

Глава 4

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

Ниже 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, изоконтурь, трехмерная визуализация и др.

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.

Учитывая, что в ГИС могут использоваться как векторные, так и растровые модели данных, то при послойной организации данных полу-

чаются *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 объединить в один так называемый *стильный слой*. Такой слой для пользователя выглядит единым, хотя и сформирован из нескольких независимых. Подобная операция позволяет манипулировать серией слоев как единым целым.

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 поддерживать следующее количество 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.

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 слоев: 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 *визуализа-*

тора 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.

4.2.1. Условные знаки

Вспомним, что 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 выделяет 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 удаётся 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.

4.2.2. Визуализация точечных объектов

Для визуализации точечных объектов используются следующие основные способы (рис. 4.1).

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

Векторные шрифты. Этот способ предполагает использование символов из векторных шрифтов (TrueType, OpenType, Type I). 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.

!	^	#	Э	%	&	Простые фигуры
(	<	≅	<	!	[	Векторные шрифты
						Растровые символы

Рис. 4.1. Основные способы визуализации точечных объектов

Распростовые символы. В этом способе точечные объекты визуализируются с помощью растровых символов. Как правило, такие символы являются растрами с небольшими размерами в пикселях – 32х32, 64х64, 128х128 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 необходимо 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.

4.2.3. Визуализация линейных объектов

Для визуализации линейных объектов используются следующие основные способы: сплошные, пунктирные и штрихпунктирные линии, линии с нанесенными точечными символами и др. (рис. 4.2). При настройке стили линии можно задавать ее цвет и толщину.

4.2.4. 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. 4.3, а).

Однородная сплошная заливка (рис. 4.3, б) является наиболее распространенным способом визуализации площадных объектов.

Заливка по шаблону (штриховка) предполагает мозаичное заполнение объекта некоторым шаблоном. Шаблон представляет собой не-

большой монохромный растр, для которого пользователь может задавать основной и фоновый цвета (рис. 4.3, в).

Градиентная заливка. Этот способ позволяет закрасить объект несколькими цветами, плавно переходящими друг в друга (рис. 4.3, г). Пользователь дополнительно может задавать направление градиентной заливки (горизонтальное, вертикальное, диагональное и др.), число основных цветов и другие параметры.

Текстуриная заливка схожа с заливкой по шаблону, только вместо монохромного растра используется полноцветное изображение (рис. 4.3, д).

Векторная заливка также предполагает мозаичное заполнение объекта. Заполнение может производиться небольшими векторными элементами, точечными символами или векторными рисунками (рис. 4.3, е).

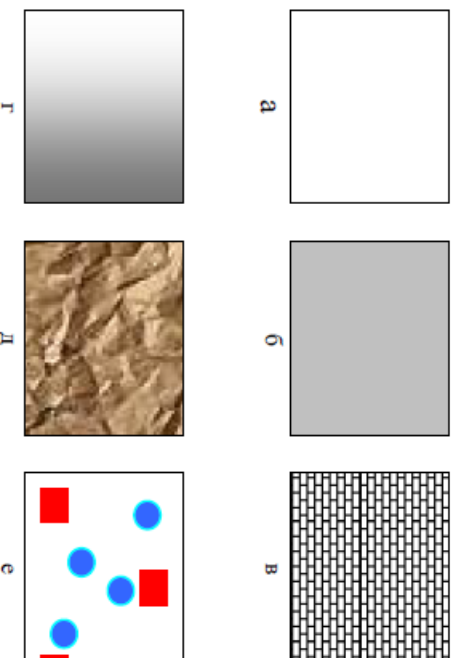


Рис. 4.3. Способы визуализации площадных объектов
а – прозрачная, *б* – однородная, *в* – по шаблону,
г – градиентная, *д* – текстурная, *е* – векторная

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.

