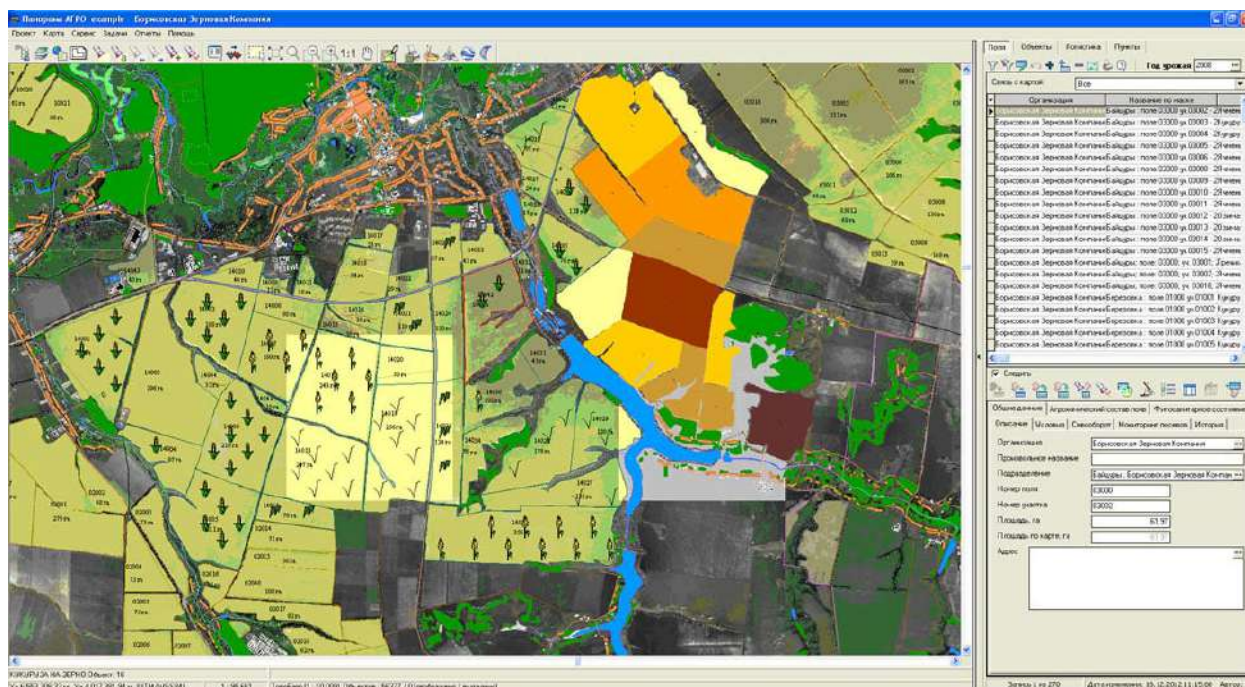


**Е. Г. ТОЛСТОВ, Н. В. КАНАШИН,
О. М. МАТЭР, В.Е. БОЖБОВ**



ГИС В КАДАСТРОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Учебное пособие

Санкт-Петербург
2023

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени С. М. Кирова»

Кафедра геодезии, землеустройства и кадастров

ГИС в кадастровой деятельности

Учебное пособие
для студентов направления подготовки
21.03.02 «Землеустройство и кадастры»

Санкт-Петербург
2023

Рассмотрены и рекомендованы к изданию
Институтом леса и природопользования
Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета

С о с т а в и т е л и :

кандидат технических наук, доцент **Е. Г. Толстов**,
кандидат технических наук, доцент **Н. В. Канашин**,
кандидат технических наук, доцент **О. М. Матэр**,
кандидат технических наук, доцент **В. Е. Божбов**.

Рецензенты:

ГИС в кадастровой деятельности: учебное пособие для подготовки к занятиям для студентов направления подготовки 21.03.02 «Землеустройство и кадастры» / сост.: Е. Г. Толстов, Н. В. Канашин, О. М. Матэр, В. Е. Божбов. – СПб.: СПбГЛТУ, 2023. – 147 с.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 21.03.02 «Землеустройство и кадастры», при подготовке к практическим занятиям, а также, для проработки материала перед и после лекций по определенным темам. Пособие может быть также полезно студентам, обучающимся по другим направлениям подготовки бакалавров и магистров.

Темплан 2023 г. Изд. №

1. Основные понятия. Определение ГИС. Назначение ГИС.

ГИС – это инструмент управления.

Общепризнано, что география доминирует в 70% объёма всей циркулирующей информации. ГИС позволяет принимать решения на основе географической информации. В отличие от других типов инструментов обработки информации, ГИС понимает концепцию местоположения, так как базируется на информации, привязанной к координатам на карте, и позволяет представить её в графическом виде для интерпретации и принятия решений по управлению.

Примерами использования ГИС являются: моделирование ситуации для принятия решения о месте открытия нового магазина, контроль за состоянием освещения территории или за санитарной обстановкой путём анализа местоположения мусорных ящиков в пяти минутах ходьбы от «Бургер Кинга».

Сейчас ГИС используются местными властями, агентствами по контролю за окружающей средой, службами быстрого реагирования и коммунального хозяйства, в сферах деловой активности.

