответствие между географическими (геодезическими) координатами точек геоида (земного эллипсоида) и прямоугольными координатами тех же точек на плоскости [3].  
 .....

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

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

называемыми уравнениями картографических проекций.

В геодезической системе координат также используется два уравнения

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

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

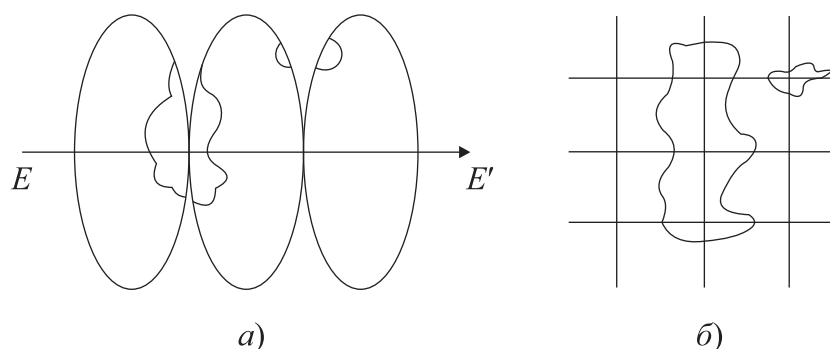


Рис. 2.8 – Формирование непрерывного изображения: а) объекты на поверхности эллипсоида, б) изображение объектов на карте

Поскольку поверхность эллипсоида или шара нельзя развернуть в плоскости без искажений, непрерывность и однозначность изображения на плоскости достигаются как бы за счет неравномерной деформации поверхности эллипсоида при совмещении её с плоскостью. Отсюда следует, что масштаб изображения не может быть постоянным. Причем меняется масштаб не только от точки к точке, но и в одной и той же точке в зависимости от направления [2].

*Главный масштаб длин* — это масштаб, который показывает, во сколько раз уменьшены линейные размеры эллипсоида или шара при их отображении на карте.

Он сохраняется не по всей карте, а только в отдельных ее точках или линиях, где нет искажения длин.

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

*Частным масштабом длин* называют отношение длины бесконечно малого отрезка на карте  $dS'$  к длине соответствующего бесконечно малого отрезка  $dS$  на поверхности эллипсоида или шара

$$\mu = \frac{dS'}{dS}.$$

На карте чаще всего подписывается главный масштаб длин.

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

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

Из сказанного выше следует, что карте присущи искажения длин, площадей, углов и форм.

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

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

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

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

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

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

Наиболее полно все виды искажений в данной точке на карте характеризуются эллипсом искажений (рис. 2.9), где  $m$  — частный масштаб длин по меридианам;  $n$  — частный масштаб длин по параллелям;  $a$  — максимальный частный масштаб длин в точке;  $b$  — минимальный частный масштаб длин в точке.

*Эллипс искажений* в данной точке карты изображает бесконечно малый круг на поверхности относимости. Полуоси эллипса искажений равны величинам максимального и минимального частных масштабов длин в данной точке. Форма эллипса

характеризует искажения углов и форм — они искажены тем больше, чем больше эллипс отличается от окружности. Площадь эллипса пропорциональна искажению площадей, и тем она больше, чем больше искажены площади.

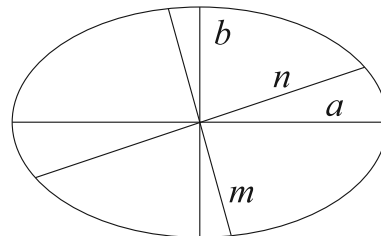


Рис. 2.9 – Эллипс искажений

## Классификация картографических проекций

Проекции классифицируют:

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

### Классификация проекций по характеру искажений.

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

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

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

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

### Классификация проекций по виду вспомогательной поверхности.

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

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

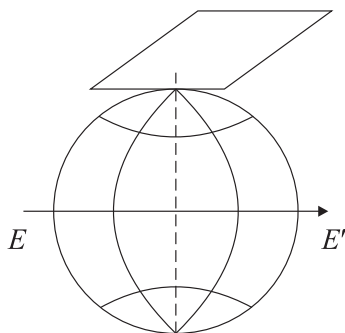


Рис. 2.10 – Азимутальная проекция, случай касательной плоскости

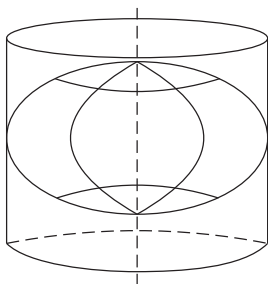


Рис. 2.11 – Цилиндрическая проекция, случай касательного цилиндра

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

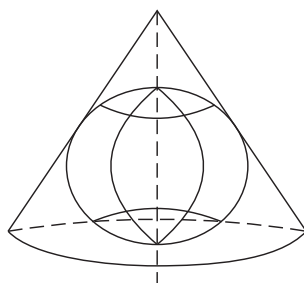


Рис. 2.12 – Коническая проекция, случай касательного конуса

#### Классификация проекций по ориентировке.

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

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

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

#### Классификация проекций по виду нормальной картографической сетки.

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

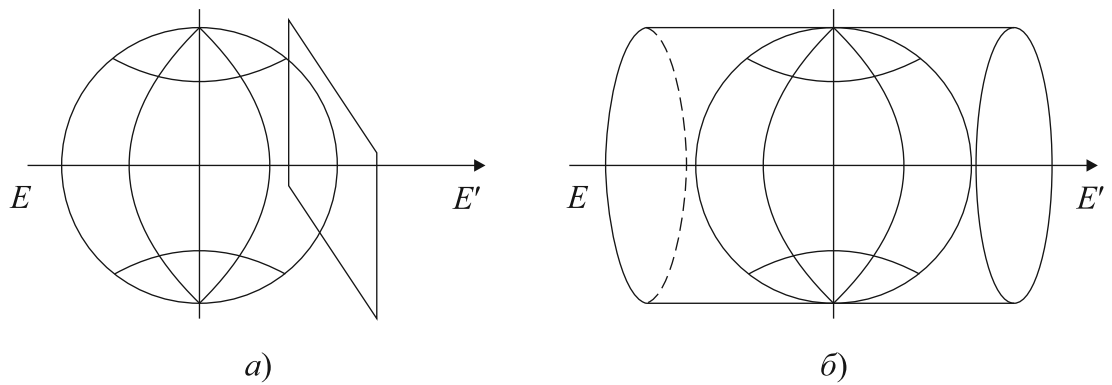


Рис. 2.13 – Примеры поперечных проекций: а) случай касательной плоскости; б) цилиндрической поверхности

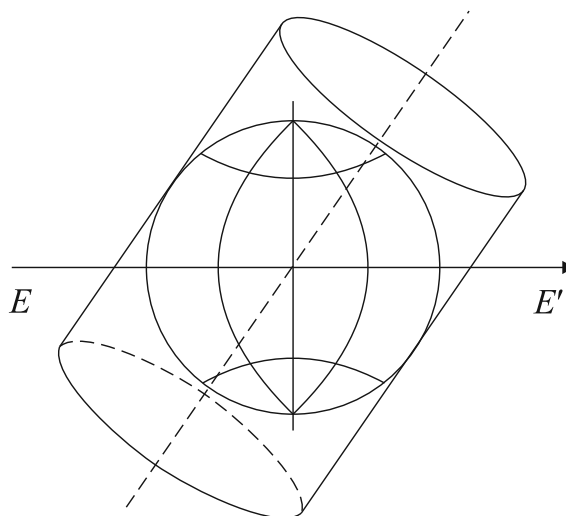


Рис. 2.14 – Пример косо́й проекции

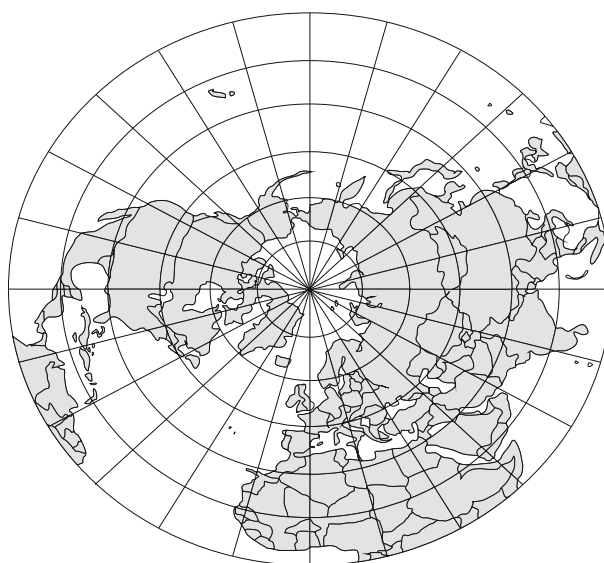


Рис. 2.15 – Азимутальная проекция

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



Рис. 2.16 – Коническая проекция

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

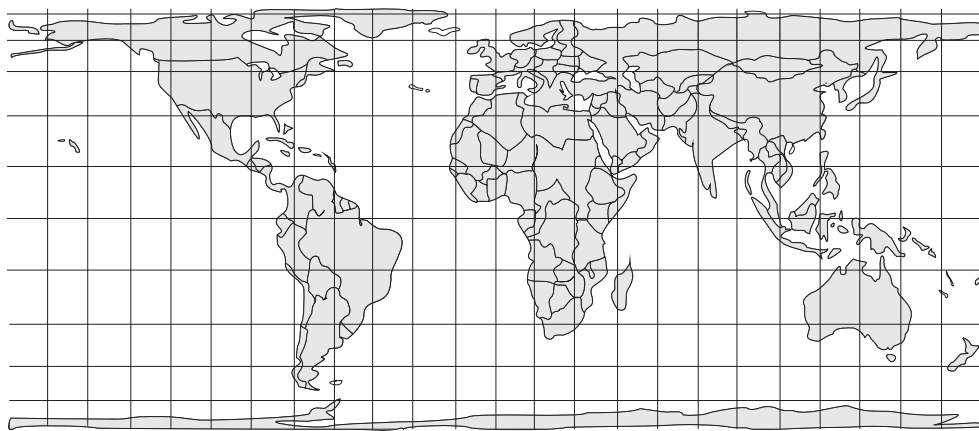


Рис. 2.17 – Цилиндрическая проекция

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

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

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



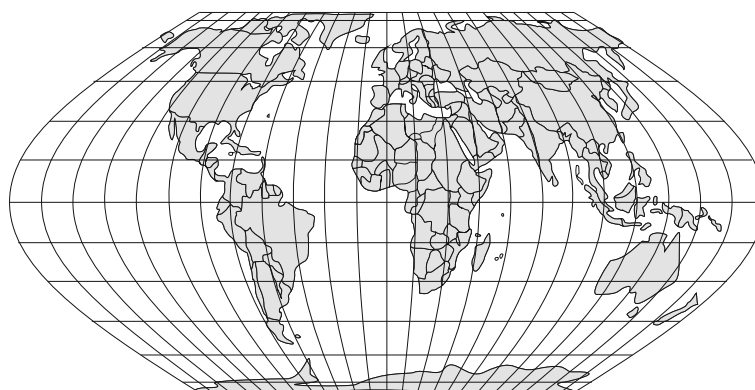


Рис. 2.18 – Псевдоцилиндрическая проекция

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

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

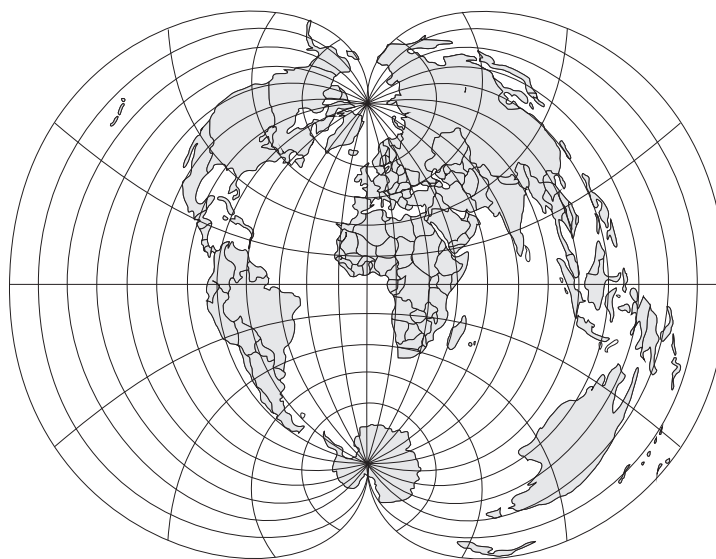


Рис. 2.19 – Поликоническая проекция

#### **Классификация проекций по способу получения.**

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

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

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

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

**Классификация проекций по особенностям использования.**

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

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

**Равноугольная поперечно-цилиндрическая проекция Гаусса—Крюгера.**



.....  
 Для всех топографических карт в нашей стране применяется проекция Гаусса—Крюгера.  
 .....

Проекция равноугольная, средний меридиан изображается прямой линией без искажений, экватор изображается прямой, перпендикулярной к среднему меридиану. Все остальные меридианы криволинейны и симметричны относительно среднего меридиана и экватора [1, 3].

Полоса отображения в проекции представляет собой шестиградусную или трехградусную зону.

Координатными осями для каждой зоны являются прямолинейный средний меридиан — ось абсцисс и прямолинейный экватор — ось ординат. Счет координатных зон при разбиении земного эллипсоида ведется с запада на восток. Долгота осевого меридиана первой зоны равна  $3^\circ$  (т. к. он посередине зоны, а отсчет этой зоны идет от гринвичского меридиана). Номер зоны  $N$  и долгота осевого меридиана  $L$  связаны равенством

$$L = 6N - 3.$$

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

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

$$L = 6 \cdot 15 - 3 = 90 - 3 = 87.$$

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

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

При разворачивании цилиндра в плоскость осевой меридиан изображается без искажения прямой  $PP'$  (рис. 2.22) и его принимают за ось  $x$ . Экватор  $EE'$  также изображается прямой, перпендикулярной к осевому меридиану. Он соответствует

оси  $yy$ . Началом координат в каждой зоне служит точка  $O$  — пересечение осевого меридиана и экватора. Таким образом, положение любой точки определяется прямоугольными координатами  $x$  и  $y$ .

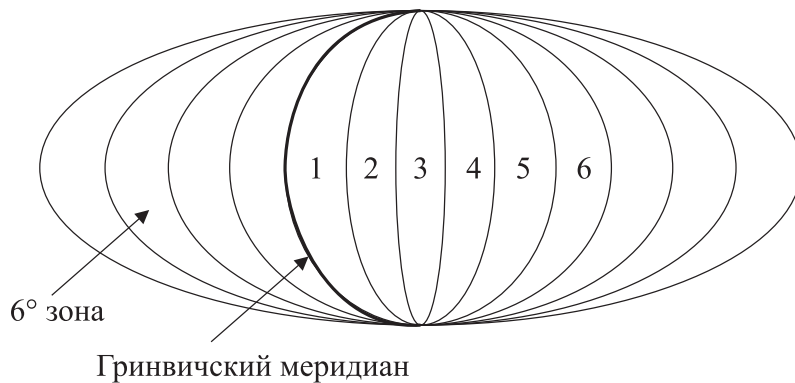


Рис. 2.20 – Схема многополосного изображения земного эллипсоида

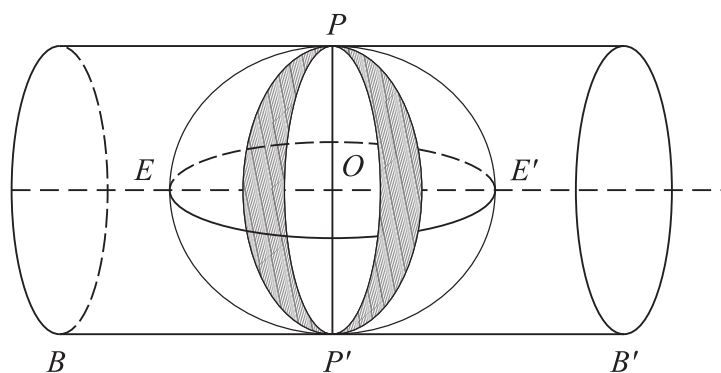


Рис. 2.21 – Схема разворачивания поверхности эллипсоида с помощью цилиндра

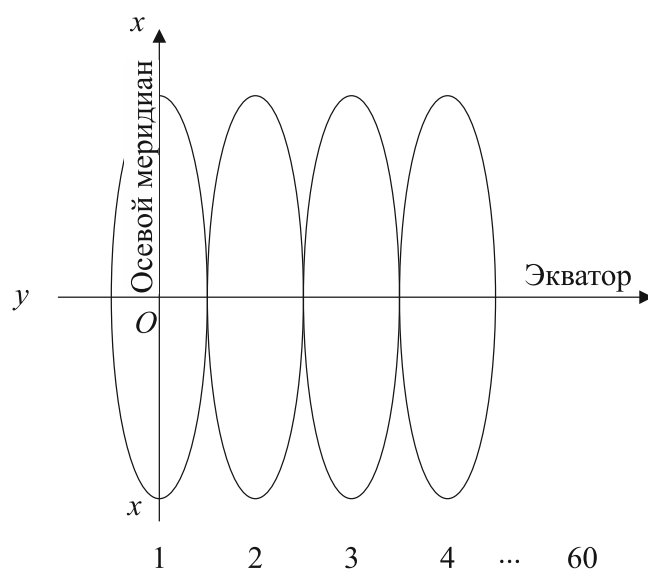


Рис. 2.22 – Результат разворачивания цилиндра на плоскости

## 2.5 Разграфка и номенклатура листов топографических карт и планов

Классификация карт и планов по масштабу осуществляется так:

1. Планы — 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000.
2. Крупномасштабные (детальные) топографические карты — 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000.
3. Среднемасштабные (обзорно-топографические) карты — 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000.
4. Мелкомасштабные (обзорные) карты — 1:2 500 000, 1:4 000 000, 1:8 000 000, 1:20 000 000.

Лист топографической карты любого масштаба по размерам должен быть удобным как при его создании, печатании тиража, так и при пользовании им. С учетом этого установлено, что размер одного листа не должен быть больше  $50 \times 50$  см. Но на одном таком листе изображается незначительный участок местности, поэтому карты на значительную (обширную) территорию являются многолистными [1].



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

***Номенклатура** — обозначение отдельных листов многолистных топографических карт и планов в единой системе.*

.....

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

Географические координаты углов рамки листа карты масштаба 1 000 000 по его номенклатуре определяют следующим образом [2].

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

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

Соответствие масштабов и номенклатуры листов приведено в таблице 2.1.

Последние две строки для планов местности с площадью  $S > 20$  км.

Таблица 2.1 – Масштабы и номенклатура листов карты

Номенклатура		Размер листа	
		по широте	по долготе
1:1 000 000	$N - 37$	$4^\circ$	$6^\circ$
1:500 000	$N - 37 - A$ (от А до Г)	$2^\circ$	$3^\circ$
1:200 000	$N - 37 - XXXVI$ (от I до XXXVI)	$0^\circ 40'$	$1^\circ$
1:100 000	$N - 37 - 144$ (от 1 до 144)	$0^\circ 20'$	$0^\circ 30'$
1:50 000	$N - 37 - 144 - r$ (от А до Г)	$10'$	$15'$
1:25 000	$N - 37 - 144 - r - r$ (от А до Г)	$5'$	$7' 30''$
1:10 000	$N - 37 - 144 - r - r - 4$ (от 1 до 4)	$2' 30''$	$3' 45''$
1:5000	$N - 37 - 144 - 256$	$1' 15''$	$1' 52'' 5$
1:2000	$N - 37 - 144 - 256 - U$	$0' 25''$	$0' 37'' 5$



### Пример

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

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

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



### Контрольные вопросы по главе 2

1. Почему для российских картографов важна модель Земли в виде эллипсоида Красновского?
2. Проведите анализ, в какой системе координат – географической или геодезической – можно получить более точные координаты реальных объектов.
3. Какой линейный масштаб чаще всего подписывается на картах?
4. Покажите, что все виды искажений в картографических проекциях связаны друг с другом.
5. Почему, на ваш взгляд, используется такое большое число (несколько десятков) картографических проекций?
6. Приведите примеры производных проекций, получаемых преобразованием известных вам проекций.
7. Почему работа с электронными картами более удобная и производительная, чем с картами на твердом носителе?

---

## Глава 3

# МОДЕЛИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

---

### 3.1 Типы пространственных объектов в ГИС



.....  
*Данные, вводимые в ГИС, хранимые и обрабатываемые там, носят название **пространственных или географических данных**, если они снабжены указанием на их локализацию в пространстве с помощью позиционных атрибутов.*  
.....

Именно благодаря атрибуту пространства с помощью программных средств ГИС допускаются и выполняются операции пространственного анализа пространственных данных и моделирования. С другой стороны, введение атрибута «пространство» в описание (цифровое представление) данных об объекте порождает ряд проблем, связанных с вводом данных в компьютерную среду и с оперированием ими.

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

но получить расстояние от географического центра до столицы России. Это можно сделать, используя картометрические операции ГИС, причем как операции на референц-эллипсоиде (в этом случае расстоянию будет соответствовать длина геодезической линии между искомыми пунктами) или на эквивалентном ему шаре (тогда это будет длина отрезка дуги большого круга), так и в проекции карты [1].

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

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



.....  
 Выделяют четыре *типа пространственных объектов*: точечные (точки), линейные (линии, полилинии), площадные (области, ареалы, полигоны) и поверхности (рельефы), 0-, 1-, 2- и трехмерные соответственно. Часто поверхности называют геополями [1–4].  
 .....