4.2.5. Визуализация текстовых объектов

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 центру/ду подписываемого объекта. Часто такие подписи являются *динамическими*. Это означает, что при изменении данных, на основе которых создан 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.

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

Определение 4.1. 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.

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 дополнительно 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.

4.3.1. Понятие тематической переменной

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.

Определение 4.2. Тематическая переменная – переменная, используемая в процедуре тематического выделения объектов слоя. Для каждого объекта 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.

4.3.2. Метод диапазонов

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 (рис. 4.4);
 - *ширинок*;
 - *ширину линии*;
 - *размер символа* (рис. 4.5);
 - *поворот символа*.

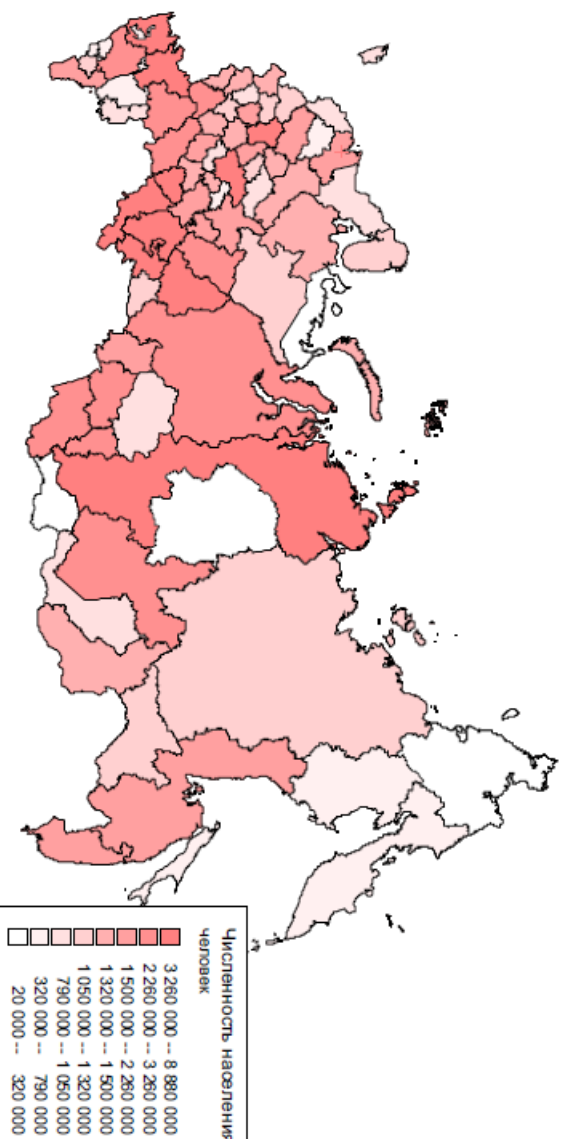


Рис. 4.4. Тематическая карта, построенная методом диапазонов для слоя с площадными объектами



Рис. 4.5. Тематическая карта, построенная методом диапазонов для слоя с точечными объектами

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.

4.3.3. Метод диаграмм

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

В **столбчатой диаграмме** (рис. 4.6) 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.