Определения ГИС

Точное определение ГИС дать очень сложно, поскольку при работе она может рассматриваться на нескольких уровнях и для различного применения будет означать разные вещи.

Значение №1.

ГИС – набор программных инструментов, используемых для ввода, хранения, манипулирования, анализа и отображения географической информации.

Это техническое определение, отражающее историю развития ГИС как объединения средств автоматизации проектирования (САПР) с цифровой картографией и программами баз данных.

Значение №2.

ГИС – аппаратно-программный человеко-машинный комплекс, обеспечивающий сбор, обработку, отображение и распространение пространственно-координатных данных, интеграцию данных, информации и знаний о территории для их эффективного использования при решении научных и прикладных задач, связанных с инвентаризацией, анализом, моделированием, прогнозированием, управлением окружающей средой и территориальной организацией общества.

Данные (лат. datum – факт) – совокупность фактов и сведений, представленных в каком-либо формализованном виде для их использования в науке и других сферах человеческой деятельности.

Под данными в среде ГИС понимаются вещи, известные об объектах реального мира; результаты наблюдений и измерений этих объектов. Элемент данных содержит три главные компоненты: атрибутивные сведения, которые описывают сущность, характеристики, переменные, значения его квалификации; географические сведения, описывающие его положение в пространстве относительно других данных; временные сведения, описывающие момент или период времени, репрезентирующие элемент данных.

Данные выступают как сырьё, которое путём обработки можно превратить в информацию, т.е. данные – это строительный элемент в процессе создания информации.

Информация – всё, что может быть сообщено.

Существующая информация – сведения, которые можно сообщить о каком-то объекте (явлении).

Передаваемая информация – сообщаемые по каналу информации сведения.

Знания – интерпретация информации.

Классификация ГИС

Классификация ГИС возможна по нескольким основаниям:

- пространственному охвату;
- объекту и предметной области информационного моделирования;
- проблемной ориентации;
- уровню управления;
- по целям;
- по моделям данных;
- по архитектурным принципам;
- функциональным возможностям;
- и др.

По *пространственному охвату* различают:

- глобальные, или планетарные, ГИС;
- субконтинентальные;
- национальные (часто имеющие статус государственных);
- межнациональные;
- региональные;
- субрегиональные;
- локальные.

ГИС способна моделировать объекты и процессы, протекающие не только на суше (территории), но и на акваториях морей, океанов и внутренних водоёмов (акватории). Например, ГИС Чёрного моря (МГУ), ГИС для мониторинга глубоководного газопровода «Голубей поток», средства морской навигации.

Менее известны системы, описывающие воздушное пространство (аэроторию): авианавигационные системы, системы планирования и выполнения аэросъёмки.

Существуют ГИС для управления полётами в космическом пространстве.

По *объектам информационного моделирования* ГИС делятся на изучающие:

- феномены реальности (лес, земля, вода, население, хозяйство);
- процессы (наводнения, загрязнения окружающей среды, миграционные процессы);
- нематериальные объекты или идеи.

Классификация по проблемной ориентации:

- инженерно-технические (проектирование сооружений);
- имущественные для обработки кадастровых данных (учёт земельной собственности);
- обобщённые тематические и статистические системы картографирования для управления естественными ресурсами;
- библиографические, содержащие каталогизированную информацию о множестве географических документов;
- географические базы данных, содержащие информацию о географических объектах;
- системы цифровой обработки данных дистанционного зондирования (ДДЗ) Земли;
- интерактивные системы обучения в области наук о Земле.

Классификация по уровню управления:

- федеральные;
- региональные;
- специальные – используемые для информационных потребностей конкретных отраслей народного хозяйства.

Классификация по целям:

- многоцелевые (общегеографические, мониторинг окружающей среды);

- тематические (водных ресурсов, лесопользования, землепользования и т.п.);
- специализированные (информационно-справочные системы по отраслям).

Программные средства ГИС можно различать и классифицировать по целому ряду параметров.

Классификация по типу (модели) данных:

- векторные;
- растровые;
- гибридные или интегральные.

Классификация по архитектурным принципам:

- закрытые;
- открытые.

Закрытые системы позволяют выполнять только те операции с данными, на которые они настроены во время покупки. В случае незначительного изменения решаемой задачи такие системы часто оказываются неспособными их решать. В большинстве случаев закрытые системы вообще невозможно изменить, поэтому они имеют низкие цены и короткий жизненный цикл.

Открытые системы подразумевают открытость для пользователя, такие системы имеют специальные средства, обычно языки программирования, предназначенные для создания дополнительных приложений, т.е. нужных пользователю функций обработки данных. Возможность расширения открытых систем позволяет использовать их и при развитии решаемых задач в будущем. Эти системы обычно дороги, но имеют большой жизненный цикл.

По функциональным возможностям ГИС можно разделить на три группы:

- инструментальные или полнофункциональные. Это мощные универсальные сетевые системы, такие как ArcInfo и ERDAS;
- настольные, или системы конечного пользователя. К этой группе относятся MapInfo, IDRISI, WinGIS, ArcView, GeoGraph;
- узкоспециализированные информационные системы.

История развития аппаратно-программных средств ГИС

В современной литературе по ГИС-технологиям исследователи выделяют три основных периода развития аппаратно-программных средств ГИС: пионерный, государственных инициатив, коммерческий.