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

## 3.2 Понятие о моделях пространственных данных

Рассмотрим принципы организации моделей пространственных данных [1–4]. Первый из них — *принцип послойной организации данных*. Он очень нагляден и хорошо соотносится с приемами традиционной картографии. Принцип заключается в том, что используется некоторое деление объектов на тематические слои, и объекты, отнесенные к одному слою, образуют некоторую логически (а часто и физически) отдельную единицу данных. Например, они собираются в один файл или в одну директорию, имеют единую и отдельную от других слоев систему идентификаторов. К данным, описывающим один слой, можно обращаться как к некоторому множеству. Чаще всего этот принцип реализуется так. Всё множество объектов разделяется на подмножества. Каждое из подмножеств — это множество *однотипных* и *однородных объектов*, образующих слой данных. Примером точечных слоев могут служить множества населенных пунктов, эпицентров землетрясений, высотных отметок рельефа местности. Речная сеть и сеть автомобильных дорог — примеры линейных слоев. Контуры типов растительности и типов почв на геоботанических и почвенных картах — источник данных для соответствующих полигональных слоев. Поверхности (рельефы, геополя) могут быть представлены физическим рельефом местности, барическим рельефом или иными геофизическими полями и использоваться для описания особого типа пространственных объектов — тел. В качестве примера на рисунке 3.1 приведена карта, состоящая из трех слоев, содержащих однотипные объекты. Первый слой — слой точечных объектов, описывающих населенные пункты. Второй слой — это представление гидро-сети в виде линейных объектов. Третий слой содержит полигоны, описывающие разведанные запасы подземных вод на территории Томской области.

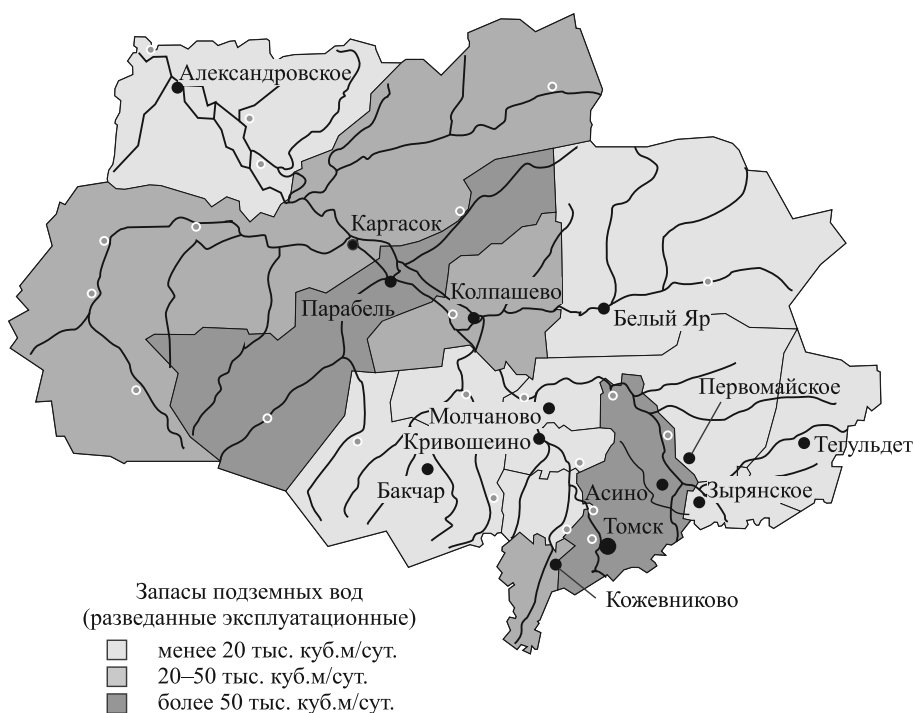


Рис. 3.1 – Карта запасов подземных вод Томской области



Это простейший случай, когда объекты в каждом из слоев однотипные. Но может быть послойное разделение, когда объекты не однотипные.

Другой *принцип, называемый объектно-ориентированным*, делает акцент не столько на общих свойствах объектов, сколько на их положении в какой-либо сложной иерархической схеме классификации, на взаимоотношениях между объектами. В силу этого удобно отображаются в слоях различные родственные и генетические отношения между объектами, а также функциональные связи между объектами. Этот подход менее распространен, чем послойный, в основном, из-за больших трудностей при его практической реализации. В современной практике в организации моделей данных в ГИС преобладает послойный принцип. Однако существует возможность использования обоих подходов совместно. Это перспективное направление для дальнейших исследований.

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

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

Наиболее универсальными и употребительными из моделей пространственных данных являются:

- растровое представление;
- векторное представление;
- регулярно-ячейчатое представление;
- квадротомическое представление (квадродерево).

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

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

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

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

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

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

Любая модель данных в ГИС должна иметь дело, в первую очередь, с индивидуальными (элементарными) пространственными объектами. В базы данных по каждому из них должна заноситься информация, по крайней мере, трех типов: идентификатор, пространственные данные об объекте и его атрибуты. С каждым индивидуальным объектом должен быть связан уникальный идентификатор, например какой-то номер, часто формальный, присваиваемый объекту программой или человеком при вводе информации об этом объекте в базу данных. Атрибутивные данные описывают характеристики объекта, причем они могут быть числовыми, текстовыми значениями каких-то характеристик, наиболее адекватно с точки зрения проектировщика баз данных описывающих объект.

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

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

**Первый принцип**, иногда называемый **геореляционным**, указывает на то, что пространственный компонент данных об объекте организовывается по-своему,

а атрибутивный — по-своему, между ними просто устанавливаются и поддерживаются связи через идентификатор объекта. При реализации этого принципа обычно пространственные данные хранятся отдельно от атрибутивных в своих файлах или системах файлов. Атрибутивные данные организованы в рамках реляционной модели данных в виде таблиц, которые управляются с помощью реляционной системы управления базами данных (СУБД). Эта СУБД может быть встроена в программное обеспечение ГИС как его функциональная подсистема или может быть внешней по отношению к ГИС. Часто в универсальных ГИС (MapInfo, ArcView, ArcInfo и др.) реализуются оба подхода: есть простая встроенная в ГИС СУБД, работающая с атрибутивными данными, и возможно использование внешних СУБД для управления базами атрибутивных данных. Этот принцип связан с тем, что трудно добиться одновременной оптимизации хранения и пространственных, и атрибутивных данных.

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

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

Рассмотрим более детально каждый класс моделей пространственных данных [1–4].

### 3.3 Растровые модели данных



.....  
**Растровая модель данных** — это цифровое представление пространственных объектов в виде совокупности ячеек растра (пикселей) с присвоенными им значениями класса объектов.  
 .....

Растровое представление предполагает позиционирование объектов указанием их положения в соответствующей растру прямоугольной матрице единообразно для всех типов пространственных объектов (точек, линий, полигонов и поверхностей).

Ранние реализации ГИС (конца 60-х — начала 70-х годов прошлого столетия) ориентировались на «ячеистые» структуры (ячейки регулярных сетей как элементы территории). Затем появились ГИС, в которых использовались растровые модели данных (модели, определение которых полностью совпадает с тем современным определением растровых моделей, что мы дали выше). В настоящее время растровые ГИС продолжают повсеместно использоваться. Примером таких ГИС является ГИС Idrisi (США).

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

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

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

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



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

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

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

При обмене растровыми изображениями между ГИС одним из острых вопросов является передача привязки растров к координатным системам. Стандартные

форматы растровых изображений не включают таких параметров, как сдвиг растра относительно начала координат, проекцию растра и т. п. Поэтому в целях обмена изображениями между ГИС перспективно использование соответствующих расширенных форматов растров, позволяющих передавать такие параметры в другую ГИС. Примером может являться графический формат GeoTIFF.

Заметим, что преобразования (обработка) растровых изображений — это достаточно серьезная проблема с точки зрения качества преобразования и изучается она в теории обработки изображений. Обеспечение высокого качества растра при преобразованиях требует значительных накладных расходов, поэтому некоторые фирмы-производители программного обеспечения ГИС часто жертвуют качеством для повышения скорости преобразования. Пользователям ГИС, в которых ведется преобразование растровых изображений, следует не ограничиваться вопросом о наличии функций для реализации таких преобразований, а необходимо более подробно изучать вопрос о методах и алгоритмах этих преобразований.

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

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

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

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

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

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

*Ориентация* — угол  $\alpha$  между направлением на север и положением колонок растра.

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

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

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

Необходимо остановиться на вопросах точности отображения в растровых моделях. В растровых форматах в большинстве случаев неясно, относятся коорди-

наты к центральной точке пикселя или к одному из его углов. Поэтому точность привязки элемента растра в общем случае определяют как половину ширины и высоты ячейки.

Растровые модели имеют следующие достоинства:

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

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

#### ***Метод группового кодирования.***

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

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

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

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

Обычно ввод данных осуществляют слева направо, сверху вниз.



Пример

Рассмотрим, например, бинарный массив матрицы (5 × 6):

```
000111
001110
001110
011111
011111
```

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

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

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

#### ***Регулярно-ячеистое представление данных.***

Регулярно-ячеистое представление пространственных объектов путем соотнесения объектов с территориальными регулярными ячейками некоторых сетей — это модель, используемая в первых геоинформационных проектах (например, CGIS, Канада). Этот подход включает разбиение территории на ячейки правильной геометрической формы (прямоугольной, квадратной, треугольной и т. п.) в некоторой системе координат. На рисунке 3.2 изображен фрагмент городской территории, покрытый прямоугольной сеткой — в качестве ячеек выступают прямоугольные ячейки. Размер ячеек зависит от того, с какой детальностью мы хотим описать территорию. Сеть может строиться на плоскости или поверхности эллипсоида, в последнем случае регулярными ячейками являются сферические трапеции заданного углового размера. Размеры ячеек могут быть различными и определяются требуемым пространственным разрешением.

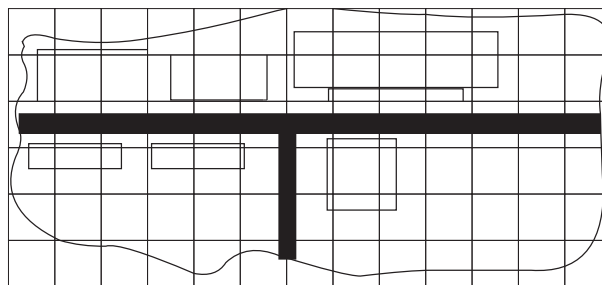


Рис. 3.2 – Разбиение фрагмента городской территории на сеть прямоугольников

Наиболее часто употребляемыми регулярными плоскими моделями являются квадрат и треугольник (рис. 3.3). Треугольники служат также хорошей основой для создания выпуклых (сферических) покрытий.

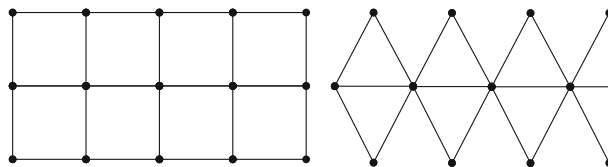


Рис. 3.3 – Типы регулярных моделей

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

#### ***Квадратомическая модель данных.***

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

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

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

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

Квадратомическая модель используется, в основном, для компактного представления растров, но иногда она применяется и для компактного представления векторных данных. *Квадратомическое дерево* основано на рекурсивном разделении квадрата на квадранты и подквадранты до тех пор, пока все подквадранты не станут однородными по отношению к значению изображения, например по цветам, или пока не будет достигнут предопределенный заранее наименьший уровень разрешения [2, 3].

## 3.4 Векторные модели данных

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



отображения. Векторные модели исторически связаны с устройствами оцифровки карт векторного типа (векторными устройствами ввода) — оцифровщиками (дигитайзерами) с ручным обводом, генерирующими поток пар плановых координат при движении курсора (обводной головки) по планшету оцифровщика при отслеживании объектов помещенного на нем оригинала.

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



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

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

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

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

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

## Векторные нетопологические модели

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

Множество *линейных* объектов (например, элементов гидросети), образующих однородный слой (в данном примере он не может содержать границ внутренних водоемов, точнее, это не всегда допустимо или желательно), может быть представлено *последовательностью координат точек*, аппроксимирующих кривые, соответствующие этим объектам, ломаными (дугами, нитями), составленными из линейных отрезков (рис. 3.4).

Именно с представлениями линейных объектов в виде последовательности образующих их точек связано изначально понятие о векторном формате представ-

ления данных: любая кривая может быть описана с заданной точностью совокупностью отрезков прямых — сегментов или векторов. Линейные отрезки, на которые первоначально разбивается слой линейных сетей, могут быть представлены идентификаторами и упорядоченными последовательностями значений координат образующих их точек.

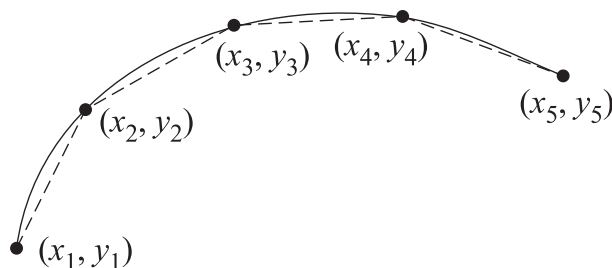


Рис. 3.4 – Пример векторного представления линейного объекта



### Пример

Например, такая модель реализована в векторных форматах ГИС Idrisi и ArcInfo (форматы приведены в табл. 3.1). Как видно из таблицы 3.1, кроме идентификатора линейного отрезка (№1) и координатных пар пяти (в нашем случае) точек, запись должна содержать элемент, позволяющий выделить заданный линейный объект (набор из 4 отрезков) в общей совокупности записей линейных объектов слоя (которому соответствует обычно файл данных).

Таблица 3.1 – Векторные форматы представления линейных отрезков

<i>A</i>	<i>B</i>
1 5	1
$x_1 y_1$	$x_1 y_1$
$x_2 y_2$	$x_2 y_2$
$x_3 y_3$	$x_3 y_3$
$x_4 y_4$	$x_4 y_4$
$x_5 y_5$	$x_5 y_5$
	END

В первом случае в ГИС Idrisi (*A*) это делается путем помещения вслед за идентификатором (1) целого числа (5), указывающего число координатных пар, во втором в ГИС ArcInfo (*B*) линейные отрезки отделяются друг от друга меткой (словом END).

Запись линейного объекта может содержать также позиции для семантических (смысловых) атрибутов. Описанный формат представления линейных объектов (линейных сетей или границ контурных объектов) носит название «спагетти»,

поскольку он не содержит аппарата описания топологических отношений между линейными объектами и их элементами, которые могут соответствовать, например, указанию соподчиненности «главный водоток — приток» в линейных сетях или указанию принадлежности линейных отрезков к описываемым ими контурам. Такие модели (представления) называются *векторными нетопологическими*.

Рассмотрим простейший случай описания контуров (полигонов): каждый именованный контур (со своим идентификатором) представляется записью пар координат, образующих его границу в виде совокупности линейных отрезков в избранной последовательности (например, по часовой стрелке). Каждый линейный отрезок, заключенный между двумя узловыми точками, может быть описан, в общем случае, дважды — при движении по и против часовой стрелки. При обходе контура по часовой стрелке полигон должен оставаться справа, при обходе против часовой стрелки — слева. Как только координаты узла повторятся, значит, контур замкнут, обход закончен. Этот способ представления контурных объектов в виде полигонов (сейчас становится понятным происхождение этого термина, используемого в большинстве ГИС: контур описывается отрезками прямых) является векторным нетопологическим. Он применяется на практике в недорогих программных средствах ГИС, не предусматривающих поддержку векторных топологических представлений и их обработку [1].



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

## Векторные топологические модели

Более перспективными, особенно в муниципальных ГИС и в ГИС для управления инженерными сетями, являются векторные топологические модели. Векторные топологические представления обязаны своим происхождением задаче описания контурных объектов [1, 2].

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

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

Попытаемся представить «воздушную» конструкцию, состоящую из палочек, скрепленных концами между собой (например, на концах есть крючки для сцепления). Если манипулировать ими как фокусник, то конструкция вследствие *связанности* концов палочек остается целостной: форма её изменяется, но каждая

палочка, если она была связана с конкретными соседями, так и осталась с ними связанной, как бы мы ни подбрасывали или ни сгребали в охапку такую конструкцию.

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

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

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

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

*Метрическое пространство* — множество точек (элементов), на котором задана метрика.

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



.....  
 Картография занимается отображением (моделированием) метрических пространств. Причём выполняется это на плоскости — также метрическом пространстве. Крупномасштабные карты, отображая плоскость, выполняют отображение «плоскость участка земной поверхности — плоскость карты», а мелкомасштабные выполняют отображение «сферическая поверхность (эллипсоид, геоид) — плоскость карты».  
 .....

В картографии принципиально работают с топологическими пространствами, и обойти это нет не только необходимости, но и возможности. Другими словами, изображение на карте объектов принципиально топологично, поскольку изображение лежит на плоскости — в топологическом пространстве. Действительно, если нарисовать карту на плоской резине, а потом растянуть её в разных направлениях, то объекты (картографические изображения) деформируются, но отношения (связи) между их элементами останутся без изменений; смежные линии разных

фигур, как бы связанные своими концами с другими элементами, так и остались в этом «виде». Лишь формы линий изменятся. Именно поэтому окружность, эллипс, прямоугольник и квадрат имеют одни и те же топологические свойства при деформациях.

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

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

Такая ситуация, например, имеет место в объектных ГИС. Так, в ГИС MapInfo вы легко можете нарисовать полигон, и при этом хорошо видно, что этот полигон является топологической конструкцией: вам ни за что не удастся «вынуть» из полигона какое-нибудь его ребро, значит, полигон создан не из «спичек». Тогда что же — MapInfo является топологической ГИС? — Нет! Просто в геоинформатике давно уже произошло редуцирование понятий. ГИС MapInfo на самом деле поддерживает только так называемую внутриобъектную топологию, т. е. формирует и соблюдает топологические отношения в пределах таких базовых объектов, как полилинии и полигоны, которые состоят из примитивов (точек и отрезков прямых). Последние же являются элементарными, а потому — нетопологическими «микроструктурами». Однако ГИС-специалисты не называют MapInfo топологической ГИС, поскольку внутриобъектной топологии мало для того, чтобы носить высокое звание топологической системы. Нужно, чтобы топологические отношения (скрепления) можно было устанавливать не только между элементами в объектах, но и между любыми отдельными объектами, например соседними полигонами, имеющими общие вершины.

В общем смысле слово *топологический* означает, что в модели пространственного объекта хранятся взаимосвязи, которые расширяют использование данных в ГИС для различных видов пространственного анализа [1–3].

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

Топологическое векторное представление данных отличается от нетопологического наличием исчерпывающего списка взаимоотношений между пространствен-

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

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

Топологические модели в ГИС задаются совокупностью следующих характеристик [1–3].

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

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

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

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

Ребра графа покрытия описывают границы между полигонами, а его узлы (вершины) представляют точки смыкания этих полигонов. Степень вершины такого графа — это число полигонов, которые в ней смыкаются. Граф смежности — это как бы вывернутый наизнанку граф покрытия. В нем полигоны отображаются узлами (вершинами), а пара смыкающихся полигонов — ребрами. На основе такого графа ГИС может выдать ответ на запрос, является ли проходимой рассматриваемая территория, разделенная на проходимые и непроходимые участки.

Топологические характеристики сопровождаются позиционной и атрибутивной информацией. Вершина графа покрытия может быть дополнена координатны-

ми точками, в которых смыкаются соответствующие полигоны, а ребрам приписывают левосторонние и правосторонние идентификаторы.

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

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

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

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

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

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

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

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

### Линейно-узловая топологическая модель

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

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

На рисунке 3.5 приведен пример такого представления. Узлы 1, 2, 3, 6, 8, 10, 11, 12, 13. Промежуточные точки линейных сегментов (дуг): 4, 5, 7, 9, 14, и 15. Дуги (1–2), (2–3), (3–6), (6–8), (8–1), (8–6), (6–10), (10–11), (11–8), (3–12), (12–10), (10–6),

(6–3), (13–14), (14–15), (15–13). Полигоны: *A*, *B*, *C* и *D* («остров», анклав, для описания которого вводится фиктивный узел 13). *E* — это полигон, внешний по отношению ко всем полигонам в пределах прямоугольного участка. Между объектами на рисунке 3.5 установлены некоторые топологические отношения, необходимым элементом которых является связь имен полигонов и дуг. Последним приписывается указатель правого и левого полигонов, конвенциализируя направление обхода контуров. Фиктивный узел 13 нужен для организации полигона *D*.