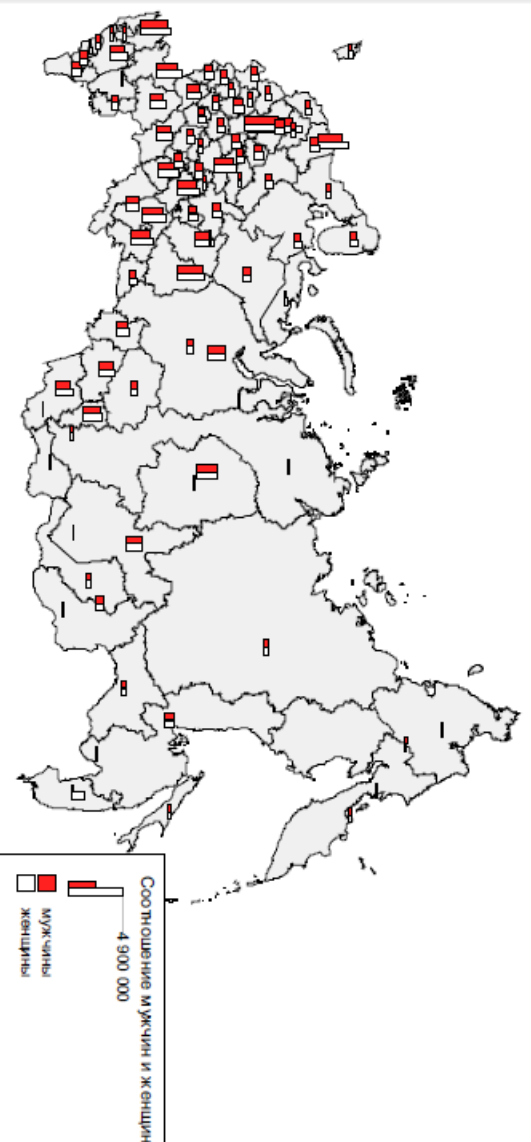


Рис. 4.6. Тематическая карта, построенная методом столбчатых диаграмм

В **круговой диаграмме** (рис. 4.7) 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 все секторов диаграммы или пропорционально дополнитель-

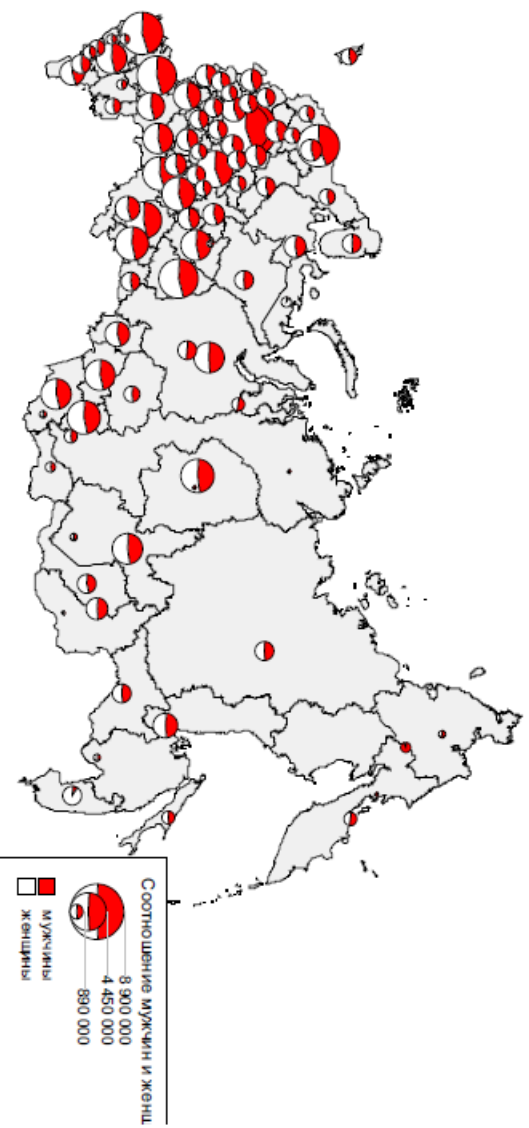


Рис. 4.7. Тематическая карта, построенная методом круговых диаграмм

ной тематической переменной. Обычно дополнительно пользователь может настраивать графические стили секторов, их ориентацию и др.

4.3.4. Метод размерных символов

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



Рис. 4.8. Тематическая карта, построенная методом размерных символов

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.

4.3.5. Метод плотности точек

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. 4.9). Очевидно, что этот метод применим только для слоев с площадными объектами. Обычно пользователь может задавать правила такой пропорции и используемый тип точки.