Начальный период: поздние 1950е – ранние 1970е гг. В этот период в сфере информационных технологий выполняются работы по исследованию принципиальных возможностей картографирования с использованием вычислительной техники. Первый период развивался на фоне успехов компьютерных технологий: появления электронных вычислительных машин (ЭВМ) в 50х гг., цифрователей, плоттеров, графических дисплеев и других периферийных устройств.

Большое влияние в этот период оказывают теоретические работы в области географии по оценке пространственных взаимосвязей между геообъектами, а также становление количественных методов в географии в США, Канаде, Англии, Швеции (работы У. Гаррисона (William Garrison), Т. Хатгерстранда (Torsten Hagerstrand), Г. Маккарти (Harold McCarty), Я. Макхарга (Ian McNarg)).

Первый безусловный крупный успех становления геоинформатики и ГИС – это разработка и создание Географической Информационной Системы Канады (Canada Geographic Information System, CGIS). Начав свою историю в 60х гг., эта крупномасштабная ГИС поддерживается и развивается по настоящее время. Ведущим разработчиком ГИС Канады считается Роджер Томлинсон (Roger Tomlinson), под руководством которого были реализованы многие концептуальные и технологические решения.

Назначение ГИС Канады состояло в анализе многочисленных данных, накопленных Канадской службой земельного учета (Canada Land Inventory), и в получении статистических данных о земле для использования их при разработке планов землеустройства огромных площадей преимущественно сельскохозяйственного назначения. Для этих целей требовалось создать классификацию использования земель, используя данные по сельскохозяйственной, рекреационной, экологической, лесохозяйственной пригодности земель, отразить сложившуюся структуру использования земель, включая землепользователей и землевладельцев. Наиболее узким местом проекта являлось обеспечение эффективного ввода исходных картографических и тематических данных. Для этого разработчикам ГИС Канады, не имевшим опыта по внутренней организации больших массивов пространственных данных, потребовалось создать новую технологию, ранее нигде не применявшуюся, позволяющую оперировать отдельными слоями и делать картометрические измерения. Для ввода крупноформатных земельных планов было даже спроектировано и создано специальное сканирующее устройство. Расчленение картографической информации на тематические слои и разработка концептуального решения о «таблицах атрибутивных данных» позволили разде-

лить файлы плановой (геометрической) геоинформации о местоположении объектов и файлы, содержащие тематическую (содержательную) информацию об этих объектах. Канадские исследователи разработали функции и алгоритмы оверлейных операций с полигонами, подсчет площадей и других картометрических показателей.

Большое воздействие на развитие ГИС в середине 60х гг. оказала Гарвардская лаборатория компьютерной графики и пространственного анализа (Harvard Laboratory for Computer Graphics & Spatial Analysis) Массачусетского технологического института. Руководителем лаборатории являлся Говард Фишер (Howard Fisher), который руководил исследованиями по многофункциональному компьютерному картографированию. Данные разработки явились существенным шагом в алгоритмическом совершенствовании ГИС и оставались ими вплоть до начала 80х гг.

Программное обеспечение Гарвардской лаборатории широко распространялось и помогло создать базу для развития многих ГИС-приложений. Именно в этой лаборатории Дана Томлин (Dana Tomlin) заложила основы картографической алгебры, создав знаменитое семейство растровых программных средств Map Analysis Package – MAP, RMAP, aMAP. Одним из производных программных продуктов, свободно распространяемых в сети Internet, является OSUMAP, созданный в Университете штата Огайо выходцами из Гарвардской лаборатории. В результате работ Гарвардской лаборатории в области компьютерного картографирования была окончательно закреплена ведущая роль, которую играют картографические модели данных, картографический метод исследований, картографические способы представления информации в современных геоинформационных системах.

Период государственных инициатив: 1970е – ранние 1980е гг. В этот период прослеживается развитие крупных геоинформационных проектов, поддерживаемых государством, формирование государственных институтов в области ГИС, снижение роли и влияния отдельных исследователей и небольших групп.

В конце 60х гг. в США сформировалось мнение о необходимости использования ГИС-технологий для обработки и представления данных Национальных переписей населения (U.S. Census Data). Для специалистов потребовалась методика, которая обеспечивает корректную географическую «привязку» данных переписи. Основной теоретической проблемой являлась необходимость конвертирования адресов проживания населения, присутствовавших в анкетах переписи, в географические координаты таким образом,

чтобы результаты переписи можно было бы оформлять в виде карт по территориальным участкам и зонам Национальной переписи.

Для этих целей Национальное бюро переписей США (U.S. Census Bureau) разрабатывает комплексный подход к географии переписей. В результате перепись населения США в 1970 г. впервые выполнена с картографической поддержкой. Для этих целей был разработан специальный формат представления картографических данных DIME (Dual Independent Map Encoding), для которого были определены прямоугольные координаты перекрестков, разбивающих улицы всех населенных пунктов США на отдельные сегменты. Алгоритмы обработки и представления картографических данных были заимствованы у разработчиков ГИС Канады и Гарвардской лаборатории и оформлены в виде программы POLYVRT, осуществляющей конвертирование адресов проживания в соответствующие координаты, описывающие графические сегменты улиц. Таким образом, в этой разработке впервые был широко использован топологический подход к организации управления географической информацией, содержащий математический способ описания пространственных взаимосвязей между объектами.