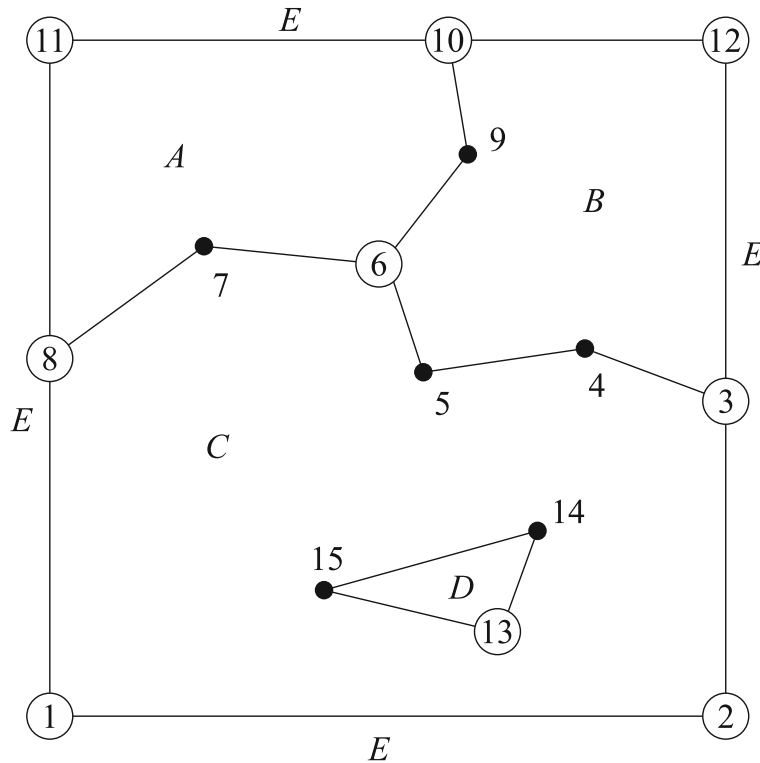


Рис. 3.5 – Пример линейно-узловой топологии

### Преобразования «вектор-растр» и «растр-вектор»

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

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

*Растрово-векторное преобразование, векторизация* — это автоматическое или полуавтоматическое преобразование (конвертирование) растрового представления объектов в векторное с помощью определенного набора операций. В этот набор



включаются, как правило, скелетизация растровой записи линии, ее «утонышение», генерализация с применением операторов разрядки, т. е. устранение избыточных промежуточных точек в цифровой записи линий, их сглаживание, упрощение рисунка, устранение разрывов и удаление висячих линий.

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

Отметим, что процесс векторизации включает ряд трудо- и времязатратных операций, значительная часть из которых поддается автоматизации. К таким операциям относятся: индикация и устранение разрывов линий, их утонышение или «скелетизация» изображения. После этих операций обычно применяются автоматизированные операции корректировки геометрии и топологии результирующей векторной записи, выполняемые опытным оператором. При векторизации возможно появление побочных эффектов. Один из таких эффектов проявляется в виде небольших по размерам «паразитных» полигонов, нарушающих топологию совокупности естественных полигонов. Для удаления паразитных полигонов часто используется ценз отбора, связанный с их размером [1–4].

## 3.5 Модели поверхностей



.....  
*Поверхность (геополе, рельеф)* — трехмерный объект (3D) — один из четырех основных типов пространственных объектов, определяемый не только плановыми координатами  $x$ ,  $y$ , но и аппликатой  $z$  (значение геополя), т. е. определяемый тройкой координат [4, 5].  
 .....

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

Вообще с математической точки зрения размерность геополя равна 2: географические координаты  $x$  и  $y$  — это независимые параметры модели, а значения геополя  $z$  зависят от этих параметров как функция  $z = f(x, y)$ .

Однако в отличие от площадных объектов геополе невозможно «полностью» отобразить на плоскости, поэтому и в картографии, и в геоинформатике эти модели обычно показывают способом изолиний. Для того чтобы отделить такие модели от моделей площадных объектов, придумали специальное название «2,5D цифровые модели», подчеркивая тем самым, что хотя модель в математическом плане

и двумерна, отображена она может быть только в трехмерном пространстве. ГИС, позволяющие работать с такими моделями, называют соответственно 2,5D ГИС.

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

Следует различать цифровые модели геополя и формы их визуального представления. Формы визуального представления геополя ориентированы, в первую очередь, на *графическое* представление данных, а цифровые модели — на их *математическое* представление [4, 5].

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

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

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

**По форме ячеек сети.** Различают сети с квадратными, прямоугольными и гексагональными (треугольными) ячейками. Однако на практике в основном используют регулярные сети с квадратной и прямоугольной ячейками. Это обусловлено относительной простотой математического аппарата для оперирования такими данными и простотой алгоритмов их анализа. Фактически регулярная сеть представляет собой матрицу значений геополя, где каждая ячейка матрицы соответствует узлу регулярной сети.

**По способу вычисления значений** геополя между узлами сети. Наиболее часто встречаются следующие способы. *Способ ближайшего соседа.* Это наиболее простой способ вычисления значения геополя между узлами сети. Значение геополя в точке приравнивается к значению геополя в ближайшем узле регулярной сети. Такие регулярные сети называют *ячеистыми*. В итоге поверхность представляет собой набор смежных горизонтальных участков. Регулярные сети, в которых значение геополя в произвольной точке вычисляется на основе значений геополя в ближайших узлах сети, называют *решетчатыми*. Рассмотрим некоторые из них.

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

**Сплайн-интерполяция.** Этот способ также предполагает использование интерполяции. Но для построения локальной сплайн-поверхности необходимы значения геополя уже не в 4, а в 16 ближайших узлах сети. Наиболее часто используют бикубические сплайны, прежде всего из-за их особых свойств. Такая поверхность будет иметь минимальную кривизну, а первая и вторая производные на границах

ячеек будут непрерывные. Рассмотренный способ на практике встречается реже, чем способ билинейной интерполяции, так как, во-первых, с вычислительной точки зрения он уступает билинейной интерполяции, а, во-вторых, при уменьшении размеров ячейки сети точность аппроксимации поверхности увеличивается незначительно. Кроме того, при использовании сплайнов возникает вопрос о том, как вычислять значения в граничных областях, где не всегда можно задействовать 16 ближайших узлов. Тем не менее при большом шаге между узлами сети этот способ, по-видимому, является оптимальным как с вычислительной точки зрения, так и с точки зрения точности аппроксимации.

**Триангуляционная сеть** (Triangulated Irregular Network, TIN) — цифровая модель геополя, в основу которой положена триангуляция.



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

Одно и то же множество точек можно триангулировать разными способами. Для построения триангуляции наиболее часто используется критерий Делоне. Критерий Делоне предполагает, что описанная окружность треугольника не должна содержать в себе вершины других треугольников сети (рис. 3.6).

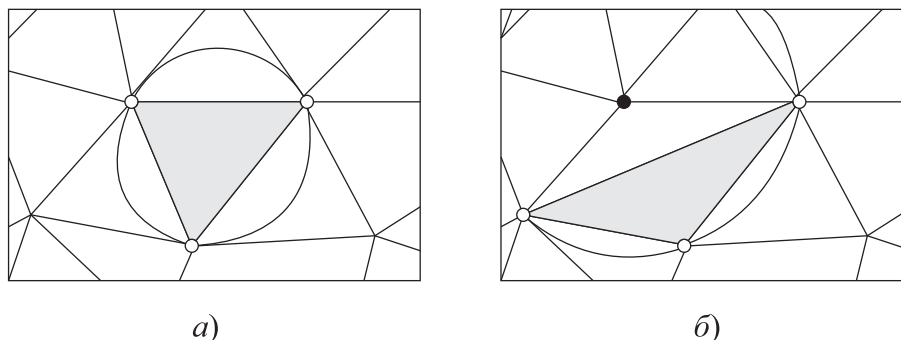


Рис. 3.6 – Критерий Делоне: а) критерий выполнен, б) критерий не выполнен

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

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

**Линейная интерполяция.** Метод линейной интерполяции предполагает вычисление значения геополя внутри каждого треугольника независимо от других треугольников сети. Три вершины любого треугольника сети составляют пространственный треугольник. Зная координаты точки, можно легко по уравнению плос-

кости вычислить значение геополя в искомой точке. Этот метод наиболее часто используется в триангуляционных сетях.

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

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

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

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

*Используемая оперативная память компьютера.* При одинаковом числе узлов для хранения триангуляционной сети требуется в несколько раз больше памяти по сравнению с регулярной сетью. Это связано с тем, что узлы триангуляционной сети расположены, как правило, неравномерно. Поэтому возникает необходимость хранить координаты каждого узла  $(x, y, z)$ , а также информацию о топологии сети. Напомним, что для хранения регулярной сети достаточно хранить лишь матрицу значений геополя и геометрию сети. Координаты узлов можно легко вычислить, зная геометрию сети. В то же время шаг регулярной сети, как правило, много меньше среднего расстояния между ближайшими исходными точками, что ведет к существенному увеличению занимаемой памяти. Таким образом, однозначно сказать, какая из моделей менее требовательна к памяти ЭВМ, сложно — все зависит от параметров самой модели и требуемой степени детализации при описании геополя.

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

здании регулярной сети эти данные в модель не включаются, что снижает точность аппроксимации поверхности.

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

**Избыточность модели.** Если плотность исходной сети точек соответствует сложности исследуемого явления, то триангуляционные модели, построенные по такой сети, описывают это явление без избыточности. Регулярные сети, напротив, описывают его с избыточностью. Ведь участки, в которых значение геополя не изменяется, в триангуляционной сети могут описываться одним или несколькими треугольниками, а в регулярной сети для этого потребуется намного большее число узлов.

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

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

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

- как правило, исходные точки, на основе которых формируется триангуляционная сеть, снимаются в характерных точках рельефа (в точках локальных минимумов и максимумов, в точках перегиба поверхности, в седловых точках);
- при моделировании рельефа необходимо учитывать дополнительную информацию об обрывах, оврагах, выступах и т. п.: это легко сделать в рамках триангуляционной сети;
- число исходных точек может достигать нескольких миллионов, а триангуляционная сеть позволяет хранить данные без избыточности. Регулярные модели наиболее популярны при моделировании геополей, общая картина о которых наблюдателю неизвестна. Такие модели применяются в геологии, геофизике, экологии и других областях, где объем исходных данных, используемых для моделирования, не так велик, а оперативное получение дополнительного значения геополя затруднительно или невозможно (например, может потребоваться бурение новой скважины или проведение дополнительных дорогостоящих геофизических исследований). Кроме того, использование большого числа математических методов позволяет фор-

мировать различные варианты таких моделей и оценивать их адекватность. Именно эти аргументы для многих исследователей при выборе модели геополя позволяют остановиться на регулярной модели геополя.

Существует модель, сочетающая в себе особенности регулярных и триангуляционных моделей — TGRID (triangulated grid). Такая модель позволяет использовать дополнительные данные для описания так называемых барьеров поверхности (breaks, barriers) при интерполяции исходных данных. Например, в качестве барьеров в случае модели рельефа местности могут выступать обрывы, скальные выступы и другие характерные формы рельефа.



### Контрольные вопросы по главе 3

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

---

## Глава 4

# ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

---

### 4.1 Общие принципы визуализации пространственных данных

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



.....  
Главный принцип при визуализации пространственных данных в ГИС — использование *послойной организации* пространственных данных.  
.....

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

Послойная организация пространственных данных имеет следующие достоинства:

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



.....  
 С учетом того, что в ГИС могут использоваться как векторные, так и растровые модели данных, при послойной организации данных получают **векторные слои** и **растровые слои**. Причем одному растровому изображению соответствует растровый слой.  
 .....

В некоторых ГИС схожие по атрибутам векторные слои или серию растровых слоев можно объединять в один так называемый *сшитый*, или *составной*, слой. Такой слой для пользователя выглядит единым, хотя и сформирован из нескольких независимых. Подобная операция позволяет манипулировать серией слоев как единым целым [1, 4].

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

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

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

Такой порядок позволяет добиться видимости большинства объектов карты.

Визуализация пространственных данных в виде карты является для ГИС основным, но не единственным способом. Ниже описаны также особенности трехмерной визуализации пространственных данных. Рассмотрим эти способы подробнее [1, 4].

## 4.2 Визуализация векторных данных

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

Во втором подходе графические свойства не являются самостоятельными свойствами объектов, а являются зависимыми, например от значений атрибутов. В этом



случае используется понятие *визуализатора данных* — набора правил для визуализации данных на карте. Достоинством подхода является простота изменения правила визуализации, а недостатком — необходимость задавать правила визуализации при формировании новой карты. Многие универсальные ГИС, например ArcView, используют данный подход для визуализации данных.

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

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

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

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

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

**Визуализация точечных объектов.** Для визуализации точечных объектов используются следующие основные способы.

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

*Векторные шрифты.* Этот способ предполагает использование символов из векторных шрифтов (TrueType, OpenType, Type 1). Такие шрифты легко и без потери качества масштабируются и отрисовываются средствами операционной системы. Поэтому такой способ визуализации точечных объектов есть почти во всех современных ГИС. В этом способе можно использовать эффекты тени, поворота символа, рамки, каймы и др. К недостаткам способа можно отнести сложность формирования собственного символа (для этого потребуется специальная программа) и монохромность символа.

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

В некоторых ГИС имеется возможность использовать для визуализации точечных объектов *векторные символы*, хранящиеся в векторных файлах. Это могут быть как монохромные, так и полноцветные изображения. Обычно для этого используют форматы WMF или EMF. Для формирования новых символов необхо-

можно использовать векторный графический редактор с возможностью сохранения изображения в указанных форматах.

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

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

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

**Прозрачная заливка.** Данный способ используется в тех случаях, когда необходимо показать лишь контур (границу) объекта или когда объект перекрывает другие объекты и это нежелательно (рис. 4.1, а).

**Однородная сплошная заливка** (рис. 4.1, б) является наиболее распространенным способом визуализации площадных объектов.

**Заливка по шаблону** (штриховка) предполагает мозаичное заполнение объекта некоторым шаблоном. Шаблон представляет собой небольшой монохромный растр, для которого пользователь может задавать основной и фоновый цвета (рис. 4.1, в).

**Градиентная заливка.** Этот способ позволяет закрасить объект несколькими цветами, плавно переходящими друг в друга (рис. 4.1, г). Пользователь дополнительно может задавать направление градиентной заливки (горизонтальное, вертикальное, диагональное и др.), число основных цветов и другие параметры.

**Текстурная заливка** схожа с заливкой по шаблону, только вместо монохромного растра используется полноцветное изображение (рис. 4.1, д).

**Векторная заливка** также предполагает мозаичное заполнение объекта. Заполнение может производиться небольшими векторными элементами, точечными символами или векторными рисунками (рис. 4.1, е).

В большинстве ГИС используются *немасштабируемые* условные знаки. При изменении масштаба карты размер точечного объекта или ширина линейного объекта остается постоянной. В некоторых ГИС поддерживаются также *масштабируемые* условные знаки [2, 3].

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

Во втором подходе ГИС *автоматически* создает подписи на основе какого-либо правила. Обычно текстовое содержимое подписи соответствует значению

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

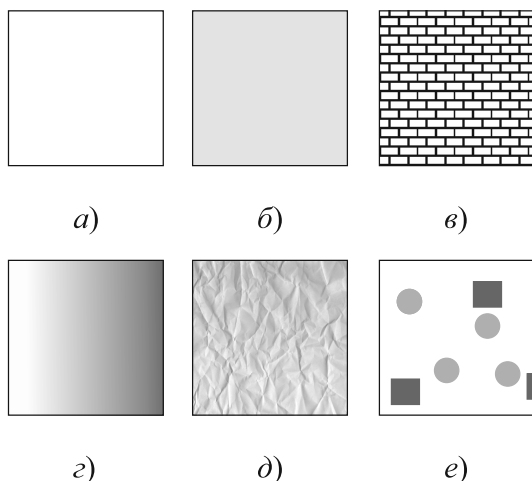


Рис. 4.1 – Способы визуализации площадных объектов: а) прозрачная, б) однородная, в) по шаблону, г) градиентная, д) текстурная, е) векторная



.....

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

.....

### 4.3 Тематические карты



.....

**Тематические карты** — это карты, созданные по определенной теме и предназначенные для демонстрации каких-либо объектов или явлений.

.....

Геоинформационные системы позволяют достаточно быстро создавать тематические карты, используя определенный набор автоматизированных процедур. Такие процедуры позволяют на основе четко формализованных правил наглядно представить данные с помощью различных изобразительных приемов [1, 2].

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

1. *Формирование нового тематического слоя.* Этот способ предполагает создание дополнительного слоя, который содержит тематические объекты. Такой слой является особым и, как правило, динамическим. Последнее означает, что при изменении данных в исходном слое, тематический слой автоматически обновляется. Достоинством способа является возможность эффективно управлять таким слоем, например изменять его видимость. Кроме того, для одного исходного слоя можно сформировать несколько тематических слоев, отражающих разные явления. Данный способ создания тематических карт используется в MapInfo Professional.
2. *Тематическое выделение слоя.* В данном способе задается правило визуализации объектов слоя. В п. 4.2 было сказано о двух альтернативных подходах к визуализации векторных данных. Тематическое выделение слоя предполагает использование второго подхода — визуализатора данных. Таким образом, объекты слоя либо визуализируются единообразно, либо тематически.

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



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

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

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

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

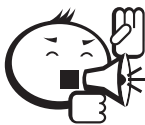
- *Равные диапазоны* — ширина всех диапазонов одинаковая. Например, 1–100, 101–200, 201–300 и т. д.
- *Равное количество объектов* — ширина диапазонов вычисляется таким образом, чтобы число объектов, попавших в каждый диапазон, было приблизительно одинаковым.

- *Равная площадь объектов* — ширина диапазонов вычисляется таким образом, чтобы суммарная площадь объектов, попавших в каждый диапазон, была приблизительно одинаковой.
- *Диапазоны, заданные пользователем* — ширина каждого диапазона задается пользователем.

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

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

- *цвет* на основе выбранной пользователем цветовой схемы;
- *штриховку*;
- *ширину линии*;
- *поворот символа*.



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

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

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

В *столбчатой диаграмме* (рис. 4.2) каждый столбец соответствует одной тематической переменной, а его высота пропорциональна значению тематической переменной для данного объекта (как правило, используются линейная, квадратичная и логарифмическая зависимости). Дополнительно пользователь может настраивать графические стили столбцов, их ширину, ориентацию и др.

В *круговой диаграмме* каждый сектор соответствует одной тематической переменной, а его угол пропорционален значению тематической переменной для данного объекта. Круговые диаграммы бывают двух типов: с фиксированным радиусом и с переменным. В последнем случае радиус может вычисляться пропорционально сумме значений всех секторов диаграммы или пропорционально дополнительной тематической переменной. Обычно дополнительно пользователь может настраивать графические стили секторов, их ориентацию и др.

В *методе размерных символов* используется одна тематическая переменная числового типа. Метод предполагает формирование точечного символа, размер которого пропорционален значению тематической переменной для данного объекта (как правило, используются линейная, квадратичная и логарифмическая зависимо-

сти). Пользователь может задавать правила такой пропорции и используемый тип символа.



Рис. 4.2 – Тематическая карта, построенная методом столбчатых диаграмм

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

В *методе плотности точек* используется одна тематическая переменная числового типа. Суть метода заключается в следующем. Каждый площадной объект случайно и равномерно покрывается сетью точек, причем число этих точек пропорционально значению тематической переменной для данного объекта (рис. 4.3). Очевидно, что этот метод применим только для слоев с площадными объектами. Обычно пользователь может задавать правила такой пропорции и используемый тип точки.

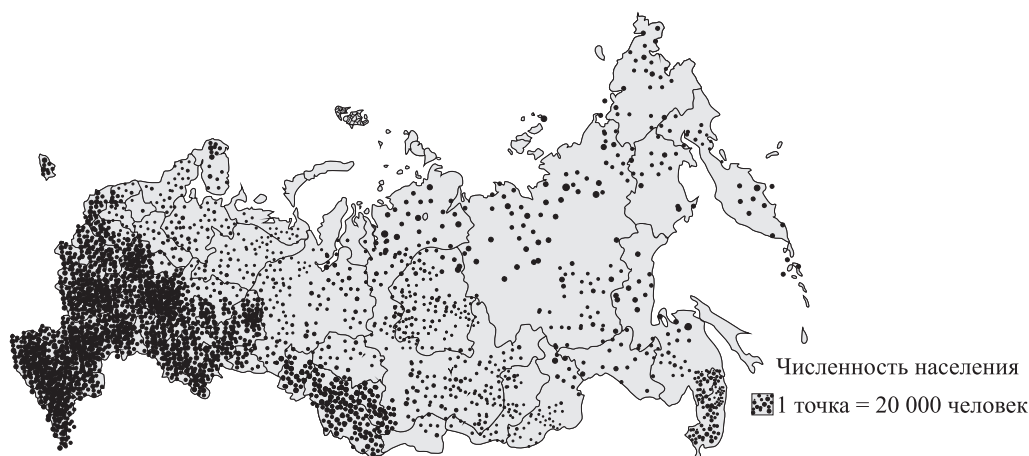


Рис. 4.3 – Тематическая карта, построенная методом плотности точек

В *методе индивидуальных значений* точек используется одна тематическая переменная произвольного типа. Здесь каждому уникальному значению тематиче-

ской переменной соответствует группа, имеющая уникальный графический стиль. Такой метод используют для группировки объектов по категориям (рис. 4.4).