*Рис. 4.9. Тематическая карта,
построенная методом плотности точек*

4.3.6. Метод индивидуальных значений

В методе индивидуальных значений точек используется одна тематическая переменная, произвольного типа. Здесь каждому уникальному значению тематической переменной соответствует группа, имеющая уникальный графический стиль. Такой метод используют для группировки объектов по категориям (рис. 4.10).

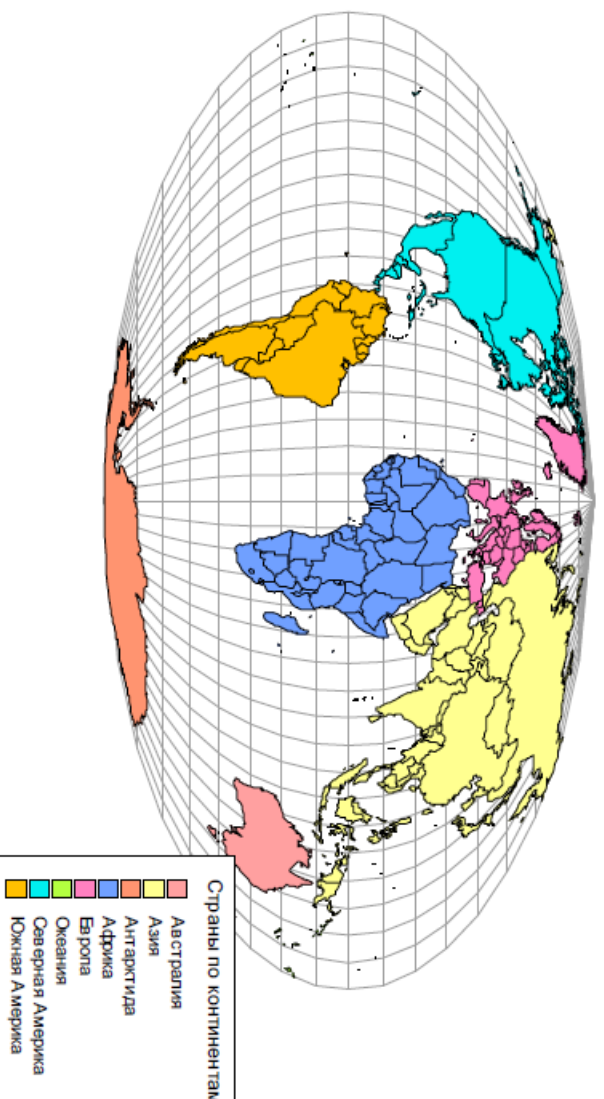


Рис. 4.10. Тематическая карта,
построенная методом индивидуальных значений

4.4. Визуализация растровых данных

В ГИС для визуализации 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 имеют различное происхождение. Это может быть отсканированное изображение бумажной карты, используемое в качестве подложки 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.

1. 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.
2. 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.
 3. Для одноканального изображения применяют *визуализацию по уникальным значениям*, суть которой схожа с методом индивидуальных значений, используемого 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, используемого 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 VIC (SPOT).

4.5. Проблема генерализации

В ГИС карту, в отличие от ее бумажного варианта, можно визуализировать с различным масштабom. Однако при уменьшении масштаба часто возникает проблема с перетруженностью 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, сформированные 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 слоев заданы 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. *Удаление мелких объектов.* Данная операция позволяет удалить объекты, площадь и/или линейные размеры которых меньше заданной величины.
2. *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. На рис. 4.11 показан пример карты гидросети до операции (а), и после нее (б).