Создание, государственная поддержка и обновление DIME-файлов стимулировали также развитие экспериментальных работ в области ГИС, основанных на использовании баз данных по уличным сетям. В этот период развиваются работы по автоматизированным системам навигации, картографической поддержке для разработки системы вывоза городских отходов и мусора, пространственному сетевому анализу движения транспортных средств в чрезвычайных ситуациях и другие разработки. Одновременно на основе этой информации была создана серия атласов крупных городов, содержащих результаты Переписи 1970 г., а также большое количество упрощенных компьютерных карт для маркетинга, планирования розничной торговли и т. д.

Период коммерческого развития: ранние 1980е – настоящее время. Этот период характеризуется наличием широкого рынка разнообразных программных средств, развитием настольных ГИС, расширением области их применения за счет интеграции с базами непространственных данных, появлением сетевых приложений, развитием систем, поддерживающих индивидуальные наборы данных на отдельных компьютерах, и в свою очередь развитием систем, поддерживающих корпоративные и распределенные базы геоданных. Ценовая политика производителей компьютерной техники делает доступными программные и аппаратные средства, сетевые информационные ресурсы широкому кругу специалистов-прикладников. В исследовательском

институте экологических систем (Environmental Systems Research Institute, ESRI Inc.), основанном Джеком Денджермондом (Jack Dangermond) в 1969 г., в начале 1980х г. был реализован программный пакет ARC/INFO. В программе ARC/INFO используется принцип раздельного внутреннего представления геометрической (графической) и атрибутивной информации. Причем для хранения и работы с атрибутивной информацией в виде таблиц (INFO) применяется формат стандартной реляционной системы управления базами данных, а для хранения и работы с графическими объектами в виде дуг (ARC) было разработано специальное программное обеспечение. ARC/INFO является первым программным пакетом ГИС, который эффективно использует пользовательские качества персональных компьютеров, в то же время он доступен для разных технических платформ и операционных сред. Первые успехи ARC/INFO были связаны с его использованием в лесном хозяйстве, в настоящее время семейство программных средств ESRI Inc. для персональных компьютеров и рабочих станций является самым популярным в мире.

Другим успешным коммерческим предприятием в области производства аппаратнопрограммных средств для ГИС стал и до сих пор является Intergraph Corp. Эта фирма была организована в 1969 г., первоначально под названием M&S Computing, бывшим сотрудником IBM Джимом Мидлоком (Jim Meadlock). Первые успехи были связаны с разработкой для ВПК США систем управления ракетами в реальном времени. В 1973 г. фирма впервые создала мощную удаленную рабочую станцию стоимостью порядка 100 000 долларов. В активе Intergraph Corp. и создание первой системы интерактивного картографирования для местного управления. И сейчас фирма является лидером по разработке и выпуску рабочих станций для ГИС, программного обеспечения, в том числе пользовательского интерфейса.

В настоящее время период коммерческого развития ГИС продолжается. Общемировой объем продаж в области ГИС оценивается до 7 млрд долларов в год. ГИС-технологии являются эффективными инструментами исследований в области природы, биологии, культуры, демографии, экономики и других естественных, социальных, медицинских и инженерных наук, а также для бизнес планирования и геомаркетинга.

Функциональные возможности ГИС

ГИС должны выполнять следующие основные функции: функции автоматизированного картографирования (АК); функции пространственного анализа (ПА); функции управления данными (УД).

Функции АК должны обеспечивать работу с картографическими данными ГИС с целью их отбора, обновления и преобразования для производства высококачественных карт и рисунков. Функции АК должны включать векторно-растровые преобразования, преобразования координатной системы, картографических проекций и масштабов, «склейки» отдельных листов, осуществления картометрических измерений (вычисления площадей, расстояний), размещение текстовых надписей и внемасштабных картографических знаков, формирование макета печати.

Функции ПА должны обеспечивать совместное использование и обработку картографических и атрибутивных данных в интересах создания производных картографических данных. Функции ПА должны включать анализ географической близости, анализ сетей, топологическое наложение полигонов, интерполяцию и изолинейное картографирование полей, вычисление буферных зон.

Функции УД должны обеспечивать работу с атрибутивными (неграфическими) данными ГИС с целью их отбора, обновления и преобразования для производства стандартных и рабочих отчетов. Функции УД должны включать пользовательские запросы, генерацию пользовательских документов, статистические вычисления, логические операции, поддержание информационной безопасности, стандартных форм запросов и представления их результатов.

В общем виде ГИС должны состоять из следующих четырех подсистем: сбора, подготовки и ввода данных; хранения, обновления и управления данными; обработки, моделирования и анализа данных; контроля, визуализации и вывода данных. Основная задача подсистемы сбора, подготовки и ввода данных - формирование баз географических и атрибутивных данных ГИС; подсистемы хранения, обновления и управления данными - организация хранения данных, обеспечение процедур их редактирования и обновления, обслуживание запросов на информационный поиск, поступающих в систему; подсистемы обработки, моделирования и анализа данных - организация обработки данных, обеспечение процедур их преобразования, математического моделирования и сопряженного анализа; подсистемы контроля, визуализации и вывода данных - генерация и оформление результатов работы системы в виде карт, графических изображений, таблиц, текстов на твердых или магнитных носителях.