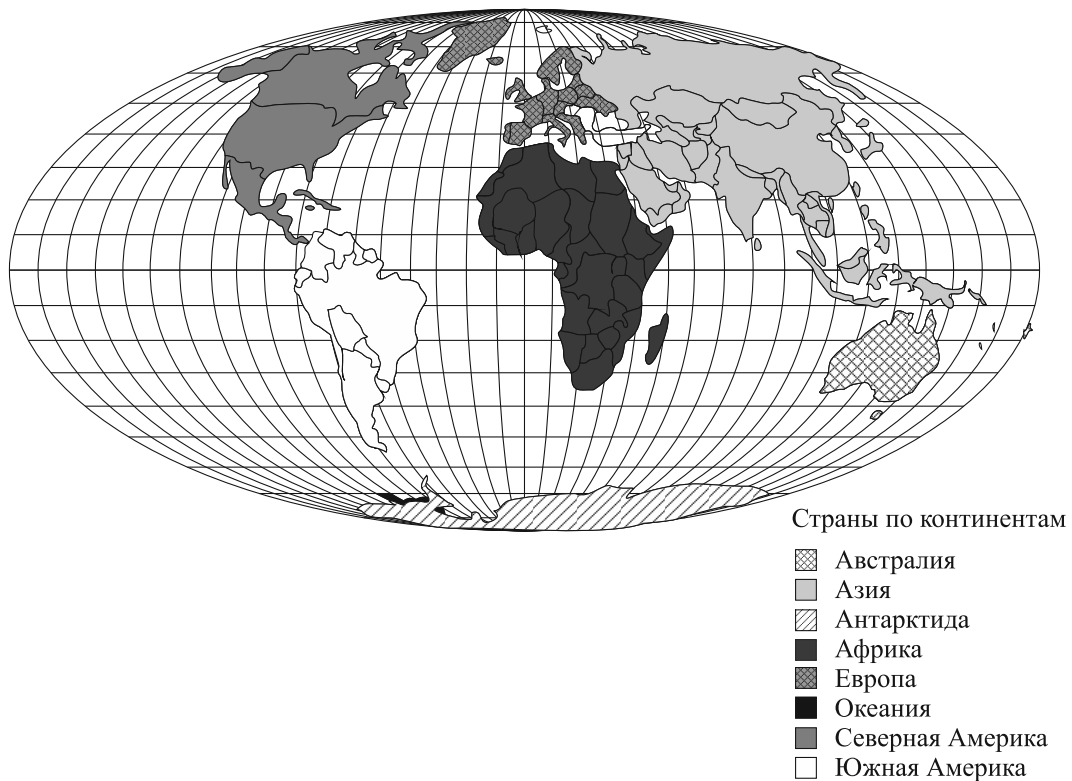


Рис. 4.4 – Тематическая карта, построенная методом индивидуальных значений

## 4.4 Визуализация растровых данных

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



.....  
 Учитывая, что карта может быть показана в различных проекциях, важно, чтобы в ГИС был предусмотрен *механизм перепроецирования* растровых слоев.  
 .....

Если перепроецирование векторных слоев реализуется относительно легко, то перепроецирование растровых слоев более сложная задача. На практике для этого обычно используют алгоритмы ближайшего соседа и кубическую свертку. Задача перепроецирования особенно актуальна при совмещении векторных данных и данных дистанционного зондирования Земли, например космоснимков.

Растровые данные могут иметь различное происхождение. Это может быть отсканированное изображение бумажной карты, используемое в качестве подлож-

ки карты, аэро- или космоснимок. В последнем случае изображение может быть сделано не в оптическом диапазоне, а, например, в инфракрасном или быть многоканальным, что требует особых способов его визуализации.

Визуализация полноцветных и черно-белых изображений выполняется обычно «один к одному». При этом обычно пользователь может настраивать яркость, контрастность, баланс цветов и степень прозрачности растра. Последнее позволяет размещать растровые слои над векторными и при этом не перекрывать их полностью.

Для визуализации многоканальных растровых данных наиболее часто используется так называемая *RGB-композиция*. Каждый канал композиции соответствует одному из каналов многоканального изображения. Однако если каналов больше трех, то канал композиции может соответствовать нескольким каналам исходного изображения, объединенных определенным правилом.

Для одноканального изображения применяют *визуализацию по уникальным значениям*, суть которой схожа с методом индивидуальных значений, используемым для построения тематических карт. Данный способ предполагает использование специальной таблицы соответствия уникального значения пикселя и его цвета при визуализации, называемой *палитрой*. В ГИС также применяют *визуализацию по диапазонам значений*, суть которой схожа с методом диапазонов, используемым для построения тематических карт. Большинство современных ГИС поддерживает как широко известные растровые форматы GIF, JPEG, TIFF, BMP и др., так и форматы спутниковых снимков, например формат BIL (SPOT).

## 4.5 Генерализация

В ГИС карту, в отличие от ее бумажного варианта, можно визуализировать с различным масштабом. Однако при уменьшении масштаба часто возникает проблема с перегруженностью карты.



.....  
*Под генерализацией понимается процесс, позволяющий выявить главные элементы карты, которые будут перенесены на карту меньшего масштаба, а остальные будут удалены.*  
 .....

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

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



Существуют и другие решения данной задачи. Как правило, они представлены в ГИС виде отдельных операций. Рассмотрим наиболее часто используемые из них [1, 2].

*Удаление мелких объектов.* Данная операция позволяет удалить объекты, площадь и/или линейные размеры которых меньше заданной величины.

*Упрощение объектов.* Эта операция позволяет упростить форму линейных или площадных объектов за счет удаления почти совпадающих узловых точек или почти лежащих на одной прямой. При этом обычно задается максимальное расстояние между точками и максимальное отклонение от прямой линии, соединяющей соседние точки.

*Сглаживание объектов.* Эта операция позволяет сгладить форму линейных или площадных объектов за счет применения методов аппроксимации.

*Объединение близко расположенных объектов.* При выполнении данной операции объекты, расстояние между которыми меньше заданной величины, будут объединены.

*Снижение размерности.* Как правило, эта операция заменяет площадные объекты, имеющие площадь меньше заданной на точечные объекты или имеющие линейные размеры вдоль некоторого направления на линейные объекты.

*Оконтуривание групп объектов.* Данная процедура позволяет заменить группу близко расположенных объектов одним площадным объектом.



## Контрольные вопросы по главе 4

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

---

## Глава 5

# ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ В ГИС

---

### 5.1 Измерительные операции



.....  
*Под **измерительными операциями** будем понимать операции, позволяющие определять различные пространственные характеристики объектов по карте.*  
.....

Рассмотрим основные измерительные операции, присущие большинству ГИС [1–4].

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

*Измерение расстояний.* Эта измерительная операция предназначена для вычисления расстояния между двумя точками карты или расстояние вдоль произвольной ломаной линии. В последнем случае вычисляется не только длина последнего сегмента ломаной, но и ее общая длина. Как правило, вычисления производятся в текущих единицах измерения расстояний (например, в километрах), которые можно изменять. Для выполнения этой измерительной операции обычно необходимо активировать данный режим, выбрав соответствующий инструмент.

В некоторых ГИС вычисление расстояний автоматически выполняется при операциях создания (рисования) нового линейного объекта, что позволяет интерактивно оценивать длину этого объекта. Данная операция может быть использована, например, для определения протяженности планируемого маршрута экспедиции, длины строящегося газопровода и др.

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



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

Делается это двумя способами.

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

Второй способ измерения — *по рельефу местности*. Учет рельефа местности, представленного подходящей цифровой моделью, позволяет еще более точно вычислить пространственные характеристики объектов.

## 5.2 Анализ отношений пространственных объектов

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

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

Отношение «*Содержит в себе*». Два объекта находятся в этом отношении, если объект *A* содержит в себе объект *B*, т. е. границы объекта *B* полностью находятся внутри границ объекта *A*. Очевидно, это отношение может быть применено только к объектам равной размерности.

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

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

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

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

Отношение «*Отделен от*». Два объекта находятся в этом отношении, если они не имеют ни одной общей точки. Это отношение является обратным отношению «*Пересекается с*».

Встречаются и другие виды бинарных отношений, которые, как правило, являются частными случаями рассмотренных отношений. Кроме бинарных отношений в ГИС используются и другие отношения. Существуют отношения, в которых кроме двух объектов необходимо указывать дополнительные параметры. Примером может служить отношение «*Удален на расстояние*», где необходимо задать значение расстояния, при котором объекты будут находиться в этом отношении.

### 5.3 Пространственные запросы

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

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

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

*Координата Y (Объект)* — возвращает значение координаты  $Y$  точечного объекта.

*Площадь (Объект)* — вычисляет значение площади площадного объекта. *Периметр (Объект)* — вычисляет значение периметра площадного объекта.

*Длина (Объект)* — вычисляет значение длины линейного объекта. *Расстояние (Объект1, Объект2)* — вычисляет расстояние между двумя объектами.

Общая форма пространственного запроса с использованием пространственных функций выглядит так: найти объекты множества, где <пространственная функция> <оператор сравнения> <числовое значение>.



### Пример

Примеры запросов с использованием пространственных функций: Найти озера с площадью более 100 квадратных километров — Функция «Площадь».

Найти автодороги протяженностью менее 10 километров — Функция «Длина».

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

Во многих универсальных ГИС такие пространственные функции можно использовать в явном виде при формировании пространственных запросов. В системах, где эти функции отсутствуют, приходится хранить значения пространственных характеристик объектов в атрибутах самих объектов, обеспечивая синхронизацию их значений при изменении формы или положения объектов. Напротив, использование пространственных функций позволяет не хранить пространственные характеристики объектов в качестве атрибутов объектов, а вычислять их.

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

Общая форма пространственного запроса с использованием пространственных операторов выглядит так:

*Найти объекты множества A, которые находятся в отношении <пространственный оператор> к объектам множества B.*



### Пример

Примеры запросов с использованием пространственных операторов: *Найти государства, имеющие выход к морю,* — Оператор «Граничит с». *Найти автодороги, пересекающиеся с железными дорогами,* — Оператор «Пересекается с».

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

.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## 5.4 Оверлейные операции

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

Для точечного объекта буферная зона представляет собой круг заданного радиуса, а для линии — коридор с закругленными концами. Схема построения буферной зоны для полилинии показана на рисунке 5.1.

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

В ГИС для представления буферных зон используются полигоны. Учитывая, что при формировании буферной зоны создаются окружности, буферная зона, представленная полигоном, лишь аппроксимирует реальную зону. Как правило,

перед построением буфера пользователь определяет, каким количеством сегментов будет аппроксимирована окружность.

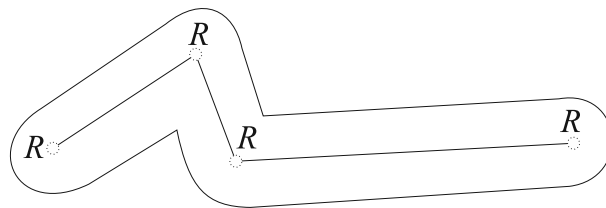


Рис. 5.1 – Схема построения буферной зоны

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

Часто возникает необходимость построить не одну буферную зону, а серию зон с разными радиусами. Многие ГИС имеют возможность формирования такой серии кольцевых буферных зон. На практике буферные зоны часто строятся сразу для группы объектов. При этом возможны два варианта формирования зон: каждому объекту своя буферная зона и одна буферная зона на все объекты.

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

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

## 5.5 Анализ инженерных сетей

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

Перечислим задачи, традиционно решаемые на основе транспортных сетей [1].

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



В сфере трубопроводного транспорта (водо-, газо- и нефтепроводы), как правило, выделяют следующие задачи:

- Расчет установившегося потокораспределения (гидравлический расчет).
- Анализ переключений запорной арматуры.
- Вычисление товаротранспортной работы.
- Оптимизация режимов работы сети.
- Локализация аварийных участков.

## 5.6 Анализ геополей

Полноценный анализ поверхностей (геополей) возможен лишь на основе моделей поверхностей. Ранее нами были рассмотрены две основные модели поверхностей, используемые в ГИС: регулярная сеть и триангуляционная сеть. Перечислим наиболее распространенные задачи анализа геополей [1, 5].

Задачи, связанные с анализом рельефа местности:

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

Гидрологические задачи, решаемые на основе моделей рельефа местности:

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

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

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

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

Под *уклоном* понимают угол  $\varphi$  между вектором нормали  $N$  к поверхности и вектором  $Z$ , параллельным оси  $OZ$  и проходящим через точку  $A$  поверхности, в которой необходимо вычислить уклон.

Под *экспозицией* (ориентацией склона) понимают угол  $\alpha$  между проекцией вектора нормали к поверхности на горизонтальную плоскость  $N$  и вектором  $Y$ , параллельным оси  $OY$  и проходящим через точку  $A$  поверхности, в которой необходимо вычислить экспозицию. Таким образом, нулевому значению экспозиции соответствует направление на север, а отсчет ведется по часовой стрелке.

Задача расчета *линии видимости* предполагает вычисление точек на поверхности (рельефе местности), которые видны наблюдателю вдоль некоторой линии. При этом дополнительно могут быть заданы высота наблюдателя  $H_A$  над поверхностью и высота наблюдаемых точек над поверхностью  $H_B$ . На рисунке 5.2 показана схема определения линии видимости.

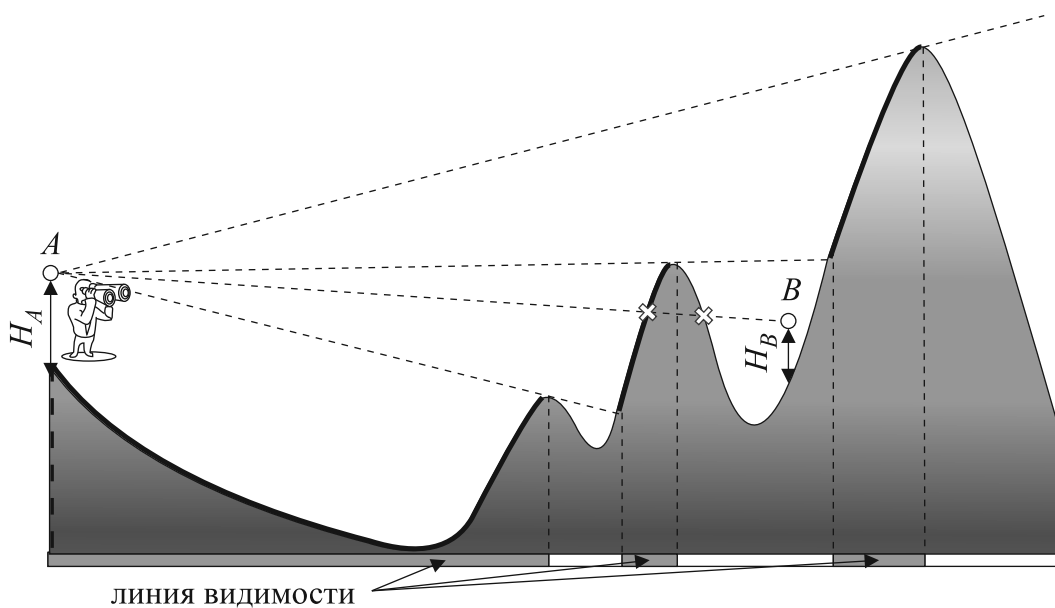


Рис. 5.2 – Схема определения линии видимости

Алгоритм расчета линии видимости следующий. На первом этапе формируется профиль вдоль исходной линии. Далее для каждой точки профиля формируется отрезок  $AB$ , где точка  $A$  соответствует положению наблюдателя, а точка  $B$  соответствует положению наблюдаемой точки (текущей точке профиля). Причем точка  $A$  поднята над поверхностью на величину  $H_A$ , а точка  $B$  — на величину  $H_B$ . Затем выполняется проверка пересечения этим отрезком построенного ранее профиля рельефа. Если пересечений нет, то точка  $B$  видна из точки  $A$ , иначе — не видна. На рисунке 5.2 точка  $B$  не видна из точки  $A$ , так как отрезок  $AB$  пересекает линию профиля дважды в точках, отмеченных крестами. Жирной линией показаны части профиля, точки которого видны из точки  $A$  при  $H_B = 0$ .

Результат работы алгоритма может быть представлен подобно тому, как это изображено на рисунке 5.2, в виде сегментов линии видимости на карте, соответствующих участкам видимости, или в виде сегментов линии видимости, наложенных на трехмерную модель рельефа (жирные линии на профиле). Если расчет линии видимости производится на достаточно протяженном участке, то необходимо учитывать кривизну поверхности Земли.

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

Первый подход предполагает *радиальное построение линий видимости* вокруг точки наблюдения. При этом на карте строятся линии видимости через заданный угол, например через 5 градусов. Достоинство этого подхода — высокая скорость работы, а недостаток — сложность выявления границ зон видимости/невидимости на карте.

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

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

Для того чтобы сформировать карту, показывающую минимальные высоты для видимости, нужно создать регулярную сеть со значениями  $H_{\min}$ .

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

Соединив эти точки, получим трехмерную полилинию, лежащую на рельефе (рис. 5.3). Тогда расстояние по рельефу между точками  $A$  и  $B$  может быть вычислено по формуле:

$$L_{AB} = \sum_i L_i,$$

где  $L_i$  — длина  $i$ -го сегмента полученной полилинии.

Как правило, точки  $A$  и  $B$  не лежат на ребрах сети, поэтому для вычисления длины первого и последнего сегментов необходимо определить значения координаты  $z$  этих точек. Это легко можно сделать с использованием модели рельефа. Для вычисления координаты  $z$  остальных точек используется линейная интерполяция (каждое ребро модели является трехмерным отрезком). То есть расстояние по рельефу равно длине линии профиля между точками  $A$  и  $B$ .

**Расчет площади по рельефу.** Площадь некоторого участка карты и площадь его на поверхности — это также две разные величины. Расчет площади участка рельефа также производится на основе модели рельефа. Для этого необходимо разбить исходный участок на фрагменты, границами которых являются ребра сети и граница фигуры (рис. 5.4).

Тогда площадь фигуры по рельефу (площадь участка поверхности) может быть вычислена как сумма площадей поверхности составляющих ее фрагментов.

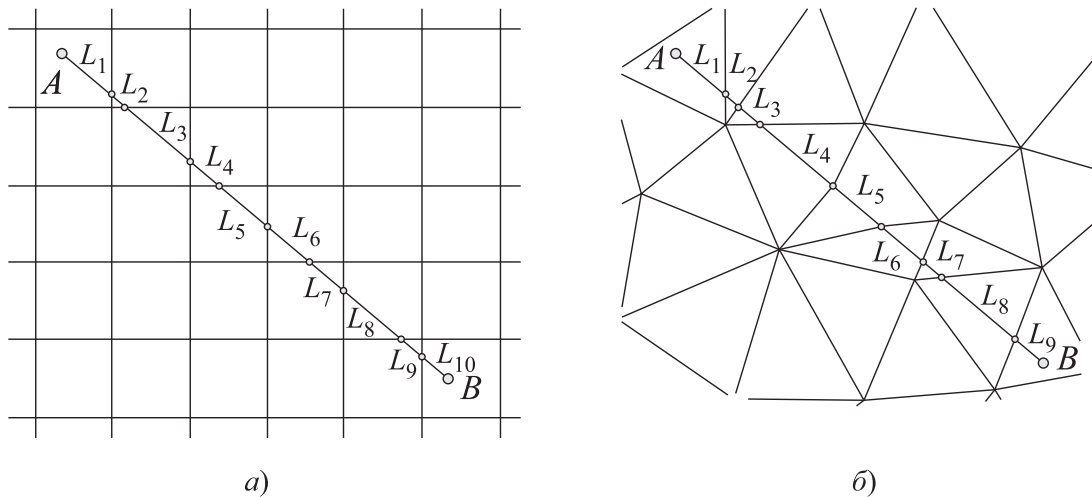


Рис. 5.3 – Определение расстояния между точками с использованием модели рельефа: а) с использованием регулярной сети, б) с использованием триангуляционной сети

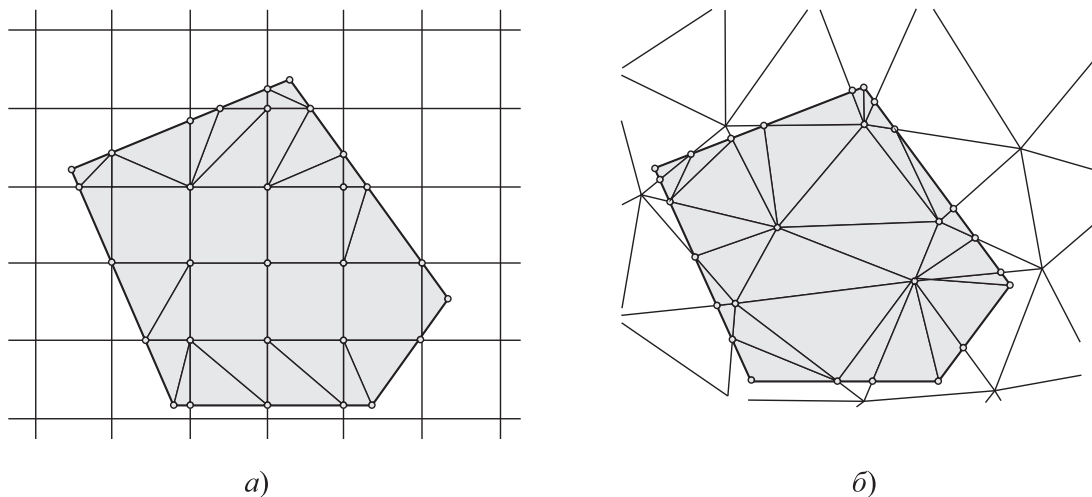


Рис. 5.4 – Определение площади фигуры на основе модели рельефа: а) с использованием регулярной сети, б) с использованием триангуляционной сети

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

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

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

**Расчет объема тела, ограниченного поверхностями.** Часто, особенно в практически интересных проектах, ставится задача рассчитать объем тела, ограниченного верхней и нижней поверхностями и некоторой боковой поверхностью. При решении этой задачи необходимо учесть, что верхняя и нижняя поверхности могут быть представлены как разными моделями, так и разной их структурой (например, регулярными сетями с разным шагом сетей или триангуляционными сетями, построенными на разных исходных точках).