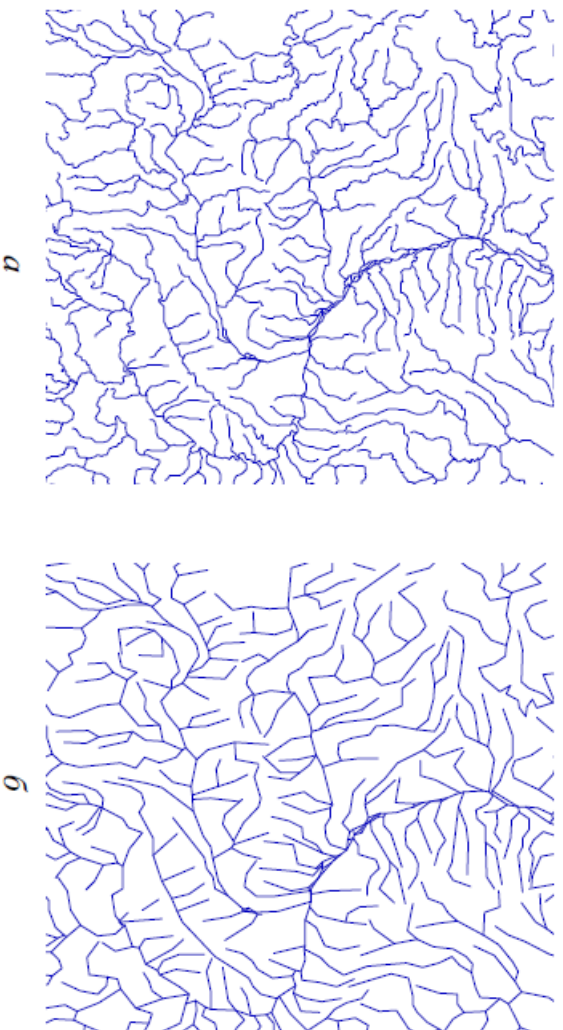


Рис. 4.11. Пример упрощения карты гидросети
а – до операции, б – после операции

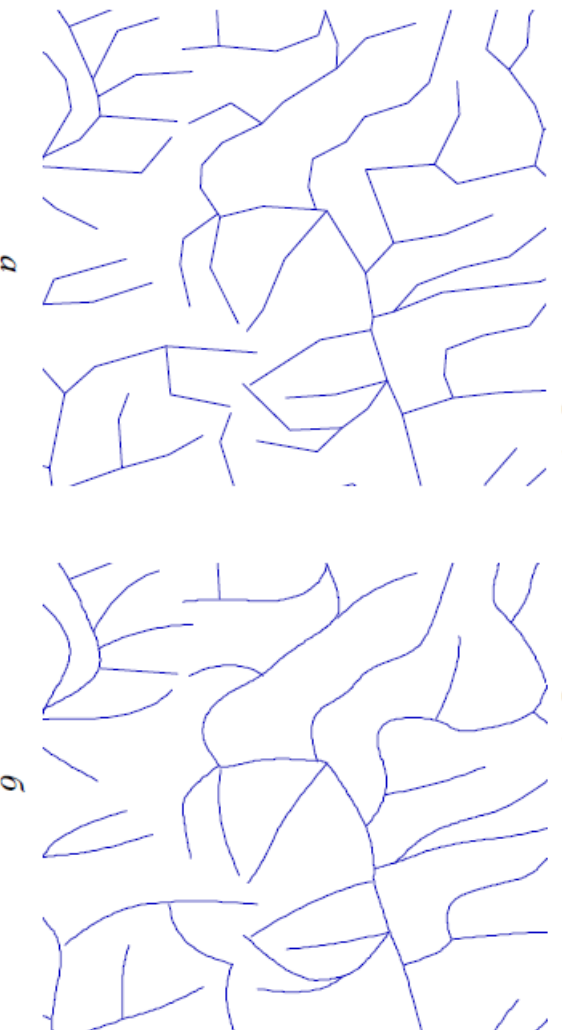


Рис. 4.12. Пример сглаживания карты гидросети
а – до операции, б – после операции

3. *Сглаживание объектов.* Эта операция позволяет сгладить форму линейных или площадных объектов за счет применения методов аппроксимации. На рис. 4.12 показан пример карты гидросети до операции (а), и после нее (б).
4. *Объединение близко расположенных объектов.* При выполнении данной операции объекты, расстояние между которыми меньше заданной величины будут объединены.
5. *Сжатие 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.
6. *Оконтуривание групп объектов.* Данная процедура позволяет заменить группу близко расположенных объектов одним площадным объектом.