2. Графическое представление данных.

Окружающий нас мир слишком сложен для нашего непосредственного понимания. Мы создаем модели реальности, имеющие некоторые общие свойства с исследуемыми сущностями реального мира. На основе этих моделей создаются базы данных.

Первоначально под словом “модель” подразумевался “образец в малом виде”, уменьшенная копия предмета. Впоследствии моделями стали называть любые образы (изображения, описания, схемы, карты и т.д.) объектов, процессов, явлений, используемые в качестве “заместителя”, “представителя”, оригинала данной модели.

Сущности реального мира в пространственно – распределенных базах данных представлены пространственными объектами, с которыми связаны атрибутные данные.

Современные ГИС представляют пространственное распределение сущностей в виде объектов: точек, линий, ломаных, путей, площадей, поверхностей.

Атрибуты содержат пространственную и непространственную информацию о сущностях и связаны с пространственными объектами.

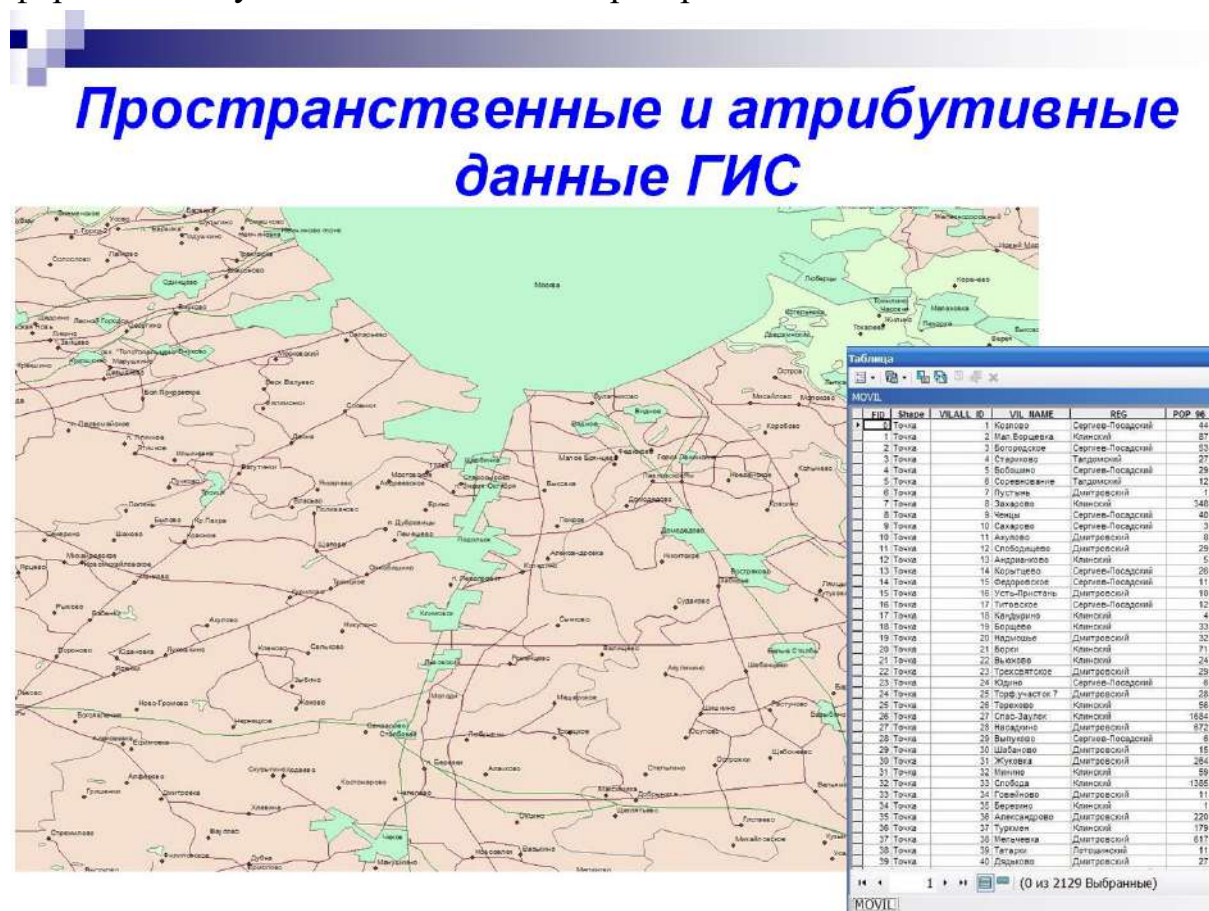


Рис. 1. Пример данных ГИС.

Атрибут – свойство, качественный или количественный признак, характеризующий пространственный объект (но не связанный с его местоуказанием) и ассоциированный с его уникальным номером, или идентификатором. Наборы значений атрибутов обычно представляются в форме таблиц средствами реляционных СУБД. Классу атрибута при этом соответствует имя колонки, или столбца или поля таблицы.

Данные в ГИС обычно разделяются на пространственную и непространственную составляющие. Различие между этими данными не является четким в силу наличия тесной взаимосвязи между ними.