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

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

При решении задач восстановления геополя пространственное размещение исходных точечных данных может быть очень разнообразным. Наиболее простой случай — регулярное пространственное размещение. Данные, имеющие такое размещение, уже представляют собой регулярную сеть, а их анализ с алгоритмической точки зрения достаточно прост. К сожалению, случаи такого размещения исходных данных очень редки.

Чаще всего данные (значения геополя) имеют случайное или кластерное пространственное размещение. При кластерном размещении точки образуют группы (кластеры). Обычно такое размещение связано с тем, что в местах со сложной структурой геополя его измерения (опробования) производятся с большей плотностью. Если условия исследования позволяют, то точки опробования размещают регулярно, но необязательно очень точно.

Данные, имеющие профильное пространственное размещение, получают, как правило, при перемещении объекта, выполняющего исследование геополя, например подвижной лаборатории.

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

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

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

- наличие достаточного количества исходных достоверных данных;
- глубокое понимание исследуемого явления;

- применение адекватных математических методов описания закономерностей распространения явления;
- наличие удобного инструментария для изучения данных, построения поверхностей и оценки их достоверности.

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

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

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

К детерминистическим методам относят:

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

К геостатистическим методам относят:

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



## Контрольные вопросы по главе 5

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

5. Какие условия должны выполняться для успешного выполнения операции разрезания объекта?
6. Опишите алгоритм построения кольцевых буферных зон.
7. Какие методы и алгоритмы используются для решения задач, связанных с анализом инженерных сетей?
8. Перечислите, решение каких задач предполагает анализ геополей.

---

## Глава 6

# ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГИС

---

### 6.1 Программное обеспечение универсальных векторных ГИС

Среди универсальных векторных ГИС особое место занимает линейка ГИС компании ESRI (США) [1, 4].

**ГИС-платформа ArcGIS.** ArcGIS — линейка геоинформационных продуктов, разрабатываемая компанией ESRI (США) с учетом передовых тенденций развития информационных технологий и потребностей ГИС-пользователей. Компания ESRI является признанным лидером в создании и продвижении современных геоинформационных технологий. Представляет собой масштабируемое решение для работы с пространственными данными как отдельных пользователей, так и распределенных рабочих групп. Платформа ArcGIS является оптимальным решением для построения корпоративных геоинформационных систем. Отличительная особенность ArcGIS в том, что данное семейство программных продуктов включает в себя все компоненты, необходимые для построения инфраструктуры пространственных данных. В нем есть средства подготовки и ведения геоданных (ArcGIS for Desktop), средства публикации вебслужб и ГИС-функциональности для удаленного доступа (ArcIMS и ArcGIS for Server), средства создания каталогов геоданных и геопорталов (GIS Portal Toolkit, Geoportal Server).

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





.....  
**База геоданных** — это созданная компанией ESRI модель, определяющая структуру и правила хранения различных видов данных — векторных и растровых, адресных точек, данных геодезических измерений и многих других.  
.....

Данная модель позволяет эффективно хранить разнородные данные и с легкостью использовать их в сложных проектах и системах. В базе геоданных пользователи могут задавать правила и отношения внутри хранилища, которые определяют поведение пространственно взаимосвязанных объектов и объектных классов и обеспечивают целостность данных. Модель можно редактировать как в многопользовательском режиме, так и в автономном режиме, с возможностью синхронизации версий.

Линейка продуктов ArcGIS включает в себя:

- настольные решения ГИС: ArcGIS for Desktop (ArcGIS Desktop) в редакции ArcGIS for Desktop Basic (ArcView), Standard (ArcEditor) или Advanced (ArcInfo) с дополнительными модулями;
- ГИС-вьюеры: ArcGIS Explorer, ArcReader;
- серверные решения ГИС: ArcGIS for Server (ArcGIS Server) с дополнительными модулями, ESRI Geoportal Server;
- мобильные ГИС: ArcGIS for Windows Mobile (ArcGIS Mobile), ArcPad, ArcGIS for smartphones and tablets;
- инструменты для разработчиков ГИС: ArcGIS Engine, Esri Developer Network.

В скобках указаны названия программных продуктов ArcGIS, действовавшие для версии 10.0 и более ранних.

**Настольные ГИС.** ArcGIS for Desktop включает полный набор приложений, которые поддерживают решение таких задач, как картографирование, сбор данных, их анализ, управление геоданными, а также совместный доступ к пространственной информации. ArcGIS for Desktop Basic применяется для создания, использования, картографирования и анализа пространственных данных. ArcGIS for Desktop Standard расширен дополнительными возможностями по редактированию баз геоданных, включая многопользовательское редактирование и хранение геоданных в промышленной СУБД. ArcGIS for Desktop Advanced — это профессиональный настольный геоинформационный продукт, включающий расширенный набор инструментов геообработки и анализа данных. В состав ArcGIS for Desktop входит 6 базовых приложений: ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox, Model Builder, ArcScene, ArcGlobe.

Начиная с версии 10.0, новым способом кастомизации ArcGIS for Desktop являются надстройки (addinns). Надстройки могут быть оформлены в виде кнопок, выпадающих списков, контекстных меню и т. д. и включены в приложение ArcGIS for Desktop (т. е. ArcMap, ArcCatalog, ArcGlobe и ArcScene) для обеспечения дополнительных функциональных возможностей по выполнению пользовательских задач. В ArcGIS for Desktop 10.0 настройки разрабатываются на .NET или Java, а также с помощью расширяемого языка разметки (XML). При установленном

ArcObjects SDK среды разработки Microsoft Visual Studio, Express Edition of Visual Studio и Eclipse включают в себя мастер создания надстроек для ArcGIS for Desktop (Add-Ins Wizard) на VB.NET, C# (MS Visual Studio) и Java (Eclipse). В ArcGIS 10.1 Python добавлен в список языков для создания надстроек для версии Desktop, что позволяет легко расширять функции настольной версии. ArcGIS for Desktop доступен в трех уровнях лицензий, которые различаются по функциональности и предоставляют определенный набор возможностей:

1. ArcGIS for Desktop Basic (ArcView).
2. ArcGIS for Desktop Standard (ArcEditor).
3. ArcGIS for Desktop Advanced (ArcInfo).

Приведем их краткое описание.

1. *ArcGIS for Desktop Basic (ArcView)*. Продукт линейки ArcGIS, представляющий собой настольное геоинформационное приложение, предназначенное для создания, визуализации, картографирования и анализа географических данных. Предоставляет следующие возможности:

- создание интерактивных карт и подготовка их к печати; использование готовых шаблонов при создании карт; встраивание оформленных карт в другие документы и приложения;
- взаимодействие с картой посредством инструментов перемещения и масштабирования, горячих связей, гиперссылок, идентификации объектов;
- создание моделей и скриптов, описывающих рабочие процессы, для автоматизации процессов создания, визуализации и анализа данных;
- чтение, импорт и управление большим количеством форматов данных, включая сторонние ГИС-форматы, чертежи САПР, данные ДЗЗ, метаданные и мультимедиа;
- осуществление пространственного анализа данных.

2. *ArcGIS for Desktop Standard (ArcEditor)*. Полностью включает функциональность ArcGIS for Desktop Basic (ArcView). Содержит дополнительные возможности в части многопользовательского редактирования баз геоданных и создания классов пространственных объектов, предоставляя возможности моделирования пространственных отношений посредством топологии базы геоданных, контроля атрибутивной информации через технологию доменов и подтипов. Характеризуется расширенным набором инструментов геообработки, а также усовершенствованными функциями анализа и редактирования баз геоданных в ArcMap:

- редактирование данных, хранящихся в многопользовательских СУБД;
- выполнение процедур контроля качества данных при редактировании объектов;
- редактирование данных геодезических съемок и Набора данных участков;
- создание классов объектно-связанных аннотаций, а также выровненных и линейных размеров;
- использование расширенных инструментов картографического редактирования и работы с представлениями;

- разрешение конфликтов между версиями;
- функции векторизации растров (ArcScan);
- управление данными Покровий;
- создание и редактирование отношений между объектами;
- создание и управление топологическими сетями в базах геоданных;
- создание и редактирование геометрических сетей в базах геоданных.

3. *ArcGIS for Desktop Advanced (ArcInfo)*. ArcGIS for Desktop Advanced — геоинформационная система, обладающая максимальной функциональностью в линейке программных продуктов ArcGIS. Включает все возможности ArcGIS for Desktop Basic и ArcGIS for Desktop Standard и расширяется дополнительными инструментами пространственного анализа и обработки данных, а также профессиональными картографическими инструментами. Помимо этого, ArcGIS for Desktop Advanced содержит полный набор инструментов ArcToolbox, а также классические приложения ArcInfo Workstation (Arc, ARCPLOT, ARCEDIT, AML и ODE) с полной поддержкой всех функций системы. ArcGIS for Desktop Advanced обладает следующими возможностями:

- в области ГИС-анализа и моделирования: полная динамическая сегментация, анализ спроса и потребления, решение задач маршрутизации, оверлейные операции, оценка близости объектов, построение буферных зон и т. д.;
- в области геообработки: расширенный набор инструментов для управления пространственными объектами, их анализа и генерализации; создание Покровий, их анализ, конвертация (импорт/экспорт данных различных форматов: ADS, DFAD, DIME, DLG, VPF, Grid, SDTS, TIGER, S57, DEM, DTM и др.), агрегирование, генерализация, управление таблицами, проецирование и трансформация, топология;
- в области картографии: профессиональные картографические инструменты для создания высококачественных, готовых к публикации карт (контроль качества графики, маскирование, детальное управление символами).

Расширить возможности настольных продуктов ArcGIS for Desktop позволяет набор дополнительных модулей разработки ESRI. Все дополнительные модули работают в любой редакции настольных продуктов ArcGIS for Desktop — Basic, Standard, Advanced.

**ГИС-вьюеры.** ГИС-вьюеры являются бесплатными облегченными настольными приложениями, предназначенными для просмотра пространственной и атрибутивной информации. В линейку ArcGIS входят ГИС-вьюеры ArcReader и ArcGIS Explorer.

ArcReader — пакет, предоставляющий средства просмотра, анализа и печати файлов карт в формате PMF, созданных с использованием настольных пакетов ArcGIS и дополнительного модуля ArcGIS Publisher.

ArcGIS Explorer — приложение, используемое для доступа к онлайн ГИС-сервисам ArcGIS Server и OGC веб-сервисам. С помощью ArcGIS Explorer можно отображать геоданные в 2D- и 3D-режимах, проводить простой ГИС-анализ.

**Серверные ГИС.** Серверные ГИС предназначены для обеспечения совместного использования географической информации неограниченным числом пользовате-

лей, управления промышленными базами геоданных, публикации ГИС-сервисов, создания картографических веб-порталов для предоставления ГИС-функциональности широкому кругу пользователей через веб-браузер. Серверные ГИС обеспечивают:

- снижение стоимости ПО путем использования веб-браузеров в качестве «тонких» клиентов;
- организацию эффективного взаимодействия отделов компании в процессе создания геоданных;
- внедрение функциональности ГИС в корпоративные системы.

ArcGIS for Server — серверный продукт, позволяющий создавать распределенные и корпоративные геоинформационные системы. Предоставляет возможность централизованно управлять всеми пространственными данными и картографическими службами, публиковать пространственные данные в виде ГИС-сервисов, создать картографические веб-приложения и геопорталы для хранения, визуализации и анализа данных. Состоит из следующих компонентов:

- ГИС-сервер — выполняет обработку запросов, полученных веб-сервисами;
- веб-адаптер — служит для интеграции ГИС-серверов с существующим корпоративным веб-сервером;
- веб-сервер — обслуживает веб-приложения и обеспечивает дополнительные функции безопасности и балансировки нагрузки для сайта ArcGIS for Server;
- сервер данных — хранилище данных, содержащее все ГИС-ресурсы, опубликованные как сервисы на ГИС-сервере.

ArcGIS for Server доступен в виде двух уровней производительности — Workgroup (до 10 одновременных подключений) и Enterprise (неограниченное количество одновременных подключений) и в трех функциональных уровнях лицензий: Basic, Standard и Advanced.

ArcGIS for Server Basic предоставляет возможности для создания многопользовательской базы геоданных (БГД) на базе одной из промышленных СУБД: Oracle, Microsoft SQL Server, IBMDB2, Informix или PostgreSQL. ArcGIS for Server Standard содержит все функции уровня Basic, а также возможность публикации пространственных данных в виде веб-сервисов. ArcGIS for Server Advanced обладает функциональностью уровня Standard, а также включает дополнительные серверные модули и функции для создания мобильных сервисов.

ArcGIS for Server в версии 10.1 работает как 64-разрядное приложение, не требующее установки среды .NET Framework или Java. В версии 10.1 еще поддерживается Web ADF для Microsoft .NET и Java, но в последующих версиях планируется полный переход к ArcGIS web-API или настраиваемым вьюерам ArcGIS. Администрирование ArcGIS for Server происходит посредством веб-приложения ArcGIS Server Manager, в котором также осуществляется развертывание ArcGIS Server (создание сайта) — применяется начиная с версии 10.1.

**Мобильные ГИС.** Решения компании Esri для мобильных ГИС позволяют создавать пространственные данные в полевых условиях с использованием мобильных устройств. Линейка мобильных ГИС включает в себя ArcGIS for Windows Mobile, ArcPad, а также приложения для смартфонов и планшетов.

ArcGIS for Windows Mobile — программный продукт, который позволяет работать с геоинформационными сервисами на мобильных устройствах, использующих платформу Windows Mobile. С использованием мобильных приложений, построенных на ArcGIS for Windows Mobile, можно производить пространственные запросы и упрощенное редактирование. ArcGIS for Windows Mobile позволяет осуществлять работу с ГИС-сервисами в онлайн- и офлайн-режимах за счет используемой технологии кэширования.

ArcPad — приложение, позволяющее проводить оперативный сбор, автономное редактирование пространственных данных в полевых условиях с использованием приемников GPS, цифровых фотокамер и других устройств.

Приложения для смартфонов и планшетов — приложения, позволяющие находить карты и обмениваться ими с ArcGIS Online, использовать инструменты поиска, измерения, а также создавать запросы и осуществлять сбор, редактирование и обновление характеристик и атрибутов ГИС.

**Инструменты разработчика ГИС.** Средства разработчика ГИС позволяют расширять существующую функциональность программных продуктов ArcGIS, создавать полностью самостоятельные приложения, использующие возможности программных библиотек ArcGIS, работать на различных платформах и использовать разные языки программирования.

Esri Developer Network (EDN) — программа поддержки разработчиков. Предоставляет разработчикам доступ к интернет-порталу, который содержит ресурсы, основанные на многолетнем опыте разработки приложений на платформе ArcGIS. В состав EDN входит программный продукт ArcGIS Engine.

ArcGIS Engine — набор программных компонент и ресурсов, предназначенный как для создания собственных настольных картографических и ГИС-приложений под различные операционные системы, так и для встраивания ГИС-функционала в существующие приложения. Содержит обширные наборы классов, позволяющих получить прямой доступ к возможностям ArcGIS как на самом высоком, так и на самом низком уровне абстракции.

Дополнительные ресурсы представляют собой интернет-сервисы: ArcGIS Resource Center и ArcGIS Online, которые обеспечивают доступ к шаблонам, описательной информации по всем продуктам компании Esri, а также позволяют опубликовать собственные карты.

ArcGIS Online — облачная инфраструктура, позволяющая публиковать, хранить и совместно использовать пространственную информацию (карты, геоданные и т. п.). Содержит картографические шаблоны и другую информацию, которыми можно воспользоваться при создании собственных проектов. Пользователи ArcGIS Online получают доступ к географической информации, опубликованной компанией Esri и другими ГИС-пользователями.

ArcGIS Resource Center — ресурс, предоставляющий полезную справочную информацию по всем продуктам ArcGIS (ссылки, документы, статьи), а также обеспечивающий информационную поддержку пользователей на форуме.

**Программные средства ГИС MapInfo Professional.** MapInfo Professional — географическая информационная система (ГИС), предназначенная для сбора, хранения, отображения, редактирования и анализа пространственных данных [4]. Первая версия ГИС MapInfo Professional была разработана в 1987 году компанией

MapInfo Corp., и стала одной из самых популярных ГИС в мире. Сейчас MapInfo Professional используется в 130 странах мира, переведена на 20 языков, включая русский, и установлена в десятках тысяч организаций.



.....  
 В России благодаря простоте освоения, богатым функциональным возможностям и разумной стоимости MapInfo Professional стала одной из самых массовых геоинформационных систем.  
 .....

ГИС MapInfo Professional предназначена для картографической визуализации оцифрованных массивов векторных данных и используется для создания, преобразований и анализа тематических карт стран, регионов, городов и т. д. Введенная в MapInfo Professional карта может быть отображена различными способами, в том числе в виде таблиц, графиков и диаграмм, а также в виде комплексных карт, скомпонованных вместе с легендами, заголовками и другими картографическими атрибутами. Система обеспечивает прямой доступ к атрибутивным данным, хранящимся в форматах dBase, Excel или Lotus, что дает возможность использовать при анализе их функциональные возможности и дополнительные массивы информации, оцифрованные в этих широко распространенных программных комплексах.

Источниками данных для MapInfo служат:

- Таблицы MapInfo (внутренний формат представления).
- Векторные форматы САПР и геоинформационных систем: AutoCAD (DXF, DWG), Intergraph/MicroStation Design, ESRI Shape файл, ARC/INFO Export.
- Растровые карты в форматах GIF, JPEG, TIFF, PCX, BMP, MrSID, PSD, ECW, BIL (снимки SPOT) и GRID (GRA, GRD).
- Данные, полученные с помощью спутниковых навигационных систем (GPS, ГЛОНАСС) и других электронных геодезических приборов.
- Файлы Excel, Access, xBASE, Lotus 1-2-3 и текстовые, в которых кроме атрибутивной информации могут храниться координаты точечных объектов.

В дополнение к перечисленным пунктам ГИС MapInfo может выступать в роли «картографического клиента» при работе с такими СУБД, как Oracle и DB2, так как MapInfo поддерживает механизм взаимодействия через протокол ODBC, доступ к данным из СУБД Oracle возможен и через внутренний интерфейс (OCI).

В одном сеансе работы одновременно могут использоваться данные разных форматов.

Встроенный язык запросов SQL, благодаря географическому расширению, позволяет организовывать выборки с учетом пространственных отношений объектов, таких как удаленность, вложенность, перекрытия, пересечения, площади объектов и т. п. Запросы к базе данных можно сохранять в виде шаблонов для дальнейшего использования. В MapInfo имеется возможность поиска и нанесения объектов на карту по координатам, адресу или системе индексов.

Особо отметим, что данная ГИС обладает большим набором функций для работы с нетопологическими пространственными данными. Для хранения данных в системе используются таблицы. *Таблица* представляет собой реляционную базу данных, в которой хранятся как атрибутивные, так и пространственные данные. Каждая та-

кая таблица может быть представлена как слой карты. В ГИС MapInfo Professional поддерживаются несколько типов таблиц: обычные векторные, растровые, сшитые, внешние, временные. Для хранения данных можно также использовать БД, управляемые внешними СУБД.

ГИС MapInfo Professional имеет развитые средства визуализации и редактирования картографических данных, средства тематического картирования (диапазоны, диаграммы, размерные символы, плотность точек, индивидуальные значения).

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

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

Для расширения возможностей этой системы используется специальный язык программирования MapBasic. С помощью этого языка можно модифицировать интерфейс пользователя, добавлять к ГИС новые функции, управлять картами и т. д. В языке также предусмотрена возможность подключения динамических библиотек (DLL). Компания Map Info Corp. и сторонние разработчики предлагают дополнительные модули, предназначенные для решения различных прикладных задач.

## 6.2 Программное обеспечение универсальных растровых ГИС

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

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

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

Инструменты спектрального анализа в ERDAS IMAGINE позволяют пользователям быстро и точно извлекать информацию из гиперспектральных снимков. Для этого в ERDAS IMAGINE охвачены все области спектрометрии, начиная от общих представлений, структур данных и заканчивая функциями обработки снимков. Инструменты гиперспектральной обработки представляют собой специфические алгоритмы для нанесения на карты интересующих материалов, которые заключены

в простом для пользователя графическом интерфейсе. Инструмент спектрального анализа ERDAS IMAGINE доступен с ERDAS Professional так же, как и большинство продвинутых опций по обработке снимков в комплекте ERDAS IMAGINE.

ERDAS IMAGINE имеет интерактивную связь со средой ESRI ArcObjects. Таким образом, пользователи могут работать с последними версиями программного обеспечения ArcGIS и такими форматами данных, как Geodatabase. ERDAS IMAGINE предлагает пользователям ArcGIS широкие возможности обработки снимков и данных дистанционного зондирования. ERDAS IMAGINE обеспечивает поддержку нескольких источников векторных данных, используя дополнительные библиотеки DLL для существующих векторных форматов и форматов моделей объектов, обрабатываемых в базах геоданных ArcObjects.

**ГИС ER Mapper 6.4.** Разработанная компанией Earth Resource Mapper (Австралия), растровая ГИС ER Mapper является одной из мощнейших в мире систем для обработки ДДЗ и их последующего пространственного анализа. Как и ГИС ERDAS Imagine, эта система не является чисто растровой, а поддерживает многочисленные векторные форматы данных. Основной функционал системы ориентирован на обработку аэро- и космоснимков.