4.6. Визуализация геополей

Рассмотрим наиболее часто используемые способы визуального представления геополей.

1. Способ изолиний (изоконтуров).

Определение 4.3. Изолиния – линия равного значения какой-либо величины на географической карте, вертикальном разрезе или графике.

На географической карте изолинии представляют собой проекцию горизонтальных сечений геопоя (горизонтали). Как правило, такие сечения проводятся с равным шагом значений геопоя (рис. 4.13, а)

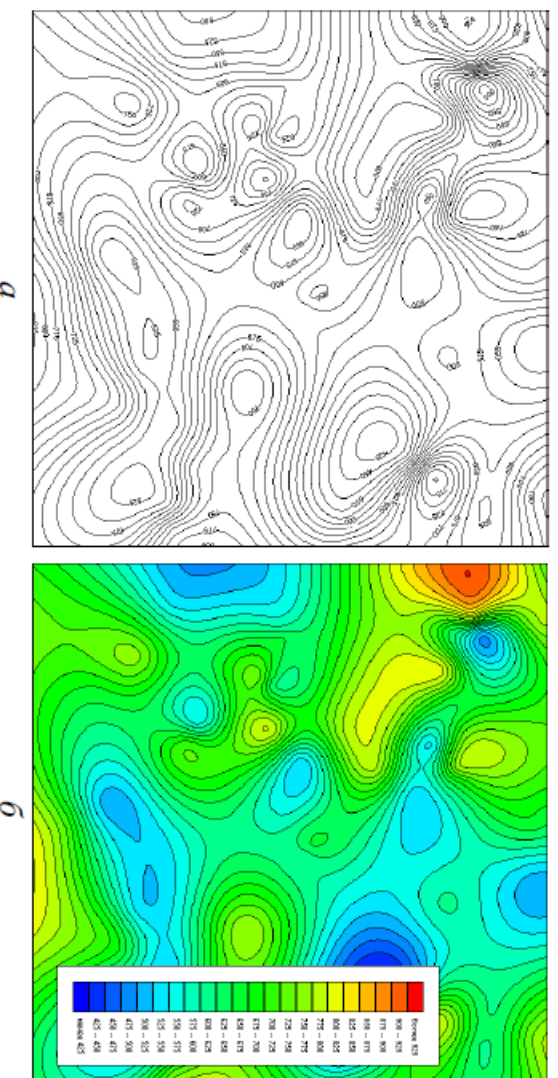


Рис. 4.13. Способы визуального представления геопоя
а – изолинии, б – изоконтурами

Определение 4.4. Шаг изолиний – разница значений геополя двух соседних изолиний.

Разновидностью изолинейного способа является представление геополей в виде изоконтуров (рис. 4.13, б) При этом область определения геополя разделяется на дискретный набор зон, где каждая зона является изоконтуром.

Определение 4.5. Изоконтур – это область, ограниченная двумя соседними изолиниями, а также границей исследуемой области.

2. Градиентный (растровый) способ.

Для визуализации геополей также используют градиентный способ (рис. 4.14). Суть его заключается в представлении геополя в виде раstra, где каждому пикселу задается цвет, зависящий от значения геополя в этой точке.