По степени сложности пространственные объекты подразделяются на **элементарные (простые), составные и сложные**. *Элементарный* объект имеет структурированное описание семантических и графических атрибутов, а также фактов и характера его взаимодействия с другими объектами. *Составной* объект имеет структурированное описание образованный группой других объектов с определенным (направленным) порядком их следования при образовании определяемого объекта. *Сложный* объект образуется группой других объектов (элементарных, составных, сложных), порядок следования которых при образовании определяемого объекта не фиксирован.

Пространственные объекты реального мира можно разделить на легко идентифицируемые четыре типа: точки, линии, области и поверхности. Вместе они могут представлять большинство природных и социальных феноменов, которые мы встречаем каждый день. В рамках ГИС объекты реального мира явно представляются тремя типами объектов из указанных. В ГИС вся информация явным образом пространственная. Феномены непространственные по своей природе (идеи, верования и др.) не могут непосредственно исследоваться в ГИС, если только им не присвоить некоторые представляющие их пространственные характеристики.

Точечные объекты — это такие объекты, каждый из которых расположен только в одной точке пространства. По собственному опыту вы можете легко узнать такие объекты, как деревья, дома, перекрестки дорог, и многие другие. О таких объектах говорят, что они **дискретные** (discrete), в том смысле, что каждый из них может занимать в любой момент времени только определенную точку пространства. В целях моделирования считают, что у таких объектов нет пространственной протяженности, длины или ширины, но каждый из них может быть обозначен координатами своего местоположения. Говорят, что точки имеют нулевое количество простран-

ственных измерений. В действительности, конечно, все точечные объекты имеют некоторую пространственную протяженность, пусть самую малую, иначе мы просто не смогли бы их увидеть. Мы принимаем отсутствие длины и ширины так, что, например, при измерениях атмосферного давления, характеризующихся потенциально бесконечным числом точек, сами точки всегда занимают определенные местоположения без каких-либо перекрытий. Масштаб, при котором мы наблюдаем эти объекты, задает рамки, определяющие представление этих объектов как точек. Критерии выбора масштаба могут быть различными, если вы, например, собираетесь рассматривать расположение людей и мебели в доме, или если вас он интересует только в связи с другими домами, возможно с целым городом. В последнем случае дом может считаться точкой.

Линейные объекты представляются как одномерные в нашем координатном пространстве. Такими "одномерными" объектами могут быть дороги, реки, границы, изгороди, любые другие объекты, которые существенно длинны и узки. Масштаб, при котором мы наблюдаем эти объекты, опять же, обуславливает порог, при пересечении которого мы можем считать их не имеющими ширины. Как вы знаете, реки, дороги, изгороди все имеют два измерения при близком рассмотрении. Но чем дальше мы от них, тем более тонкими они становятся. Постепенно они становятся такими тонкими, что оказывается невозможным представить их себе, как что-то иное, нежели линейные объекты, становится невозможным измерить их ширину (Рисунок 3). Другие линии, такие как политические границы, вообще не имеют ширины. В действительности, эти линии даже не являются материальными сущностями, а возникают как следствие политических соглашений. Несмотря на их неосвязаемость, их можно, тем не менее, представлять, как определенно пространственные, поскольку они разделяют две области географического пространства.

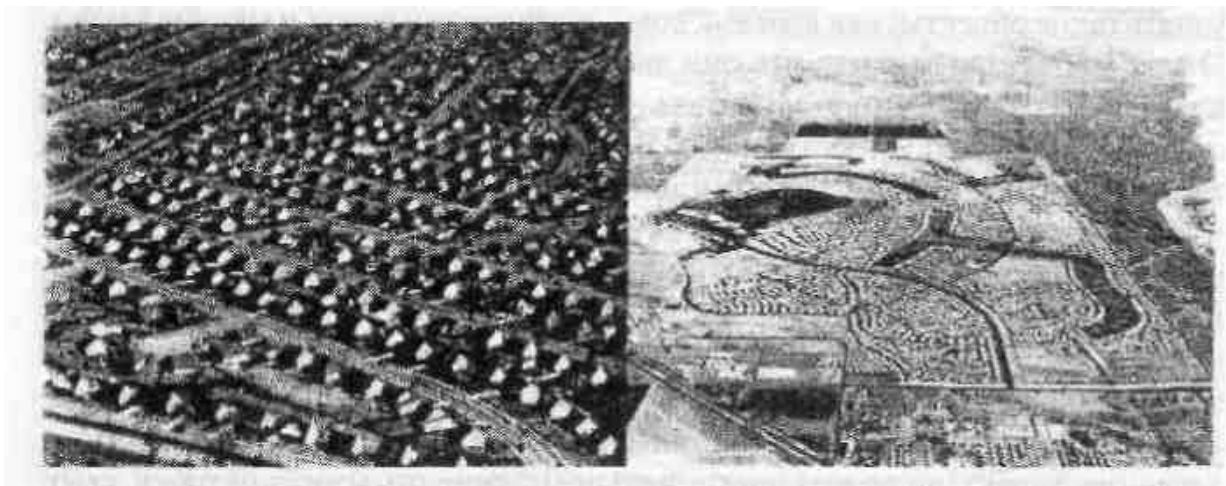


Рис.2. Влияние масштаба на размерность объектов.

Дома, видимые с близкого расстояния, имеют длину и ширину, но, когда мы удаляемся, их измерения исчезают, оставляя впечатление о них как о точках.