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

Программные средства ER Mapper представляют собой комплекс программных библиотек.

## 6.3 Системы Интернет-ГИС

**Информационно-поисковый веб-сервис Google Maps.** Информационно-поисковый веб-сервис Google Maps (<http://maps.google.com>), появившийся в 2005 году, стал поистине знаковым событием в области Интернет-ГИС. Во-первых, компания Google сделала общедоступным огромный объем картографического материала для пользователей сети Интернет в режиме онлайн (причем объем картографического материала продолжает увеличиваться и материалы обновляются). Во-вторых, для доступа к картографическим данным используется обычный браузер (Internet Explorer, Firefox, Opera и др.), а операции по работе с картой просты и интуитивно понятны. В-третьих, для просмотра данных можно использовать три режима: «карта» (векторный), «спутник» (растровый) и гибридный. В-четвертых, сервис тесно интегрирован с поисковой системой Google, позволяя выполнять поиск городов, улиц, достопримечательностей, компаний и др. с визуализацией результатов поиска на карте.

**Информационно-поисковая ГИС Google Earth.** Вслед за веб-сервисом Google Maps компания Google выпустила информационно-поисковую ГИС Google Earth.



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

Успех компании Google подтолкнул разработчиков поисковых систем к разработке подобных информационно-справочных систем. Так, компанией Microsoft был предложен схожий по возможностям сервис MSN Virtual Earth (<http://maps.microsoft.com>). Данный сервис также тесно интегрирован с поисковой системой MSN Search.

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

## 6.4 Картографические программные модули

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

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

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

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

## 6.5 ГИС-приложения

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

С точки зрения степени автоматизации решаемых задач ГИС-приложения можно разделить на два класса: специализированные ГИС и ГИС-средства [1].

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

*ГИС-средства* представляют собой набор дополнительных инструментальных средств для решения прикладных задач в среде универсальной ГИС. С помощью таких средств можно решать трудно автоматизируемые задачи, где в процессе работы человеческий фактор имеет решающее значение.

К достоинствам ГИС-средств следует отнести их функциональную гибкость. Так как ГИС-средства только добавляют к универсальной ГИС новые возможности, становится возможным использование одновременно нескольких ГИС-средств. По сравнению со специализированными ГИС уровень автоматизации труда пользователя при применении ГИС-средств ниже.

В свою очередь, ГИС-средства можно разделить также на два класса программных средств: проблемно-ориентированные ГИС-средства и ГИС-средства общего назначения. Основное отличие проблемно-ориентированных ГИС-средств от ГИС-средств общего назначения — это наличие проблемной ориентации на определенный круг задач. Напротив, с помощью ГИС-средств общего назначения можно решать достаточно широкий круг задач (классы задач). Более того, ту или иную задачу можно разбить на ряд подзадач, каждую из которых можно решить с помощью ГИС-средств общего назначения. Таким образом, ГИС-средства общего

назначения обладают наибольшей функциональной гибкостью. Они рекомендуются достаточно «продвинутому» специалистам, понимающим принципы функционирования таких средств, области их применения и особенности используемого математического аппарата. При этом специалист должен самостоятельно разбить решаемую задачу на этапы, определить методы их решения и выбрать для ее решения необходимые ГИС-средства.

В настоящее время существуют несколько основных методов создания специализированных ГИС на основе универсальных систем. Первый метод заключается в создании внешних программных модулей, работающих в среде универсальной ГИС. Такие модули не могут работать без базовой ГИС. Как правило, модули реализуются с помощью специализированных макроязыков, интерпретаторы которых встроены в ядро универсальной ГИС. Часто возможностей макроязыка недостаточно для решения тех или иных задач, поэтому макроязыки должны иметь средства для встраивания программ, написанных на языках другого уровня (механизмы DLL, OLE и др.). Рассмотрим первый метод подробнее.

При создании специализированных ГИС на основе универсальных ГИС практически полностью изменяется интерфейс пользователя. В интерфейс закладывается доступ только к тем функциям ГИС (и, следовательно, к реализующим эти функции программным модулям), которые необходимы для решения задач, определенных областью применения специализированной ГИС. Доступ к остальным функциям (программным модулям) универсальной ГИС блокируется. Таким образом, интерфейс пользователя упрощается, становится более понятным конкретному специалисту.

Взаимодействие пользователя с ГИС осуществляется через интерфейс пользователя. Все процессы, выполняемые специализированной ГИС, реализуются внешними программными модулями, которые создают проблемно-ориентированный интерфейс пользователя и обеспечивают связь функциональных блоков. Каждый из таких блоков решает определенную задачу по автоматизации процессов и является внешним по отношению к ядру ГИС. При решении задач, требующих пространственного анализа, необходим доступ к функциям ядра универсальной ГИС. В редких случаях интерфейс пользователя позволяет обратиться к функциям ядра универсальной ГИС напрямую, минуя функциональные блоки. Во всех остальных случаях задействуются функциональные блоки.

Во втором методе используется технология клиент-сервер. В качестве клиента выступает программа, которая решает производственные задачи, например обработки данных. Эта программа делает запросы к другой программе — серверу. В качестве сервера используется программное обеспечение универсальной ГИС. Сервер выполняет запросы клиента и передает ему результаты. Так как такая технология базируется на механизмах DDE и OLE, универсальная ГИС должна иметь возможность работать в режиме сервера и отвечать на внешние запросы. Второй метод получил свое дальнейшее развитие с усовершенствованием COM-технологии. Почти все ведущие производители универсальных ГИС выпустили программные продукты, представляющие собой компоненты ActiveX. Каждый из этих продуктов реализует большинство функций ядра универсальной ГИС, разработанной той или иной компанией. С помощью таких компонент, используя интегрированные средства разработки приложений (Visual Studio, Delphi, C++ Builder и др.), можно достаточно быстро создавать программное обеспечение специализированных

ГИС. Важно, что созданные программы являются исполняемыми и не требуют универсальной ГИС.

Основными достоинствами специализированных ГИС является высокая степень автоматизации труда специалиста при решении производственных задач и наличие простого проблемно-ориентированного интерфейса пользователя. К недостаткам можно отнести их слабую гибкость и невозможность расширения без изменения программного кода (для этого необходимо наличие исходных текстов программ и их спецификации).

С точки зрения интерфейса пользователя отличие ГИС-средств от специализированных ГИС заключается в том, что к интерфейсу универсальной ГИС добавляются новые элементы, реализующие доступ к новым функциям. Доступ к функциям универсальной ГИС реализуется через интерфейс последней. Интерфейс ГИС-средства реализует доступ к *дополнительным* функциям, позволяющим решать задачи, выполнение которых стандартными средствами универсальной ГИС или невозможно, или затруднительно. В ряде случаев через интерфейс ГИС-средства возможен доступ к функциям ядра универсальной ГИС. Хотя такой подход приводит к тому, что могут дублироваться некоторые функциональные возможности системы, он позволяет создавать ГИС-средства концептуально более понятными и удобными. Функциональные блоки могут использовать функции ядра универсальной ГИС.

Проблемно-ориентированные ГИС-средства предназначены, прежде всего, специалистам, хорошо представляющим специфику решаемых задач, но слабо разбирающимся в принципах функционирования этих средств и особенностях используемого математического аппарата. Такие ГИС-средства дают средний уровень автоматизации труда пользователя. Приобретение навыков работы у пользователя может достигаться либо с помощью мастеров (wizards), которые «ведут» специалиста от этапа к этапу, либо путем четкого выделения этапов через интерфейс пользователя. В первом случае наличие пояснений, примеров и иллюстраций непосредственно в интерфейсе пользователя позволяет интуитивно понять смысл каждого из этапов. Применение данного подхода целесообразно в тех случаях, когда задачу можно разбить на ряд последовательных подзадач.

Если задачу невозможно разбить на ряд последовательных подзадач, то применяют второй подход. В этом случае у пользователя больше возможностей по выбору методов решения задачи.

Как видим, второй подход обладает большей гибкостью, но менее автоматизирует труд пользователя. Стоит отметить, что целесообразно использовать оба подхода при создании ГИС-средств. В некоторых случаях для решения одной и той же задачи используют сразу оба этих подхода, оставляя выбор подхода за специалистом.

Особенностью, присущей проблемно-ориентированным ГИС-средствам, является замена некоторых численных характеристик (коэффициентов, зависимостей, уравнений и др.) на дискретный и конечный набор понятий и терминов.



## Пример

Например, если некоторая величина варьируется от 0 до 1, то выбирают несколько наиболее часто используемых значений этой величины: 0, 0,25, 0,5, 0,75 и 1. В дальнейшем эти величины заменяют, например, понятиями «низкое», «ниже среднего», «среднее», «выше среднего» и «высокое».

В конечном счете, в интерфейс пользователя выносятся именно эти понятия. Существенным недостатком некоторых решений является то, что пользователь не знает, какие именно численные значения или характеристики соответствуют перечисленным понятиям. Необходимо предусмотреть возможность получения этого знания либо через интерфейс пользователя, либо в справочной информации.

Исследование существующих ГИС-приложений, прежде всего коммерческих программных продуктов, позволяет наметить следующие перспективные направления работ при создании таких приложений.

Первое направление касается разработки ГИС-средств общего назначения. Основная идея новой технологии заключается в том, чтобы создать функциональные блоки максимально независимыми друг от друга и от конкретной универсальной ГИС. Это позволит легко расширять возможности самих ГИС-средств за счет добавления новых блоков. Кроме этого, надежность такого программного обеспечения возрастает, облегчается его тестирование и эксплуатация.

Опыт разработки ГИС-средств свидетельствует, что до 25% времени уходит на концептуальную проработку создаваемой системы. Ошибки на этом этапе ведут к значительным изменениям на последующих этапах. Если при разработке системы основная идеологическая нагрузка ложится на проектирование интерфейса пользователя, то предлагаемая технология позволяет исправлять ошибки с минимальными затратами. При этом большая часть функциональных блоков должна быть реализована на языках высокого уровня и оформлена в виде программных библиотек. Использование библиотек и наличие спецификации для каждого блока позволяет быстро реализовывать такие же ГИС-средства и на базе других универсальных ГИС.

Дальнейшее развитие описанной идеи привело к созданию новой технологии разработки проблемно-ориентированных ГИС-средств. Суть этой технологии заключается в разработке проблемно-ориентированных ГИС-средств на базе ГИС-средств общего назначения. Взаимодействие функциональных блоков в проблемно-ориентированных ГИС-средствах ведется на двух уровнях. Каждый из функциональных блоков верхнего уровня предназначен для решения определенной проблемной задачи. В свою очередь, такой блок может задействовать для решения этой задачи несколько функциональных блоков нижнего уровня. Блоки нижнего уровня не проблемно-ориентированы. Эти блоки могут входить в состав ГИС-средств общего назначения.

Это указывает на возможность создания проблемно-ориентированных ГИС-средств на базе ГИС-средств общего назначения. В этом случае необходимо реализовать лишь функциональные блоки верхнего уровня и интерфейс пользователя.

Создание проблемно-ориентированных ГИС-средств представляет собой «сборку из блоков», где «блоками» являются функциональные блоки ГИС-средств общего назначения, образующие «фундамент» системы. Разработчику необходимо реализовать только проблемную надстройку.

Более того, по этому же принципу можно создавать специализированные ГИС как на основе проблемно-ориентированных ГИС-средств, так и на основе ГИС-средств общего назначения.



## Контрольные вопросы по главе 6

1. Перечислите основные продукты семейства ArcGIS.
2. Поддерживают ли современные растровые ГИС векторные форматы?
3. Что такое картографический модуль?
4. Для чего нужны ГИС-приложения?
5. На кого ориентированы специализированные ГИС?
6. Какие существуют основные методы и подходы к созданию ГИС-приложений?
7. Проведите сравнительный анализ проблемно-ориентированных ГИС-средств и ГИС-средств общего назначения.
8. Для каких групп пользователей предназначены проблемно-ориентированных ГИС-средства?

---

## Глава 7

# СТАНДАРТИЗАЦИЯ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ В ГИС

---

### 7.1 Основные стандарты в области геоинформатики и сертификация цифровых карт

*Основные стандарты в картографии.* Разработка нормативной документации в области картографии и цифровой картографии велась на всем протяжении создания карт и цифровых карт. В картографии действовали и продолжают действовать следующие документы [3, 4]:

1. Руководства по картографическим и картоиздательским работам. РИО ВТС.
2. Руководящие технические материалы по созданию учебных общегеографических карт мира, материков, отдельных государств, СССР и крупных территорий СССР для средней школы. ЦНИИГАиК.
3. Руководящий технический материал по созданию учебных политических карт мира, материков и политико-административных карт СССР для средней школы. ЦНИИГАиК.
4. Основные положения по созданию и обновлению топографических карт масштабов 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000.
5. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500.
6. Классификатор топографической информации (информация, отображаемая на картах и планах масштабов 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000, 1:10 000).

Основные понятия в области картографии закрепил ГОСТ 21667-76 «Картография. Термины и определения». С развитием цифровой картографии появилась необходимость в определении основных терминов в этой области, что и осуществил ГОСТ 28441-90 «Картография цифровая. Термины и определения». Обобща-

ющим развитием этой работы по стандартизации подходов в данной области явился ГОСТ Р 50828-95 «Геоинформационное картографирование. Пространственные данные, цифровые и электронные карты. Общие требования».

Заметной вехой на пути развития отечественной геоинформатики является разработка Госгисцентром пакета ГОСТ, устанавливающего общие требования к информационному обеспечению (формату, классификатору, правилам цифрового описания объектов) цифровых топографических карт, а также к их качеству. В основу разработки были положены три принципа:

- цифровая карта не обязана содержать что-либо, кроме информации об объектах местности;
- формат, правила цифрового описания и классификатор цифровой карты должны быть максимально независимы друг от друга;
- стандарты должны быть направлены не на установление единого господствующего формата, классификатора и т. п., а на обеспечение согласованности и возможности простого взаимного преобразования многих различных форматов, используемых в разных системах.

При определении содержания и состава комплекса вышеуказанной документации коллектив разработчиков исходил из следующих положений.

Основной стандартизированной продукцией предприятий Роскартографии были и остаются топографические карты масштабов 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000, создаваемые с учетом требований, которые изложены в «Основных положениях». Что касается принципиальных отличий цифровой картографической информации от традиционной, то они стали главными объектами стандартизации.

Принимая во внимание указанные положения, в качестве основной цифровой картографической продукции, создаваемой предприятиями Роскартографии, были определены цифровые топографические карты (ЦТК).

С учетом того, что цифровые топографические карты рассматриваются как аналог топографических карт, правила, в соответствии с которыми формируется содержание ЦТК и осуществляется процесс их изготовления, аналогичны тем, что действуют в традиционном картографическом производстве. Нормативно-техническим актом (НТА), который закрепляет эти правила и устанавливает новые требования, связанные со спецификой продукции, является ГОСТ Р 51605–2000 «Карты цифровые топографические. Общие требования».

**Общие требования к ГОСТ по цифровым топографическим картам.** Разработка ГОСТ Р 51605-2000 «Карты цифровые топографические. Общие требования» основывалась на следующих принципах.

1. Необходимость ограничения круга стандартизируемой цифровой картографической продукции цифровыми топографическими картами (ЦТК). Создание цифровых карт производится на основе масштабного ряда, разграфки, картографической проекции, системы координат и системы высот топографических карт.
2. ЦТК предназначены для использования в геоинформационных системах и автоматизированных информационных системах создания и ведения кадастров различного назначения. Содержание ЦТК предусматривает



использование их в автоматизированных технологиях создания традиционной картографической продукции.

3. Информационное обеспечение, на основе которого создаются, обновляются и используются цифровые топографические карты, включает в себя обменный формат цифровой топографической карты, классификатор цифровой картографической информации и правила цифрового описания картографической информации.
4. В соответствии с современным состоянием цифрового картографического производства в качестве основного метода создания и обновления ЦТК определена автоматизированная обработка результатов растрового сканирования картографических материалов. Перспективными являются методы автоматизированной стереотопографической съемки и цифровой фотограмметрии. При создании ЦТК масштабов 1:10 000 и 1:25 000 наряду с вышеуказанными способами могут использоваться материалы наземной автоматизированной топографической съемки.
5. В процессе создания ЦТК более мелких масштабов рекомендуется использование, при их наличии, ЦТК более крупных масштабов.

Краткое содержание ГОСТ. ГОСТ «Карты цифровые топографические» устанавливает требования к внутреннему и внешнему согласованию содержания ЦТК. Внутреннее согласование предусматривает общее описание или абсолютное дублирование метрики смежных объектов на участках их примыкания друг к другу. К внешнему отнесены требования согласования смежных номенклатурных листов ЦТК и номенклатурных листов смежных масштабов. В первом случае требуется, чтобы метрика и семантика объектов смежных листов были сведены по всем выходящим на общую рамку объектам. Главное требование согласования листов смежных масштабов предусматривает тождественность подписей собственных названий, отметок высот, качественных и количественных характеристик.

ГОСТ устанавливает единство требований, которые предъявляются к ЦТК нормативно-техническими актами Роскартографии независимо от методов, технологий и технических средств, используемых при создании и обновлении ЦТК.

Особое внимание при разработке нормативно-технического документа уделено терминам и определениям.

Вторым ГОСТ этой серии стал ГОСТ Р 51606-2000 «Карты цифровые топографические. Система классификации и кодирования цифровой картографической информации. Общие требования».

Система классификации и кодирования объектов цифровых топографических карт — свод правил и конкретных указаний, определяющих порядок классификации и кодирования объектов цифровых топографических карт, а также признаков указанных объектов.

В ГОСТ выделены три основных раздела, содержащих требования:

- к системе классификации;
- системе кодирования;
- классификаторам объектов ЦТК.

Требования к классификации предусматривают, что система классификации объектов ЦТК должна охватывать все подлежащие классификации объекты ЦТК и допускать создание единого (общего) классификатора для ЦТК масштабов 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000 и 1:1 000 000.

Разработка системы классификации объектов ЦТК должна выполняться с учетом принципов, которые использовались при формировании содержания топографических карт, включая их математическую основу, условные знаки и справочную информацию (зарамочное оформление).

Система классификации объектов ЦТК и созданные в соответствии с ней классификаторы должны однозначно определять принадлежность всех подлежащих классификации объектов ЦТК к классификационным группировкам. При распределении объектов ЦТК на классификационные группировки целесообразно использовать иерархический метод классификации.

Положения ГОСТ предусматривают, что система классификации является наиболее динамичной, т. е. изменяемой и пополняемой частью информационного обеспечения. Поэтому, определяя общие правила классификации, она должна предоставлять максимум свободы процессу создания на ее основе частных систем. С учетом вышеизложенного ГОСТ предусматривает следующие требования к системе:

- однозначно определять принадлежность всех подлежащих классификации объектов ЦТК к классификационным группировкам;
- позволять использование ее для решения как картографических, так и пользовательских задач;
- не быть ориентированной на решение одной задачи (группы задач) в ущерб другим задачам;
- допускать включение новых объектов или исключение существующих без изменения классификации других объектов, а также включение новых характеристик в содержание уже классифицированных объектов ЦТК;
- обеспечивать преемственность вновь создаваемых классификаторов по отношению к ранее действовавшим в отрасли.

ГОСТ определяет, что классификации подлежат объекты цифровой топографической карты, а также переменные признаки (характеристики) этих объектов. Объекты цифровой топографической карты, которые отображают особенности топографической карты, обусловленные графическим представлением картографической информации, могут включаться в систему классификации в виде отдельных классификационных группировок.

Классификационные группировки могут быть вложенными, т. е. целиком входить одна в другую. Пересечение (неполное вхождение) группировок недопустимо.

Каждый классифицируемый объект ЦТК должен входить только в одну классификационную группировку нижнего уровня иерархии.

Объекты ЦТК классифицируются в соответствии с присущими им признаками, которые делятся на основные, однозначно определяющие классификационную группировку, в которую входит данный объект ЦТК, и переменные, не влияющие на его отнесение к классификационным группировкам.

Характеристики объектов подразделяются на обязательные (наличие которых у объекта обязательно) и на необязательные, т. е. включаемые в состав только отдельных объектов из одной и той же классификационной группировки.

При определении состава характеристик следует минимизировать их число за счет исключения характеристик, значения которых могут быть получены путем автоматических вычислений на основе значений других характеристик или метрической информации объектов ЦТК.

С учетом того, что те или иные характеристики объектов ЦТК могут иметь множество значений, система классификации должна включать:

- диапазон значений и единицы измерений — для количественных характеристик;
- множество допустимых значений — для качественных характеристик.

В общий перечень использованных в классификаторе дополнительных признаков (характеристик) должны быть включены данные о множествах возможных значений качественных характеристик, а также единицы измерения и диапазоны значений количественных характеристик.

Наименование и код качественной характеристики, допускающей множество возможных значений, должны сопровождаться в классификаторе объектов ЦТК наименованиями указанных значений и кодами, которые присваиваются каждому из значений.

Не допускается включение в классификаторы объектов или признаков, обусловленных особенностями технологий производства ЦТК.

В состав классификатора необходимо включать сведения о самом классификаторе, в том числе о (об):

- утверждении классификатора;
- правилах использования классификатора;
- области применения классификатора;
- внесенных изменениях,

а также иные необходимые для использования классификатора данные.

Третьим ГОСТом из этой серии стал ГОСТ Р 51607-2000 «Карты цифровые топографические. Правила цифрового описания картографической информации. Общие требования».