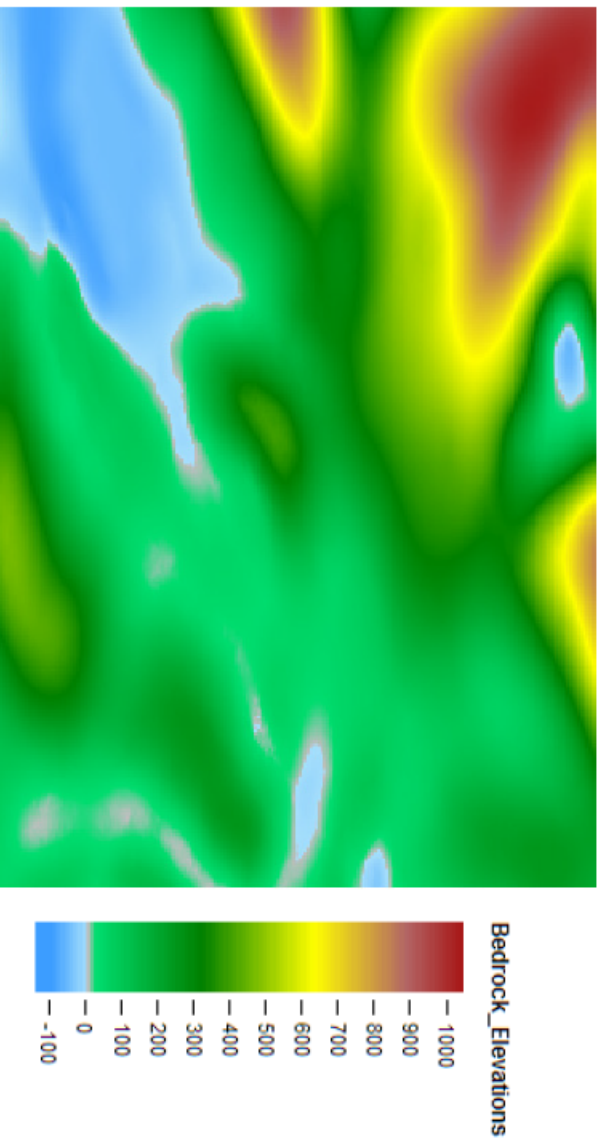


Рис. 4.14. Градиентный способ визуализации геополей

3. Способ на основе карт освещенности.

Карты освещенности (теневые рельефы, отмывка рельефа) представляют собой растры, где яркость каждого пикселя зависит от величины освещенности данного участка геополя. При этом геополе расматривается как рельеф местности, освещаемый точечным источником света. Как правило, используют упрощенную модель расчета освещенности, заключающуюся в том, что освещенность каждой точки геополя вычисляется только в зависимости от положения этой точки относительно источника освещения. Карты освещенности хорошо совмещаются с градиентным способом (рис. 4.15).

