




# **Модели пространственных данных**



Информационную основу **ГИС** образуют цифровые представления (модели) реальности. С появлением компьютера все множество данных разделилось на два типа: **цифровые и аналоговые**. Последними стали именовать данные на традиционных «бумажных» носителях, используя этот термин как антоним цифровым данным.



Рассматривая данные по отношению к описываемым ими объектам, говорят о цифровых моделях объектов, а применительно к пространственным объектам в **ГИС** - о цифровых моделях пространственных объектов.

Объектом информационного моделирования в ГИС является **пространственный объект**. Он может быть определен как цифровое представление (модель) объекта реальности (местности), содержащее его местоуказание и набор свойств (характеристик, атрибутов), или сам этот объект.


Некоторое множество цифровых данных о пространственных объектах образует **пространственные данные**. Они состоят из двух взаимосвязанных частей:

- позиционной (тополого-геометрической) и
- непозиционной (атрибутивной) составляющих, которые образуют описание пространственного положения и тематического содержания данных.

**Базовыми (элементарными) типами пространственных объектов, которыми оперируют современные ГИС, обычно считаются (в скобках приведены их синонимы):**

- *точка* (точечный объект) - 0-мерный объект, характеризуемый плановыми координатами;
- *линия* (линейный объект, полилиния) - 1-мерный объект, образованный последовательностью не менее двух точек с известными плановыми координатами (*линейными сегментами* или *дугами*);
- *область* (полигон, полигональный объект, контур, контурный объект) - 2-мерный (площадной) объект, внутренняя область, ограниченная замкнутой последовательностью линий (*дуг в векторных топологических моделях (данных)* или *сегментов в модели «спагетти»*) и идентифицируемая внутренней точкой (*меткой*);

- *пиксел* (пиксель, пэл) - 2-мерный объект, элемент цифрового изображения, наименьшая из его составляющих, получаемая в результате дискретизации изображения (разбиения на далее неделимые элементы *растра*); элемент дискретизации координатной плоскости в *растровой модели (данных)* ГИС;
- *ячейка* (регулярная ячейка) - 2-мерный объект, элемент разбиения земной поверхности линиями *регулярной сети*; *поверхность* (рельеф) - 2-мерный объект, определяемый не только плановыми координатами, но и аппликатой  $Z$ , которая входит в число *атрибутов* образующих ее объектов; *оболочка тела*;
- *тело* - 3-мерный (объемный) объект, описываемый тройкой (триплетом) координат, включая аппликату  $Z$ , и ограниченный *поверхностями*.



## **Общее цифровое описание пространственного объекта включает:**

- наименование;
- указание местоположения  
(местонахождения, локализации);
- набор свойств;
- отношения с иными объектами;
- пространственное «поведение».

**Наименованием объекта служит его географическое наименование (имя собственное, если оно есть), его условный код и/или *идентификатор*, присваиваемый пользователем или назначаемый системой.**

- **В зависимости от типа объекта его местоположение определяется парой (триплетом) координат (для точечного объекта) или набором координат, организованным определенным образом в рамках некоторой модели данных .**



Перечень свойств соответствует **атрибутам** объекта, качественным и количественным его характеристикам, которые приписываются ему в цифровом виде пользователем, могут быть получены в ходе обработки данных или генерируются системой автоматически (к последнему типу атрибутов принадлежат, например, значения площадей и периметров полигональных объектов).


Существует расширенное толкование понятия атрибута объекта;

- последнему могут быть поставлены в соответствие любые типы данных: текст, цифровое изображение, видео- или аудиозапись, графика (включая карту), что, по существу, реализуется на практике в мультимедийных *электронных атласах*. **Под атрибутами понимаются именно содержательные, тематические (непозиционные, непространственные) атрибуты (свойства) объектов.**

Под отношениями понимают прежде всего топологические отношения (*топологию*). К топологическим свойствам пространственных объектов принято относить

- его размерность (мерность, пространственную размерность), сообразно которой выше были выделены НУЛЬ-, ОДНО-, ДВУХ- и трехмерные объекты;
- замкнутость, если речь идет о линейных объектах в широком смысле слова;
- связность;
- простота (отсутствие самопересечения линейных объектов и «островов» в полигоне); нахождение на границе, внутри или вне полигона; признак точечного объекта, указывающий, является ли он конечным для некоторой линии.

Топология вместе с геометрией образует тополого-геометрическую часть описания данных, его позиционную часть.