Содержание рассматриваемого ГОСТа не избежало общей участи всех документов серии «Карты цифровые топографические», а именно необходимости расширения терминологической базы цифровой картографии, что потребовало включения в состав документа терминологического раздела. Основополагающими в нем являются следующие термины и определения.

*Правила цифрового описания картографической информации* — свод систематизированных предписаний, регламентирующих содержание, структуру и порядок формирования цифровой картографической информации при создании цифровых топографических карт.

*Объект топографической карты* — структурная единица картографической информации, отображающая в соответствии с требованиями нормативной документации объект местности или другую информацию, являющуюся обязательной для отображения на топографической карте.

*Цифровое описание объекта цифровой топографической карты* — формализованное представление в цифровом виде данных об объекте топографической карты, которое включает в себя цифровое описание пространственного распространения объекта (метрика объекта цифровой топографической карты), его смыслового содержания (семантика объекта цифровой топографической карты) и пространственно-логических связей объекта с другими объектами данного номенклатурного листа топографической карты.

Два основных раздела документа определяют:

- требования к содержанию и структуре цифрового описания картографической информации в составе цифровых топографических карт;
- правила цифрового описания картографической информации.

Основными требованиями, которым должно удовлетворять цифровое описание картографической информации, являются:

- обеспечение возможности представления в цифровой форме любой информации, содержащейся на топографических картах соответствующих масштабов;
- включение в цифровое описание объектов ЦТК данных об их местоположении и плановом очертании;
- реализация представления объектов в объектно-ориентированной форме;
- обеспечение однозначности интерпретации цифровой картографической информации при ее обработке;
- обеспечение возможности автоматического формирования машинных записей объектов, предусмотренных структурой и составом ЦТК.

Объекты ЦТК должны описываться с учетом следующих основных параметров: характер локализации, сложность формирования цифрового описания и характер ориентирования относительно системы координат.

Характер локализации предусматривает такие объекты ЦТК, как дискретные, линейные, площадные и подписи. Характер локализации дискретных, линейных и площадных объектов ЦТК определяется на основе размеров описываемых объектов и масштаба создаваемой цифровой топографической карты. Правила предусматривают, что объектами ЦТК — «подпись» могут быть только имена собственные объектов, границы которых невозможно уверенно определить на местности. Специфическим объектом ЦТК является его паспорт, содержащий набор метаданных, которые характеризуют информацию в границах номенклатурного листа (НЛ) ЦТК в целом.

Возможность формирования простых и сложных, а также стандартно и нестандартно ориентированных объектов ЦТК определяется в значительной степени генетической связью между традиционной и цифровой формами описания картографической информации. Вместе с тем она отражает тот факт, что информация будет использована не только для решения аналитических задач, но и для визуализации результатов анализа, где способы отображения должны иметь информационную поддержку.

Цифровое описание каждого объекта ЦТК в обязательном порядке должно включать его номер, идентификатор, метрику и семантику. В цифровом описа-

нии объектов ЦТК могут присутствовать данные о пространственно-логических связях.

Правила представления объектов цифровых топографических карт предусматривают, что метрика объекта ЦТК должна описываться координатами точек в заданной системе координат, определяющими его местоположение и плановые очертания с точностью, которая удовлетворяет требованиям, предъявляемым к ЦТК соответствующего масштаба.

Метрика дискретного объекта ЦТК должна содержать:

- у дискретного стандартно ориентированного объекта — координаты точки местоположения центра объекта;
- у дискретного нестандартно ориентированного объекта — координаты двух точек, совместно задающих направление, одна из которых определяет местоположение центра объекта, другая — ориентацию объекта.

Метрика линейного объекта ЦТК должна быть представлена массивом координат точек, расположенных на осевой линии объекта по всей его длине. Формирование массива должно обеспечивать возможность описания:

- криволинейных объектов — точками, плотность которых обеспечивает сохранение извилистости линии при последующем воспроизведении объекта;
- объектов, состоящих из прямолинейных отрезков, — точками, фиксирующими вершины углов поворота ломаной линии.

Метрика площадного объекта должна быть представлена массивом координат точек, расположенных на линии границы объекта по всей ее длине, с обязательным замыканием контура.

Содержание массива координат точек площадного объекта ЦТК должно обеспечивать возможность формирования таких же вариантов описания метрики, как и для линейных объектов.

Метрика объекта ЦТК с характером локализации «подпись» должна быть представлена массивом координат точек, содержащим:

- у подписи стандартно ориентированной — координаты точки привязки начала подписи;
- у подписи нестандартно ориентированной и расположенной вдоль отрезка прямой или кривой линии — координаты двух и более точек линии.

Первая точка метрики объектов ЦТК с типом локализации «подпись» должна находиться на левом краю отрезка линии, вдоль которого располагается подпись.

Правила представления метрики линейных объектов ЦТК предусматривают в качестве основного варианта выбора первой точки метрики — в любой конечной точке.

Особыми случаями является описание объектов:

- гидрографии (реки, ручьи), где первая точка выбирается с учетом направления — «от истока к устью»;
- рельефа естественного или искусственного происхождения (горизонтали, обрывы, овраги, карьеры и т. д.), где выбор первой точки метрики должен быть согласован с определением направления ската.

Положение начальной точки при описании границы площадных объектов ЦТК произвольно. Исключения из этого правила должны быть описаны в соответствующей технологической документации.

Семантика объекта ЦТК должна описывать сущность и свойства объекта ЦТК и содержать:

- код объекта в соответствии с его наименованием по классификатору объектов;
- код характера локализации;
- цифровое описание характеристик объекта.

Цифровое описание характеристик объекта ЦТК должно содержать:

- код характеристики в соответствии с ее наименованием по классификатору объектов ЦТК;
- значение (при наличии);
- координаты точки (точек) привязки (при необходимости).

Значение характеристики, если в соответствии с классификатором объектов ЦТК характеристика имеет множество значений, должно соответствовать одному из следующих вариантов:

- для количественных характеристик — ее численное значение;
- для качественных характеристик — код соответствующего значения;
- для характеристик типа «имя собственное» — собственное имя объекта в текстовой форме.

Сложный объект ЦТК должен содержать семантику нескольких взаимосвязанных объектов, входящих в его состав.

Четвертым ГОСТом в этой серии стал ГОСТ Р 51608-2000 «Карты цифровые топографические. Требования к качеству цифровых топографических карт».

Под *качеством цифровой карты* (ЦК) понимается совокупность показателей, характеризующих степень соответствия ЦК требованиям, предъявляемым к учебным картам данного масштаба.

*Оценка качества ЦК* — процесс определения показателей, характеризующих качество ЦК, который выполняется изготовителем или пользователем.

Для оценки качества ЦК используются две группы характеристик качества: основные характеристики и описательные характеристики. Характеристики качества ЦК должны быть описаны в паспорте ЦК или в сопровождающем ее создании документе — формуляре.



.....  
 К основным характеристикам качества ЦК относятся такие, которые могут быть выражены, как правило, количественными показателями (полнота ЦК, точность ЦК, правильность идентификации объектов ЦК, логическая согласованность объектового состава).  
 .....

Полнота ЦК оценивается по показателям: полнота и правильность заполнения паспорта, полнота объектового состава, полнота характеристик объектов.

Точность ЦК оценивается по показателям: точность положения объектов ЦК в плане относительно исходного картографического материала (ИКМ), точность положения координатной сетки относительно ИКМ.

Правильность идентификации объектов ЦК оценивается по показателям: правильность определения кодов объектов, правильность определения характеристик объектов.

Логическая согласованность структуры и представления объектов ЦК оценивается по показателям: соответствие формату ЦК, соответствие системе классификации и кодирования цифровой картографической информации, соответствие правилам цифрового описания картографической информации.

Описательные характеристики качества ЦК отличаются от основных тем, что обладают количественными показателями. Эта категория характеристик качества предоставляет пользователю дополнительную информацию. К описательным характеристикам качества относятся назначение ЦК, происхождение и ее использование.

Значения характеристик и показателей качества ЦК определяются методами интерактивного или автоматического контроля. Контроль ЦК осуществляется в пределах проверяемого листа методом сплошной проверки.

**Сертификация цифровых карт.** Для того чтобы эффективно проводить в жизнь требования, устанавливаемые стандартами, необходим соответствующий правовой механизм. Таким механизмом является сертификация цифровых карт.

Основными целями сертификации являются:

- упорядочение стихийного рынка;
- защита интересов потребителей;
- экономия бюджетных средств.

Система сертификации включает в себя как обязательную, так и добровольную сертификацию. Цифровые карты являются предметом обязательной сертификации. Внедрение системы сертификации позволяет усовершенствовать и механизм лицензирования топографо-геодезической и картографической деятельности. В настоящее время процесс выдачи лицензии во многом формален, так как зависит в основном от правильности представляемых в комиссию по лицензированию документов. Организация производства на получившем лицензию предприятии и изготавливаемая продукция часто не проверяются совсем. Это приводит к появлению на рынке «одноразовых» фирм, заведомо не способных создать качественную продукцию, и фирм-посредников. Особенно много их возникает на рынке модной ныне цифровой картографической продукции. Деятельность таких фирм приводит, как правило, к непроизводительным потерям народных средств. Периодическая сертификация, которой должна будет подвергаться продукция получивших лицензию фирм, позволит отсеивать явный брак и по существу контролировать обоснованность выдачи лицензий. Сертификация позволит, наконец, скоординировать усилия большинства производителей цифровой картографической продукции путем приведения их к единым требованиям.

Исходным эталоном для сертификации является топографическая карта на твердой основе (бумаге, пластике). Объектом сертификации — цифровая учебная или топографическая карта. Задачей сертификации является подтверждение соот-

ветствия цифровой топографической карты (объекта сертификации) топографической карте на твердой основе (исходному эталону).

Для решения задачи необходимо: определить перечень и значения характеристик, на основе которых можно сделать однозначный вывод о соответствии; определить методику оценки значений характеристик и сравнения характеристик объекта сертификации и исходного эталона; определить критерии для вывода о соответствии; разработать тесты для оценки значений характеристик и их сравнения с целью максимального исключения субъективного фактора эксперта при оценке соответствия.

Пилотный проект выполняется для учебной или топографической карты определенного вида и масштаба. Цифровая карта представляется в конкретном наиболее распространенном обменном формате.

Для создания эталонного образца необходимо наличие оттестированной программы обработки результатов сканирования (приведение растрового изображения к теоретическим размерам для устранения погрешности бумаги и сканирования).

Для сравнения испытуемого экземпляра цифровой карты с растровым представлением испытуемого образца необходимо наличие независимой от формата данных программной оболочки для визуализации, использующей в качестве внутреннего формата один из общеизвестных обменных форматов. В этой оболочке должны быть учтены возможности отображения содержимого карты в условных знаках в соответствии с исходным оригиналом; отображения информации по слоям; использования инструментария для определения точностных параметров, отклонения от эталона, измерения абсолютных и относительных координат, для сбора статистических данных, контроля и анализа структуры базы данных; перемещения по стандартным фиксированным окнам с интерактивным заполнением протокола испытаний.

В испытательную лабораторию поступают цифровые карты в установленном обменном формате с наличием объектов, кодировкой и расслоением в соответствии с утвержденным классификатором и исходный эталон объекта сертификации.

Исходный эталон сканируется, приводится к теоретическим параметрам и трансформируется в растровое изображение. Данные по цифровой карте и растровое представление исходного эталона загружаются в программу визуализации и анализа. Проверяется структура данных цифровой карты на соответствие классификатору и ряду других параметров. Соответствие испытуемой карты эталону проверяется путем просмотра на экране видеомонитора стандартных, фиксированных пронумерованных окон по основным выбранным параметрам (наличие, точность, правильность отображения) с заполнением протокола испытаний.

На основе результатов по окнам делаются выводы и заключение о соответствии цифровой карты и исходного эталона в целом.

## 7.2 Нормативная документация по защите информации в геоинформатике

В мировой практике развитие информационных технологий, обеспечивающих сбор, обработку, преобразование, хранение и распределение различных информа-



ционных ресурсов (данных), происходит по экспоненциальной кривой, и эта тенденция сохранится на ближайшие десятилетия. Владение информационными технологиями и ресурсами создает предпосылки для успешного и прогрессивного развития любого государства.

Общезивилизованный процесс создания мирового информационного пространства предполагает большую открытость государства. Вместе с тем становление новой российской государственности на основе принципов демократии, законности, стремления к более тесному сотрудничеству с зарубежными странами и открытости сторон не исключает необходимости сохранения института государственной тайны и защиты отечественной информационной среды. В настоящее время именно через информационную среду осуществляется угроза национальной безопасности в различных сферах деятельности государства. Сегодня имеет место информационная экспансия ряда развитых стран, осуществляющих глобальный мониторинг мировых политических, экономических, военных, экологических и других процессов (в том числе и в области геоинформации), распространяющих информацию в целях получения односторонних преимуществ. Используя свое определенное преимущество в информационных технологиях, развитые страны мира пытаются установить и навязать «новый информационный порядок», обеспечивающий значительные возможности использования ими информационных ресурсов (как собственных, так и других стран) для достижения своих национальных целей, в ущерб национальным интересам других стран.

Вероятно, одной из главных причин международных конфликтов завтрашнего дня станет борьба за энергетические и иные природные ресурсы, сведения о которых собраны и хранятся в основном на картографической основе, а также используются в геоинформационных системах различного назначения.

К сожалению, в общественном сознании России еще не полностью осознано понимание роли и места информации в современном мире, понимание того факта, что средства и системы информации страны, политика использования информационных ресурсов в значительной степени определяют как наш оборонный потенциал, так и успех экономической реформы.

В последнее время в ряде публикаций журналов и бюллетеней в области геоинформации высказывается мнение о неоправданности требований по секретности, о большой стоимости работ в области защиты информации, чуть ли не делаются попытки некоторых ведомств оградить Россию от технического прогресса путем реконструкции «железного занавеса» и выставления препятствий на пути приобретения различных данных, например космического зондирования высокого разрешения и высокоточных GPS (приемников и др.).

В общем виде защита информационной среды строится на основе следующих основных принципов:

- законодательного (правового) обеспечения вопросов защиты информации различных видов;
- проведения единой государственной политики в области засекречивания сведений и информации (обоснованности, необходимости и достаточности);
- лицензирования деятельности предприятий, организаций и учреждений в области защиты информации;

- сертификации систем и средств защиты информации и аттестации объектов информатизации по требованиям безопасности;
- упорядочения правил информационного обмена и передачи информационных продуктов, в том числе международного информационного обмена.

На основе этих основных принципов каждое министерство и ведомство осуществляет необходимые мероприятия и комплекс работ в области защиты информации применительно к сфере своей деятельности и в пределах компетенции, определенной законодательством.

Федеральным законом «Об информации, информатизации и защите информации», направленным на регулирование взаимоотношений в информационной среде, определено (ст. 2): «Информация — сведения о лицах, предметах, фактах, событиях, явлениях и процессах независимо от формы их представления; документированная информация (документ) — зафиксированная на материальном носителе информация с реквизитами, позволяющими ее идентифицировать». Этим законом определено, что информационные ресурсы, т. е. отдельные документы или массивы документов, в том числе и в информационных системах, являясь объектом отношений физических, юридических лиц и государства, подлежат **ОБЯЗАТЕЛЬНОМУ УЧЕТУ и ЗАЩИТЕ**, как всякое материальное имущество собственника (ст. 4.1, ст. 6.1). При этом собственнику предоставляется право самостоятельно, в пределах своей компетентности, устанавливать режим защиты информационных ресурсов и доступа к ним (ст. 6.7). Необходимо отметить, что ответственность за выполнение мер защиты лежит не только на собственнике, но и на пользователе информации. Собственник информационных ресурсов, содержащих государственную тайну, вправе распоряжаться этой собственностью только с разрешения соответствующих органов государственной власти (ст. 6.3). Российская Федерация и ее субъекты являются собственниками информационных ресурсов, создаваемых за счет средств федерального бюджета и бюджетов субъектов Российской Федерации. В законе также упоминается об информации, которая представляет собой национальное достояние. Согласно ст. 10.2 введено понятие документированной информации с ограниченным доступом, которая подразделяется на информацию, отнесенную к государственной тайне, и конфиденциальную (т. е. документированную информацию, доступ к которой ограничивается в соответствии с законодательством Российской Федерации, — коммерческую, личную, служебную, банковскую и другие тайны).

Основными целями защиты информации, согласно Федеральному закону «Об информации, информатизации и защите информации», являются (ст. 20):

- предотвращение утечки, хищения, утраты, искажения, подделки информации;
- предотвращение угроз безопасности личности, общества, государства;
- предотвращение несанкционированных действий по уничтожению, модификации, искажению, копированию, блокированию информации;
- предотвращение других форм незаконного вмешательства в информационные ресурсы и информационные системы, обеспечение правового режима документированной информации как объекта собственности;

- защита конституционных прав граждан на сохранение личной тайны и конфиденциальности персональных данных, имеющих в информационных системах;
- сохранение государственной тайны, конфиденциальности документированной информации в соответствии с законодательством;
- обеспечение прав субъектов в информационных процессах и при разработке, производстве и применении информационных систем, технологий и средств их обеспечения.

Собственники информационных ресурсов, содержащих сведения, отнесенные к государственной тайне, в том числе и сведения ограниченного доступа, неправомерное обращение с которыми может нанести ущерб ее собственникам, изыскивают специальные меры, обеспечивающие контроль за ее использованием и качеством защиты.

Секретность информации. По мере развития государства и перехода к рыночной экономике остро встала необходимость изменения принципа секретности, свыше семидесяти лет базировавшейся на привычном представлении «осажденной крепости», «охраны забора» или «железного занавеса». Утверждение Президентом РФ (Указ №1230 от 30 ноября 1995 г.) и открытая публикация «Перечня сведений, отнесенных к государственной тайне» — новый этап становления правового режима защиты государственной тайны в РФ и засекречивания. Этот перечень предназначен для осуществления единой государственной политики в области засекречивания. В настоящее время имеются следующие основные документы, определяющие отношение к государственной тайне и засекречиванию: Закон РФ «О государственной тайне»; «Перечень сведений, отнесенных к государственной тайне»; «Положение о Межведомственной комиссии по защите государственной тайны»; «О перечне должностных лиц органов государственной власти, наделенных полномочиями по отнесению сведений к государственной тайне»; Уголовный кодекс РФ, содержащий статьи, предусматривающие ответственность за посягательства на государственную тайну и преступления в сфере компьютерной информации.

Перечень сведений дан как исчерпывающий и соответствует ст. 5 Закона РФ «О государственной тайне». Должностные лица — руководители федеральных органов исполнительной власти персонально распоряжением Президента РФ наделены полномочиями по засекречиванию сведений. Принцип обоснованности засекречивания (ст. 6 Закона РФ «О государственной тайне») позволяет из всей области сведений, засекречивание которых законно, выбрать только те, засекречивание которых еще и целесообразно по экономическим и иным причинам. Обоснованность засекречивания сведений, согласно Закону РФ «О государственной тайне», должна пересматриваться не реже чем раз в 5 лет. В итоге появилась возможность от жесткой и «неповоротливой» перечневой системы общегосударственного засекречивания перейти к системе отраслевых, ведомственных и программно-целевых перечней, которые достаточно оперативно могут изменяться в соответствии с происходящими переменами в политической и экономической жизни страны.

Такой подход должен позволить сегодня системе засекречивания адаптироваться к изменяющимся обстоятельствам, ввести экономические и иные качественные показатели обоснованности засекречивания, не поддерживать искусственную секретность, наносящую ущерб экономическим интересам РФ. В области геоде-

зии и картографии согласно «Перечню сведений, отнесенных к государственной тайне» (разд. IV, п. 62) государственными органами, наделенными полномочиями по распоряжению сведениями, отнесенными к государственной тайне, а именно «Сведениями, раскрывающими результаты топографической, геодезической или картографической деятельности, имеющими важное оборонное или экономическое значение», являются Минобороны России, Минэкономики России и Роскартография. В системе Роскартографии основными нормативными документами, определяющими секретность и конфиденциальность, а также порядок использования карт ограниченного доступа, являются:

- «Развернутый перечень сведений, подлежащих засекречиванию по системе Роскартографии»;
- «Перечень сведений по геодезии, топографии, картографии и аэрофотосъемке и их носителей, отнесенных к служебной информации ограниченного распространения с пометкой «ДСП»;
- Инструкция СТГМ-90;
- «Перечень элементов содержания топографических карт и планов городов, не подлежащих показу на картах открытого использования»;
- правовая основа лицензирования и сертификации в области защиты информации.

Система лицензирования деятельности в области защиты информации вступила в силу с 1 января 1995 г. и подразумевает:

- лицензирование деятельности предприятий с использованием сведений, составляющих государственную тайну, — лицензии выдаются ФСБ России — на территории России, СВР России — за рубежом;
- лицензирование деятельности в области защиты информации и работ, связанных с созданием средств защиты информации, — лицензии выдаются Гостехкомиссией России и ФАПСИ в пределах их компетенции;
- лицензирование деятельности по оказанию услуг в области защиты государственной тайны — лицензии выдаются ФСБ России и ее территориальными органами, ФАПСИ, Гостехкомиссией России, СВР России в пределах прав, предоставленных законами.

Организация сертификации средств защиты информации возлагается на Гостехкомиссию России, ФСБ, ФАПСИ и Минобороны России в пределах компетенции, определенной для них в вышеприведенных нормативных документах.