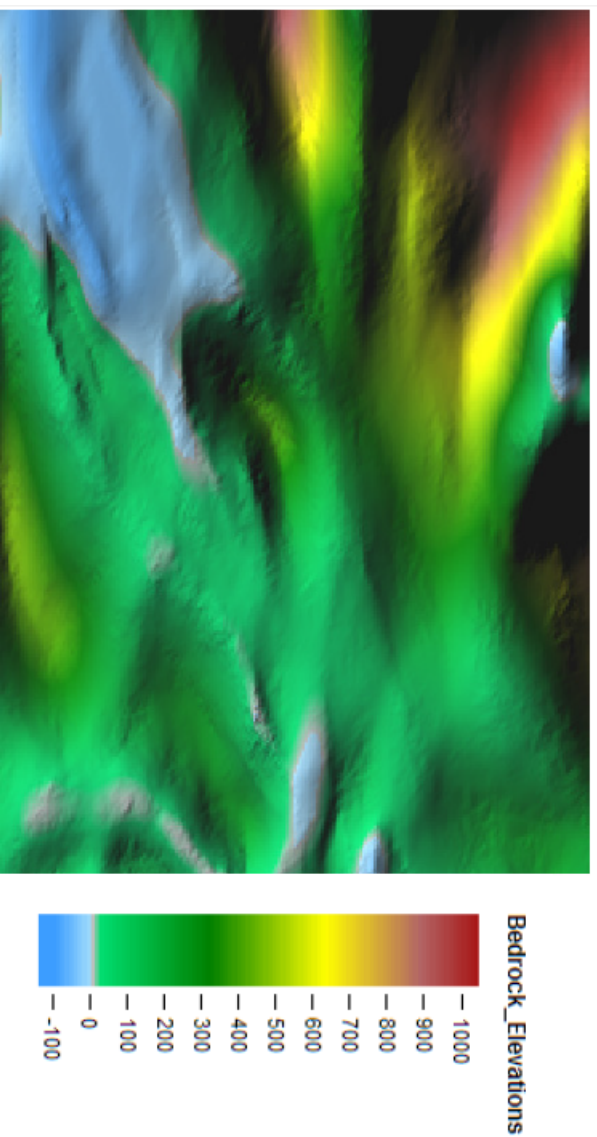


Рис. 4.15. Визуализации геополей в виде отмычки рельефа

4. Трехмерная визуализация.

Трёхмерная визуализация как способ визуализации геополей особенно актуальна для визуализации цифровых моделей рельефа местности. Использование современных средств машинной графики позволяет выполнять интерактивную трёхмерную визуализацию геополей в реальном времени (рис. 4.16). Возможны варианты каркасной и сплошной визуализации геополей. Данный способ позволяет эффективно исследовать геометрию поверхности с любых позиций для наблюдения, выявлять характерные участки геополя зрительно, даже без привлечения аналитических функций.

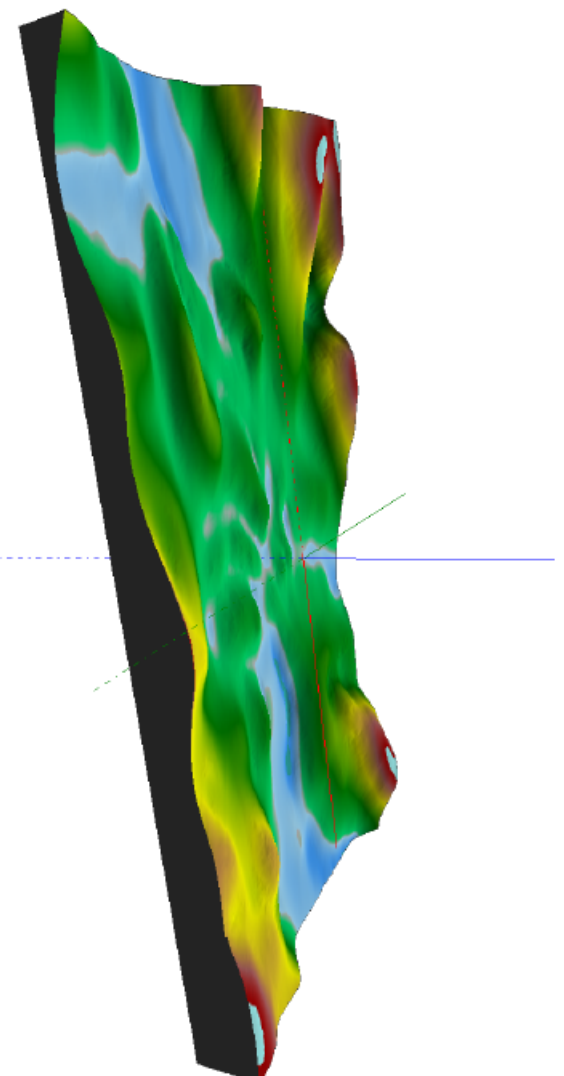


Рис. 4.16. Трёхмерная визуализации геополей

4.7. Вопросы и задания для самопроверки

1. Какие преимущества дает послойная организация пространственных данных при их визуализации?
2. Назовите механизмы группировки слоев.
3. Какой рекоммендуется 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 тематическими 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.
9. В чем преимущество трехмерной визуализации пространственных данных?