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

Изолированные области, имеющие и длину, и ширину, называются **областями или площадными объектами**. Примеры областей, или "двухмерных" объектов, включают территории, занимаемые двором, городом или целым континентом. При определении местоположения области в пространстве мы обнаруживаем, что ее граница является линией, которая начинается и кончается в одной и той же точке. Помимо указания местоположения областей через использование линий, мы можем себе представить теперь три характеристики: как и для линий, мы можем указывать их форму и ориентацию, а теперь еще и величину площади, которую область занимает.

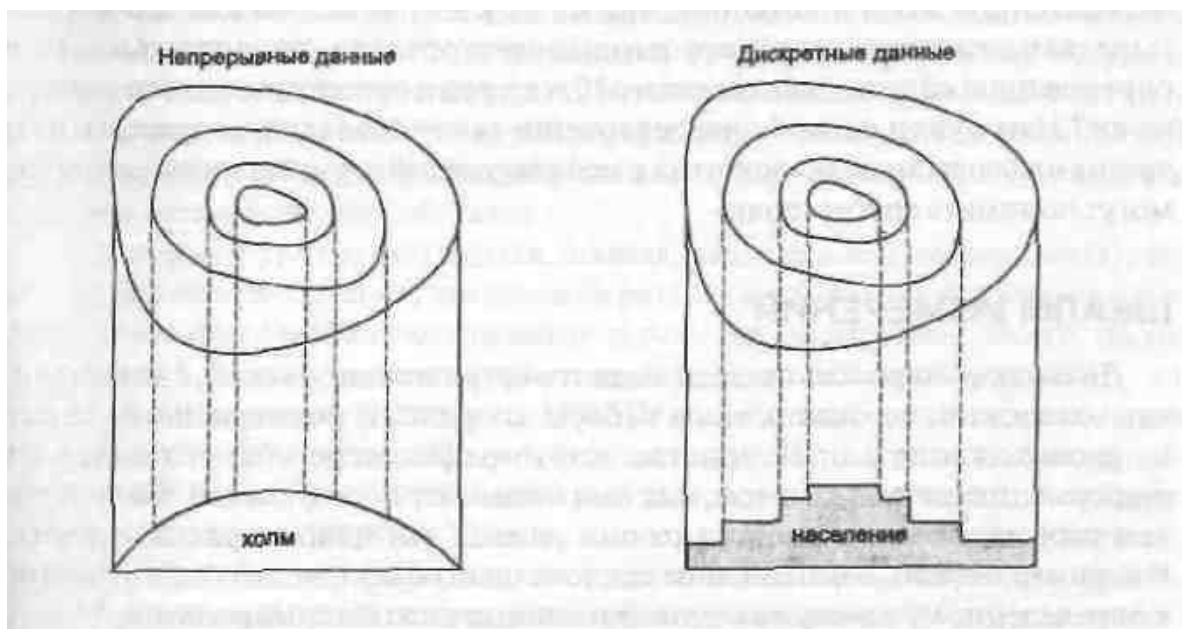


Рис. 3. Непрерывные и дискретные поверхности.

Заметьте, изображение поверхности с помощью изолиний не проявляет ее дискретный или непрерывный характер.

Добавление нового измерения, высоты, к площадным объектам позволяет нам наблюдать и фиксировать поверхности. Хотя мы можем рассматривать дом с близкого расстояния и описывать его в терминах его общей длины и ширины, нам часто нужно знать, сколько в нем этажей. В таком случае нам нужно рассматривать дом не как плоскую область, а как трехмерный объект, имеющий длину, ширину и высоту. Поверхности окружают нас повсюду. Холмы, долины, гряды гор, скалы и множество других образований могут описываться указанием их местоположения, занимаемой площади, ориентации, и теперь, с добавлением третьего измерения, их высот. Оказывается, что поверхности состоят из бесконечного числа точек со значениями высот. Мы говорим, что они **непрерывны** (continuous), поскольку эти точки распределены без разрывов, непрерывно, по всей поверхности (Рис.4). В действительности, поскольку высота трехмерного объекта меняется от точки к точке, мы можем также измерять величину изменения высоты с перемещением от одного края до другого. Имея такую информацию, мы можем определить объем материала в выбранном образовании. Возможность таких вычислений весьма полезна, когда нам нужно узнать, сколько воды содержится в водоёме или сколько материала (пустой породы) лежит поверх угольного пласта.

Непрерывные поверхности

Некоторые явления и феномены, непрерывно изменяющиеся в пространстве, не могут быть точно представлены в виде дискретных точек, линий или областей – эти объекты наилучшим образом представляются в ГИС непрерывными поверхностями.

Примеры непрерывных поверхностей:

- рельеф, температура, давление, плотность населения.

Характеристиками поверхностей являются критические точки:

- пики и углубления - самые высокие и низкие точки;
- линии хребтов и низин - линии изменения знака угла наклона;
- проходы - место схождения двух хребтов или низин;
- дефекты - резкие изменения значения (например, утесы);
- фронты - резкие изменения угла наклона поверхности.

Поверхности представляются в виде точек, линий и областей. Представление поверхностей в виде точек называется цифровой моделью местности и основано на выборке через регулярные интервалы значений с исследуемой поверхностью. В результате получается матрица значений, называемая также растром, сеткой, решеткой. Многие цифровые модели местности создаются именно в таком виде и могут быть просто конвертированы в растровое изображение для визуализации.