**Таким образом, в самом общем виде в пространственных данных следует различать и выделять три составные части:**

- **топологическую,**
- **геометрическую,**
- **атрибутивную .**

Управление атрибутивной частью данных обычно возлагается на средства **систем управления базами данных (СУБД)**, встроенных в программные средства ГИС или внешних по отношению к ним. В наиболее яркой форме оно реализовано в **векторной модели данных**, атрибуты которой представлены таблицей, хранятся и управляются СУБД, поддерживающей реляционную модель данных, а их позиционная часть, связанная с атрибутивной через идентификаторы пространственных объектов, управляется другими средствами.

Модели пространственных данных такого типа получили широкое распространение и наименование геореляционных .

Способы организации цифровых описаний пространственных данных принято называть моделями данных по традиции, унаследованной из теоретических обобщений проектирования систем управления **базами данных**. Они называются также **цифровыми представлениями** или просто **представлениями пространственных данных**.

На концептуальном уровне все множество моделей пространственных данных можно разделить на три типа:

- модели дискретных объектов,
- модели непрерывных полей и
- модели сетей.

по существовавшей в 80х годах традиции «классификации моделей цифровых картографических данных», включает следующие их типы:

■ **векторные модели:**

- бесструктурная;
- топологическая;
- гиперграфовая;
- решетчатая;

■ **мозаичные модели:**

- регулярные мозаики;
- нерегулярные мозаики;
- TIN;
- полигоны Тиссена;
- иерархические (вложенные) мозаики;
- квадродерево;

■ **гибридные модели.**

ГОСТ 28441-90 «Картография цифровая. Термины и определения» [Картография цифровая ... , 1990] различает следующие формы представления цифровой картографической информации:

- линейную,
- векторную
- матричную (недопустимый синоним последней - позиционная).

В практике геоинформатики уже достаточно давно определился набор базовых моделей (представлений) пространственных данных, используемых для описания объектов размерности не более двух (планиметрических объектов):

- растровая модель;
- регулярно-ячеистая (матричная) модель;
- квадротомическая модель (квадродерево, дерево квадратов, квадрантное дерево, Q-дерево, 4-дерево);
- векторная модель:
  - векторная топологическая (линейно-узловая) модель;
  - векторная нетопологическая модель (модель «спагетти»).



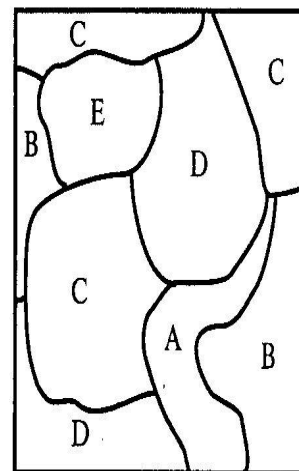
# Растровая модель данных.

*растр* - прямоугольная решетка - разбивает изображение на составные однородные (гомогенные) далее неделимые части, называемые *пикселями* ,

каждому из которых поставлен в соответствие некоторый код, обычно идентифицирующий цвет в той или иной системе цветов (цветовой модели).

- Растровая модель данных в ГИС предполагает разбиение пространства (координатной плоскости) с вмещающими ее пространственными объектами на аналогичные пикселям дискретные элементы, упорядоченные в виде прямоугольной матрицы. Для цифрового описания (позиционирования) точечного объекта при этом будет достаточно указать его принадлежность к тому или иному элементу дискретизации, учитывая, что его положение однозначно определено номерами столбца и строки матрицы .

Пикселу присваивается цифровое значение, определяющее имя или семантику (атрибут) объекта. Аналогичным образом описываются линейные и полигональные объекты: каждый элемент матрицы получает значение, соответствующее принадлежности или непринадлежности к нему того или иного объекта ( см. рис.1).



a

Исходная карта  
контуров

C	C	C	C	D	C	C
B	E	E	D	D	D	C
B	E	G	D	D	D	C
C	C	C	D	D	D	B
C	C	C	A	A	A	B
C	C	C	A	B	B	B
D	D	D	D	A	B	B

б

Формат с использованием  
ячеек сетки


Рис.1

Выбрав подходящий размер пиксела растровой модели, можно добиться пространственного разрешения (точности представления объектов), удовлетворяющего целям их цифрового описания и последующей обработки, если этому не препятствуют соображения экономии машинной памяти:

- двукратное увеличение разрешения ведет к четырехкратному росту объемов хранимых данных и т.д.

Полученная матрица образует **растровый слой** с однотипными объектами;

множество разнотипных объектов образует набор слоев, составляющих полное цифровое описание моделируемой предметной области.



Поддержка растровой модели данных - хорошая предпосылка (и условие) интеграции программных продуктов **ГИС** со средствами цифровой обработки данных дистанционного зондирования и обработки изображений в целом.