Что конкретно подлежит сертификации:

- сертификации подлежат защищенные технические, программно-технические, программные средства, системы, сети вычислительной техники и связи, средства защиты и средства контроля эффективности защиты;
- обязательной сертификации подлежат средства, в том числе и иностранного производства, предназначенные для обработки информации с ограниченным доступом и прежде всего содержащей сведения, составляющие государственную тайну, а также использующиеся в управлении экологически опасными объектами, вооружением и военной техникой и средства их

защиты. В остальных случаях сертификация носит добровольный характер и может осуществляться по инициативе производителя и потребителя.

Производится сертификация: программных и технических средств защиты информации, не использующих методы криптографии и шифрования, — в рамках: «Системы сертификации средств защиты информации по требованиям безопасности информации» РОСС RU. 0001.01БИОО испытательными лабораториями и экспертными комитетами, аккредитованными Гостехкомиссией России; программных и технических средств защиты информации, использующих методы криптографии и шифрования в рамках «Системы сертификации средств: криптографической защиты информации» РОСС RU 0001.03001 органами ФАПСИ. В Гостехкомиссии России и ФАПСИ завершается работа над Перечнями средств защиты информации, подлежащих сертификации в конкретных системах сертификации.

В настоящее время Правительством Российской Федерации поднимается вопрос создания системы обязательной государственной сертификации информационных систем, обрабатывающих единые государственные ресурсы, представляющие национальное достояние России.

Остановимся на информационном обмене и передаче потребителям картографической информации. На многих предприятиях возникают трудности с определением правомочности вывоза за рубеж различной обобщенной информации, сделанной, например, на основе картографической информации. Такая информация может составлять национальное достояние России и иметь большую практическую и коммерческую ценность.

Различными организациями, в том числе коммерческими, предлагается широкий перечень услуг по выходу в сеть INTERNET, с размещением информации на специализированных серверах. Безусловно, использование сети INTERNET является уникальной возможностью обмена рекламной, демонстрационной, учебной, справочной и другой информацией между десятками миллионов пользователей. Однако необходимо отметить, что применяемые средства и системы защиты информации в сети INTERNET для информации, которую поставщики и пользователи хотели бы ограничить в использовании, практически не обеспечивают ее защиту. Основным документом, определяющим правила международного информационного обмена, является Федеральный закон РФ «Об участии в международном информационном обмене». В соответствии с законом доступ предприятий к средствам международного информационного обмена и иностранным информационным продуктам осуществляется по правилам, установленным собственником или владельцем этих средств и продуктов, в соответствии с законодательством РФ. Собственник или владелец средств международного информационного обмена и информационных продуктов обязан обеспечить открытость установленных им правил доступа и возможность ознакомления с ними пользователя.

Согласно закону:

- ст. 8 п. 1: «Ограничивается вывоз из Российской Федерации документированной информации, отнесенной к государственной тайне, или иной конфиденциальной информации; общероссийскому национальному достоянию; архивному фонду; иным категориям документированной информации, вывоз которой может быть ограничен законодательством РФ. Возможность вывоза с территории Российской Федерации такой документированной ин-

формации определяется Правительством Российской Федерации в каждом отдельном случае»;

- ст. 9 п. 2: «Защита конфиденциальной информации государством распространяется только на ту деятельность по международному информационному обмену, которую осуществляют физические и юридические лица, обладающие лицензией на работу с конфиденциальной информацией и использующие сертифицированные средства международного информационного обмена»;
- ст. 17 п. 3: «Средства международного информационного обмена, которые обрабатывают документированную информацию с ограниченным доступом, а также средства защиты этих средств подлежат обязательной сертификации»;
- ст. 18: «Деятельность по международному информационному обмену в Российской Федерации подлежит лицензированию в случаях, когда в результате этой деятельности вывозится за пределы территории Российской Федерации документированная информация для пополнения государственных информационных ресурсов за счет средств федерального бюджета субъектов Российской Федерации, если это не противоречит международным договорам Российской Федерации и законодательству Российской Федерации. Порядок лицензирования определяется Правительством Российской Федерации».

Правовые основы деятельности в области геодезии и картографии, направленной на создание условий для удовлетворения потребностей государства, граждан и юридических лиц, а также условий для функционирования и взаимодействия органов государственной власти, определены в Федеральном законе РФ «О геодезии и картографии».

В соответствии с законом установлено:

- ст. 5 п. 3: «Осуществление исполнительных, распорядительных, разрешительных, надзорных и иных функций в области геодезической и картографической деятельности, относящихся к ведению Российской Федерации, выполняет федеральный орган исполнительной власти по геодезии и картографии» (Роскартография);
- ст. 9 п. 5: «Передача третьим лицам полученных материалов и данных государственного картографо-геодезического фонда Российской Федерации и их копирование не допускаются без разрешения соответствующего органа исполнительной власти, в ведении которого находятся эти материалы и данные»;
- ст. 9 п. 6: «Доступ к материалам и данным государственного картографо-геодезического фонда Российской Федерации, являющимся носителями сведений, составляющих государственную тайну, осуществляется в соответствии с законодательством Российской Федерации о государственной тайне»;
- ст. 9 п. 8: «Государственный геодезический надзор за передачей гражданами и юридическими лицами геодезических и картографических материа-

лов и данных в соответствующие картографо-геодезические фонды, хранением и использованием этих материалов и данных, а также ведение государственного реестра ведомственных картографо-геодезических фондов осуществляет федеральный орган исполнительной власти по геодезии и картографии»);

- ст. 9 п. 9: «Граждане и юридические лица — пользователи материалов и данных государственного картографического фонда Российской Федерации — обязаны: обеспечивать сохранность полученных во временное пользование указанных материалов и данных и возвращать их в установленные сроки; не разглашать содержащиеся в указанных материалах и данных сведения, составляющие государственную тайну»;
- ст. 13 п. 3: «Федеральный орган исполнительной власти по геодезии и картографии и его территориальные органы при осуществлении государственного геодезического надзора имеют право доступа в установленном порядке в соответствующие федеральные органы исполнительной власти, а также в организации независимо от их форм собственности для ознакомления со всеми необходимыми документами по вопросам геодезической и картографической деятельности».

В соответствии с указанными законами предприятия Роскартографии до выдачи потребителям созданной секретной и с пометкой «для служебного пользования» картографической продукции в цифровом (электронном) и в графических видах в обязательном порядке согласовывают ее с инспекциями государственного геодезического надзора Роскартографии. Такому согласованию подлежат также топографические карты масштабов 1:200 000, 1:500 000 и 1:1 000 000 в графическом и цифровом (электронном) видах, не имеющие ограничительного грифа, но содержащие служебную информацию ограниченного распространения.

Иногда получатели (потребители) указанной выше картографической продукции Роскартографии передают ее третьим организациям для использования при выполнении различных договорных работ. Такая передача разрешается только по согласованию с инспекциями госгеонадзора Роскартографии, которые должны самым тщательным образом изучить возможности исполнителя договорных работ по обеспечению требований учета, хранения и использования переданных ему материалов. Учитывая, что в законодательстве РФ, а также в Гостехкомиссии России, ФАПСИ и ФСБ в течение последних лет появилось много новых документов в области защиты информации, в Роскартографии были приняты меры по приведению в соответствие с требованиями новых документов отраслевой системы защиты. В отрасли определена головная организация по вопросам комплексной системы защиты информации — «Росгеоинформ», налажено взаимодействие с Гостехкомиссией России и ведущими центрами по вопросам защиты информации ряда ведомств и министерств, проведено обучение на специализированных курсах нескольких десятков специалистов по вопросам защиты в автоматизированных системах.

В настоящее время разработаны нормативные документы (НД), определяющие порядок проведения работ по защите цифровой картографической информации (ЦКИ). Введение в действие этих НД по отрасли позволит осуществлять защиту ЦКИ и ГИС централизованно, с сокращением финансовых затрат и в це-

лом повысить систему нормативного контроля эффективности принятых или принимаемых новых мер защиты на предприятиях Роскартографии. С точки зрения решения вопросов защиты информации особенности технологий создания ЦКИ и геоинформационных систем по сравнению с обычными информационными системами вызваны ориентацией последних на одну предметную область обработки информации (например, проектирование плат) и ее хранения в базах данных, в то время как технологии создания ЦКИ и ГИС предусматривают многослойность географической и тематической информации в базах данных с разным уровнем конфиденциальности или секретности и чувствительности слоев; возможность появления секретной информации, а также в результате обращения пользователя к геоинформации, начиная с определенного «слоя» из масштабного ряда цифровых топографических данных. Тематическая информация различного характера может быть секретна частями или становится секретной по мере ее заполнения. Эти особенности влекут за собой иной подход к проектированию ряда элементов системы защиты информации, в частности системы разграничения доступа, и определенные сложности в настройке реквизитов защиты.

Для решения этих вопросов должен быть осуществлен выбор средств и систем защиты информации (СЗИ) для различных операционных сред в государственных организациях и коммерческих фирмах, как правило, по следующим основным принципам:

- 1) наличие на средства и системы защиты сертификата соответствия требованиям безопасности Гостехкомиссии России или ФАПСИ, с документацией, а также демоверсиями и рекламными проспектами;
- 2) перспективные сертифицированные системы и средства защиты, которые могут быть представлены на сертификационные испытания;
- 3) сведения о количестве установленных инсталляций СЗИ и в каких организациях, отзывах о качестве функционирования СЗИ;
- 4) возможность функционирования СЗИ на автономных ПЭВМ и в составе ЛВС;
- 5) возможность функционирования в серийных, стандартизованных операционных средах типа MS DOS и различных серий Windows, SCO UNIX и т. п., а также в системах управления базами данных типа Paradox, Oracle, PostgreSQL и др.;
- 6) наличие удобного интерфейса и простота взаимодействия пользователей и администраторов ЛВС с СЗИ;
- 7) возможность совместного функционирования (совместимость) СЗИ с технологическим программным обеспечением, технологиями создания ЦКИ и ГИС;
- 8) выполнение требований по защите, в том числе программных ресурсов от несанкционированного доступа) НСД, в соответствии с требованиями ГОСТ и НД;
- 9) возможность совместного функционирования (непротиворечивость) с дополнительно устанавливаемыми или встраиваемыми аппаратными СЗИ (криптографические платы, электронные ключи и т. п.);



- 10) возможность дальнейшего развития СЗИ;
- 11) стоимость установки — начиная с одной ПЭВМ — и ценовая политика по снижению цен при установке СЗИ на ПЭВМ от 11 шт.;
- 12) показатели (по результатам сертификации) класса защищенности от НСД к информации для автоматизированных систем (АС) и для средств вычислительной техники;
- 13) возможность обработки информации различной степени секретности, служебной информации ограниченного распространения и коммерческой тайны;
- 14) гарантийные обязательства, в том числе по бесплатной (или со скидкой) установке улучшенных версий СЗИ;
- 15) минимальные и максимальные технические ресурсы ПЭВМ, требующиеся для нормального функционирования СЗИ (объем оперативной и дисковой памяти и т. п.), быстродействие, временные и надежность характеристики (если они имеются) и ряд других критериев.

## 7.3 Алгоритмы защиты цифровой пространственной информации

Основной составляющей ГИС является цифровая карта. Цифровые топографические основы отличает высокая себестоимость работ по их созданию. Следовательно, возникает вопрос об авторских правах на цифровые карты. Карты, как и другая информация, как правило, являются интеллектуальной собственностью их создателя. Высокой ценностью обладает тематическая информация цифровых карт, используемая в ГИС. Очевидно, что содержание цифровых карт, которые используются в военных целях, также не является информацией общего пользования.



.....  
Картографические данные, несущие определенную коммерческую информацию, имеющую ценность для коммерческих организаций, использующих ГИС, требуют ограничения доступа к ним.  
.....

Широкое применение сетевых технологий при работе с ГИС имеет немало преимуществ. Это одновременный доступ к цифровым картам, возможность обращения к картографическим базам данных, обмен данными без использования автономных носителей и т. п. Но наравне с преимуществами имеются и недостатки. Возрастает возможность утечки данных из корпоративной сети, несанкционированного доступа к конфиденциальной картографической информации.

В связи с вышесказанным достаточно актуальной стала проблема защиты цифровых карт и картографических баз данных от несанкционированного доступа и пиратского копирования. Программно-аппаратные решения данной проблемы существуют, но и они не являются универсальными. Таким образом, на сегодняшний день среди различных источников, связанных с защитой информации, выделяют

два основных способа защиты цифровых карт: с помощью встроенных средств ГИС, а также программных и аппаратных решений сторонних производителей

Очевидно, что если бы производители ГИС решали данную проблему в рамках программных продуктов, то это было бы наиболее удобным решением для пользователя. Но, к сожалению, разработчики не всегда предусматривают подобные механизмы защиты цифровых карт в своих системах. В настоящее время использование специализированных продуктов сторонних производителей является, пожалуй, единственным серьезным решением данной проблемы.

На сегодняшний день самый распространенный вид программно-аппаратной защиты данных — электронные ключи. Данные устройства позволяют защищать цифровую карту (т.е. файлы, из которых она состоит) с помощью специальных алгоритмов шифрования. Этот ключ в дальнейшем передается пользователю.

Данный метод эффективен, но защищать свои данные подобным методом могут только крупные компании, создающие и распространяющие ГИС-данные. Эти компании могут позволить себе заказать производство электронных ключей для всего объема данных. Для небольших же компаний программный метод подходит лучше, так как, купив программу, они могут распространять защищенные ГИС-данные без дополнительных устройств.

Чтобы обеспечить защиту картографической информации, можно предложить простой, но эффективный алгоритм искажения метрики.

С помощью генератора псевдослучайных чисел в пределах содержащего прямоугольника цифровой карты генерируется определенное количество случайных точек. Генерируемая последовательность псевдослучайных чисел зависит от ряда величин — параметров генератора. Эти величины могут быть получены детерминированным алгоритмом из пароля.

На цифровой карте на сгенерированных точках строится триангуляция Делоне.

В каждой вершине триангуляции вычисляется псевдослучайный вектор смещения. При этом диапазон возможных значений данного вектора определяется свойствами триангуляции в данной точке, чтобы достичь обратимости полученного преобразования и соответствия условию визуального сходства исходной и искаженной карты.

Каждая вершина переносится на величину своего вектора смещения, в результате чего получается новая триангуляция. Все точки исходной карты, задающие положение объектов на ней, попадающие в некоторый треугольник исходной триангуляции, линейной интерполяцией переносятся в соответствующий треугольник новой триангуляции.

В результате данного процесса получаем искаженную цифровую карту.

Для обратного преобразования предлагается следующий метод.

На основе пароля определяются параметры генерации вершин триангуляции и их смещений, которые использовались в процедуре искажения карты.

На цифровой карте на данных точках строится та же исходная триангуляция Делоне, что и при искажении.

В каждой вершине триангуляции вычисляется тот же вектор смещения, что и при искажении. Каждая вершина переносится на величину своего вектора смещения, в результате чего получается триангуляция, которая является искаженной по отношению к исходной.

В каждой вершине искаженной триангуляции вектор смещения заменяется на обратный. Все точки искаженной карты, задающие положение объектов на ней, попадающие в некоторый треугольник искаженной триангуляции, линейной интерполяцией переносятся в соответствующий треугольник исходной триангуляции.

В результате данного процесса восстанавливаем исходную цифровую карту.

То есть процесс искажения карты отличается от процесса ее восстановления заменой исходной триангуляции на искаженную и вектора смещения на противоположный. Это возможно потому, что используемое преобразование является кусочно-линейным. Даже если несанкционированному пользователю известен алгоритм искажения и истинные координаты некоторых искаженных точек, он не сможет восстановить все параметры кусочно-линейного преобразования, т. к. их нельзя однозначно определить по множеству примеров приемлемого размера.



## Контрольные вопросы по главе 7

1. В чем заключается сертификация цифровых карт?
2. Что такое система классификации и кодирования картографической информации?
3. Каковы основные требования к созданию цифровых карт?
4. От чего необходимо защищать геопространственные данные?
5. Каким угрозам подвергаются геоданные в глобальных сетях?

---

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

Представленный в данном пособии материал является базой для успешного изучения особенностей построения и использования геоинформационных систем, все шире входящих в информационный процесс человечества.

Автор-составитель надеется, что представленный в данном учебном пособии материал не только позволит ощутить дух и основные идеи современных геоинформационных технологий, но и пробудит в читателях интерес к дальнейшему самосовершенствованию в данной, бурно развивающейся в настоящее время, области знаний.

---

# ЛИТЕРАТУРА

---

## Основная литература

- [1] Ковин Р. В. Геоинформационные системы : учеб. пособие / Р. В. Ковин, Н. Г. Марков. — Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2008. — 175 с.
- [2] Геоинформатика : учебник для студ. вузов / Е. Г. Капралов [и др.] ; под ред. В. С. Тикунова. — М. : Академия, 2005. — 480 с.
- [3] Основы геоинформатики : учеб. пособие для студентов вузов : в 2 кн. / Е. Г. Капралов [и др.] ; под ред. В. С. Тикунова. — М. : Академия, 2004. — Кн. 1. — 352 с.
- [4] Основы геоинформатики : учеб. пособие для студентов вузов : в 2 кн. / Е. Г. Капралов [и др.] ; под ред. В. С. Тикунова. — М. : Академия, 2004. — Кн. 2. — 480 с.
- [5] Ковин Р. В. Геоинформационные технологии для анализа двумерных геополей / Р. В. Ковин, Н. Г. Марков. — Томск : Изд-во ТГУ, 2006. — 176 с.

## Интернет-ресурсы по тематике ГИС

- [6] Официальный сайт ГИС-ассоциации России. — URL: <http://www.gisa.ru>.
- [7] Официальный сайт Центр Геоинформационных Исследований Института Географии Российской Академии Наук. — URL: <http://geocnt.geonet.ru/>.
- [8] Официальный сайт компании ESRI Inc., США. — URL: <http://www.esri.com>.
- [9] Официальный сайт компании MapInfo Corp., США. — URL: <http://www.mapinfo.com>.
- [10] Дистрибьютор продуктов ESRI Inc. в России компания «Дата+». — URL: <http://www.dataplus.ru>.

- 
- [11] Дистрибьютор продуктов MapInfo Corp. в России компания «ЭстиМап». — URL: <http://www.esti-map.ru>.
- [12] Официальный сайт компании Intergraph Corp Inc., США. — URL: <http://www.intergraph.com>.
- [13] Веб-сервис Google Maps компании Google. — URL: <http://maps.google.com>.

---

# ГЛОССАРИЙ

---

*CAD-системы* — системы для автоматизированного проектирования с использованием средств машинной графики.

*База геоданных* — созданная компанией ESRI модель, определяющая структуру и правила хранения различных видов данных — векторных и растровых, адресных точек, данных геодезических измерений и многих других.

*Геоинформатика (geo-informatics)* — наука, технологии и производственная деятельность по научному обоснованию, проектированию, созданию, эксплуатации и использованию географических информационных систем, по разработке геоинформационных технологий, по прикладным аспектам или приложению ГИС для практических и геонаучных целей.

*Геополе (поверхность, рельеф)* — трехмерный объект (3D) — один из четырех основных типов пространственных объектов, определяемый не только плановыми координатами  $x$ ,  $y$ , но и аппликатой  $z$  (значение геополя), т. е. определяемый тройкой координат.

*ГИС* — географическая информационная система, или геоинформационная система. Можно рассматривать ГИС как набор аппаратных и программных инструментов, используемых для ввода, хранения, манипулирования, анализа и отображения пространственной информации.

*ГИС-вьювер* — программа, предназначенная для визуализации пространственной информации, вывода ее на печать.

*ГИС-платформа* — многообразие ПО ГИС одного производителя.

*ГОСТ* — государственный стандарт.

*Информационная технология* — совокупность методов и способов получения, обработки, представления информации, направленных на изменение ее состояния, свойств, формы, содержания и осуществляемых в интересах пользователей.

*Карта* — модель пространственно-временных отношений объектов и явлений на земной поверхности.

*Картографическая проекция* — математически определенный способ отображения поверхности эллипсоида на плоскости.

*Картография* — наука, которая занимается созданием, изучением и использованием картографических произведений.

*Номенклатура* — обозначение отдельных листов многолистных топографических карт и планов в единой системе.

*ПО* — программное обеспечение.

*Пространственные, или географические, данные* — данные, снабженные указанием на их локализацию в пространстве с помощью позиционных атрибутов.

*Разграфка карты (плана)* — система разделения карты или плана на отдельные листы.

*САПР (CAD — computer-aided design)* — системы автоматизированного проектирования.

*Тематические карты* — карты, созданные по определенной теме и предназначенные для демонстрации каких-либо объектов или явлений.

*Технология* — наука о законах производства материальных благ, содержащая три такие основные части, как идеологию, (принципы производства), орудия труда (станки, машины, агрегаты) и кадры, владеющие профессиональными навыками.

*Топология* (от греч. *topos* — место) — раздел математики, изучающий топологические свойства фигур, т. е. свойства, не изменяющиеся при любых деформациях фигур, производимых без разрывов и склеиваний.





Учебное издание

**Жуковский** Олег Игоревич

**ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ**

Учебное пособие

Корректор Осипова Е. А.

Компьютерная верстка Мурзагулова Н. Е.

Подписано в печать 18.11.14. Формат 60x84/8.

Усл. печ. л. 15,35. Тираж 100 экз. Заказ

---

Издано в ООО «Эль Контент»

634029, г. Томск, ул. Кузнецова д. 11 оф. 17

Отпечатано в Томском государственном университете  
систем управления и радиоэлектроники.

634050, г. Томск, пр. Ленина, 40

Тел. (3822) 533018.