# Регулярно-ячеистая модель данных.

Если атомарной единицей данных при их описании служит элемент «разбиения» *территории* - регулярная пространственная *ячейка* (территориальная ячейка) правильной геометрической формы - речь идет о другой, отличной от растровой, хотя и формально с нею схожей, *регулярно-ячеистой модели данных.*

Формальное сходство абсолютно в случае квадратной (прямоугольной) формы ячеек, хотя известны примеры **регулярных сетей** (решеток) с ячейками правильной треугольной, гексагональной или трапециевидной формы. При этом сеть может строиться (разумеется, мысленно) на плоскости в условных прямоугольных координатах некоторой картографической проекции или на поверхности шара или эллипсоида; в последнем случае регулярными ячейками обычно являются сферические трапеции фиксированного или переменного углового размера. Пример построения сети равновеликих трапеций на сфере иллюстрируется рис. 2.

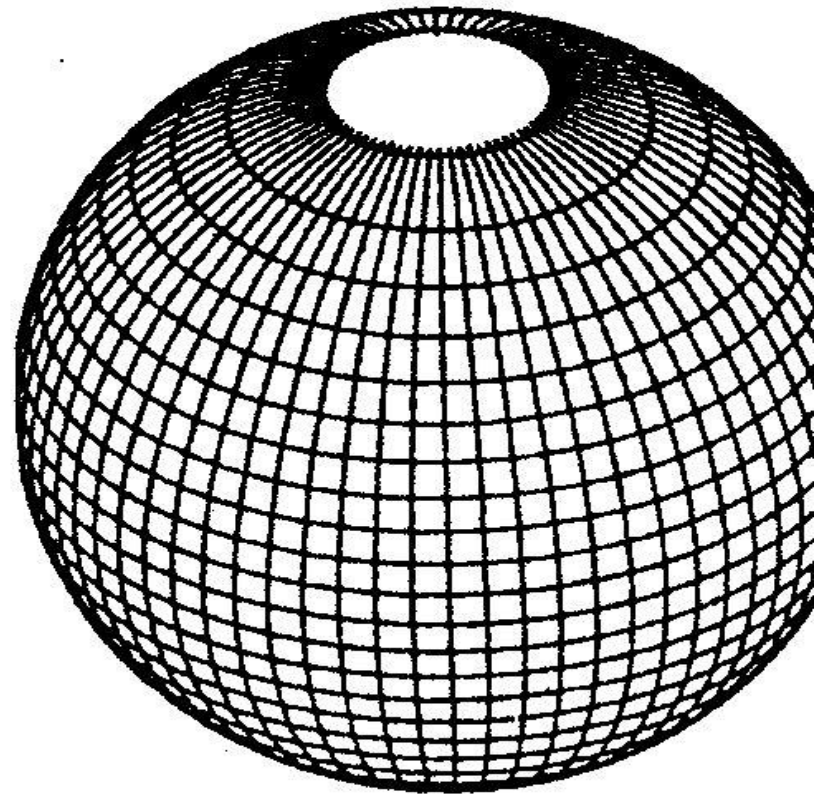


Рис.2. Разделение сферы на равновеликие трапеции.

# Квадратомическая модель данных.

Главный мотив ее использования и поддержки программными средствами **ГИС** - компактность по сравнению с растровой моделью, расточительной по объемам машинной памяти, требуемой для хранения растровых данных .



Не меньшей эффективностью при сохранении быстрого доступа к элементам описания пространственных объектов обладает **квадратомическая модель данных**, основанная на подходе, известном как квадратомическое дерево (квадродерево). В его основе лежит разбиение территории или изображения на вложенные друг в друга пикселы или регулярные ячейки с образованием иерархической древовидной структуры - декомпозиции пространства на квадратные участки (квадраты, квадратные блоки, квадранты), каждый из которых делится рекурсивно на четыре вложенных до достижения некоторого уровня пространственного разрешения.

Механизм построения  
 квадродерева исходного  
 участка территории с  
 пятью областями  
 (полигонами), которому  
 в растровом  
 представлении  
 соответствовал бы рис.  
 10, в результате его  
 последовательной  
 (рекурсивной)  
 декомпозиции на  
 квадранты  
 иллюстрируется рис. 11.

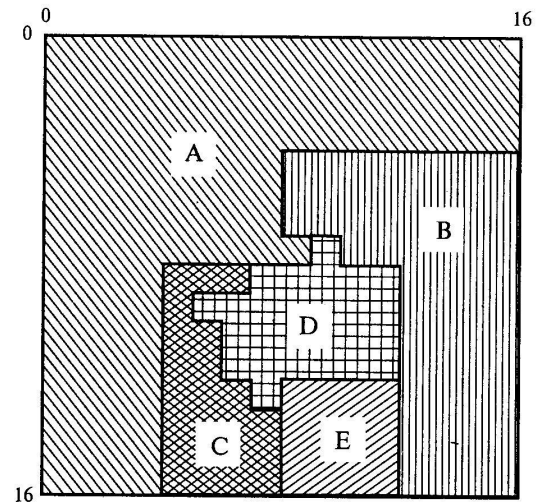


Рис. 10. Исходный участок территории с пятью областями  
 A, B, C, D и E

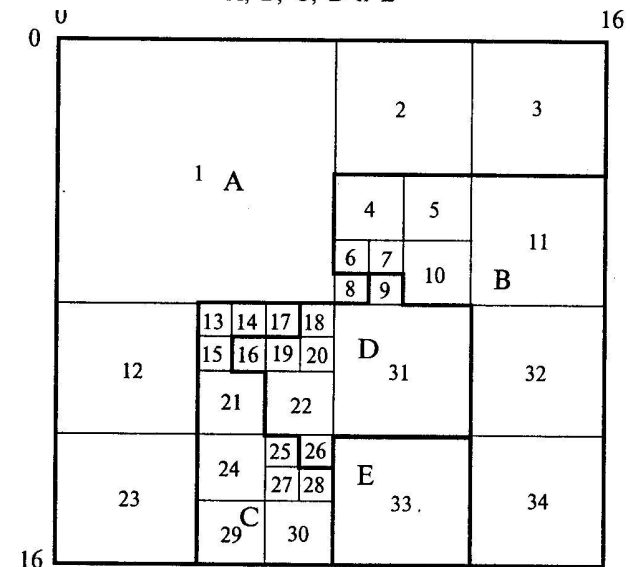


Рис. 11. Декомпозиция исходного участка (рис. 10)  
 на квадранты (1 — 34)

# Векторные модели данных.

Обобщенный класс векторных моделей включает два их типа:

- векторные топологические и
- векторные нетопологические модели.

Они используются для цифрового представления точечных, линейных и площадных (полигональных).

# ***Векторная нетопологическая модель .***

При описании множества полигонов каждый отрезок границы, заключенный между двумя узловыми точками, будет описан в этом случае дважды (по часовой стрелке и против). Такая модель данных для описания точечных, линейных и полигональных объектов носит наименование модели «спагетти». Она не является эффективной с точки зрения избыточности хранимых данных и возможностей использования аналитических операций ГИС и поддерживается недорогими программными средствами настольного картографирования и ГИС.

# Векторная топологическая модель .

## Главные ее элементы (примитивы):

- промежуточная точка;
- *сегмент* (линейный сегмент, отрезок (прямой));
- *узел*;
- *дуга*;
- *полигон* (область, полигональный объект, многоугольник, контур, контурный объект), в том числе:
  - простой полигон;
  - внутренний полигон («остров», анклав);
  - составной полигон;
  - универсальный полигон (внешняя область).

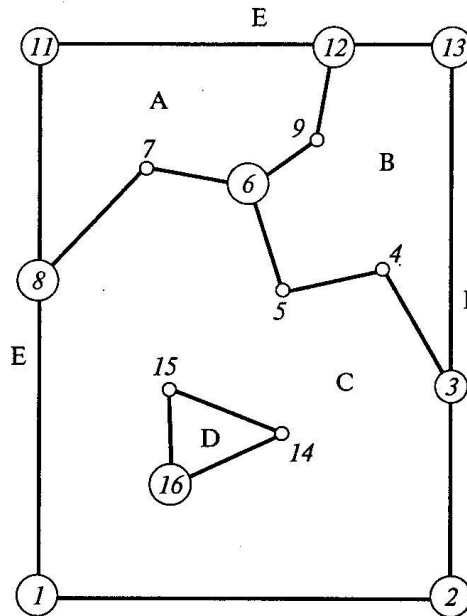


Рис. 13. Линейно-узловое (векторно-топологическое представление) данных:

1, 2, 3, 6, 8, 10, 11, 12, 13 — узлы;  
4, 5, 7, 9, 14, 15 — промежуточные точки линейных сегментов (дуг); (1—2), (2—3), (3—6), (6—8), (8—1), (10—11), (11—8), (3—12), (12—10) — дуги; полигоны А, В, С, D («остров», анклав, для описания которого вводится фиктивный узел (псевдоузел) (13), E (внешний по отношению ко всем полигонам в пределах прямоугольного участка координатной плоскости) полигон