Представление поверхностей в виде линейных объектов идентично тому, что мы видим на топографических картах и основано на использовании изолиний (линий равных значений, например, высот). Линии соединяют выборочные точки, имеющие одинаковые значения атрибута.

Поверхности удобно также представлять площадными объектами. Чаще всего используют треугольники, так как эта фигура всегда выпуклая и лежит в одной плоскости. Представление поверхности набором треугольников называется триангуляцией. Выборочные точки являются вершинами треугольников, в сами треугольники полностью покрывают исследуемую территорию. Выборочные точки располагаются в пиках и впадинах, вдоль линий хребтов и низин, и соединяются дугами.

При использовании непрерывных данных мы часто хотим знать значения атрибута вне точек, линий или вершин треугольника, представляющих поверхность. Эти значения вычисляются путем интерполяции по ближайшим точкам, в которых величина атрибута известна. Поверхности обычно обладают одним атрибутом, но иногда могут иметь несколько (например, многозональные космические снимки). Каждая ячейка имеет одно значение на всей описываемой ею площади.

Давайте посмотрим на связь объектов реального мира с их картографическим отображением. Как вы можете заметить одни и те же объекты могут различно отображаться в зависимости от масштаба.

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

ШКАЛЫ ИЗМЕРЕНИЙ

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

Но перед тем как присвоить эти атрибуты объектам, мы должны знать, как их измерять. Иначе мы не сможем сравнивать объекты в одном месте с объектами в другом месте. Каким эталоном нам пользоваться? Насколько точно мы можем описывать объекты, с которыми имеем дело? Какой эф-

18

фekt будут иметь различные уровни точности измерений на нашу способность сравнивать объекты?

Существует устоявшаяся основа для измерения практически всех видов данных, в том числе и географических. Эти так называемые **шкалы измерения данных** (levels of data measurement) простираются от простого именования объектов, для того, чтобы мы могли называть их, до высокоточных измерений, позволяющих нам непосредственно сравнивать качества различных объектов. Используемая шкала измерений будет определяться отчасти тем, что мы классифицируем, отчасти тем, что мы хотим знать, и отчасти нашими возможностями производить измерения при заданном масштабе наблюдения. Рис.5 иллюстрирует шкалы измерений в связи с тремя обычно используемыми типами географических объектов.

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

Если мы хотим провести более тонкое сравнение объектов, нам следует выбрать более высокую шкалу измерений. В нашем примере с деревьями, если бы мы захотели выяснить, насколько хороши клён, ясень или сосна в качестве декорации для пикника, мы могли бы поместить их на **порядковую шкалу** (ordinal scale), от лучшего к худшему для данного конкретного вопроса.

Таким образом, наша классификация основана на одном аспекте, отражающем один набор условий. Далее: очевидно, что порядковые данные могут дать нам некоторое представление о последовательном сравнении пространственных объектов, но эти сравнения ограничены данным частным применением. Возьмем другой пример: отметку, которую вы получите за курс геоинформатики, нельзя сравнить с отметкой, полученной за дифференциальное исчисление. Здесь действуют два принципиально различных набора критериев. Если мы хотим быть более точными в наших измерениях, нам нужно воспользоваться **интервальной шкалой** (interval scale) измерения, в которой измеряемым величинам приписываются численные зна-

чения. Как и в случае порядковой шкалы, здесь мы тоже можем сравнивать объекты, но здесь эти сравнения могут делаться с более точной оценкой различий. Хорошим примером пространственных данных, измеряемых в интервальной шкале, является температура почвы на некоторой исследуемой площади с существенно различными типами почв. Мы можем обнаружить, что температура очень темной, богатой перегноем почвы значительно выше температуры более светлой почвы с низким содержанием органического материала. В частности, мы можем сказать, что в одно время температурная разница между разными видами почв составляет 4°C , более темная почва имеет температуру 29°C , в то время как более светлая - только 25°C . Теперь мы имеем легко измеримую, точно градуированную разницу между почвами в двух выбранных местах.

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

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

Может быть, полезен и другой пример, поскольку он использует параметры, которые нам часто интересны. Допустим, мы исследуем две группы домов, расположенных в разных частях города: одна - в богатом районе пригорода, другая - в районе жителей с невысоким доходом, внутри города. Обследовав жителей, мы получили среднегодовой доход в первом районе 10 млн.р. , во втором - 1млн.р.. Поскольку 0 означает отсутствие дохода вообще, мы можем спокойно утверждать, что имеем дело со шкалой

отношений и, следовательно, можем вычислять относительное различие. Разделив одну величину на другую, мы можем корректно утверждать, что среднегодовой доход семьи в первом районе в десять раз больше, чем во втором. Однако, как и в случае негеографических данных, они корректны только с данными шкалы отношений.

Фундаментальное же различие всех четырех шкал обусловлено свойствами, которыми занимается абстрактная алгебра (специальный раздел высшей математики). Здесь же будет достаточно сказать, что каждой шкале измерений соответствует определенный набор допустимых операций с ее значениями.

Табл. 1.

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

3. Топографические планы и карты.

Планом называется уменьшенное подобное изображение горизонтальной проекции небольшого участка местности.

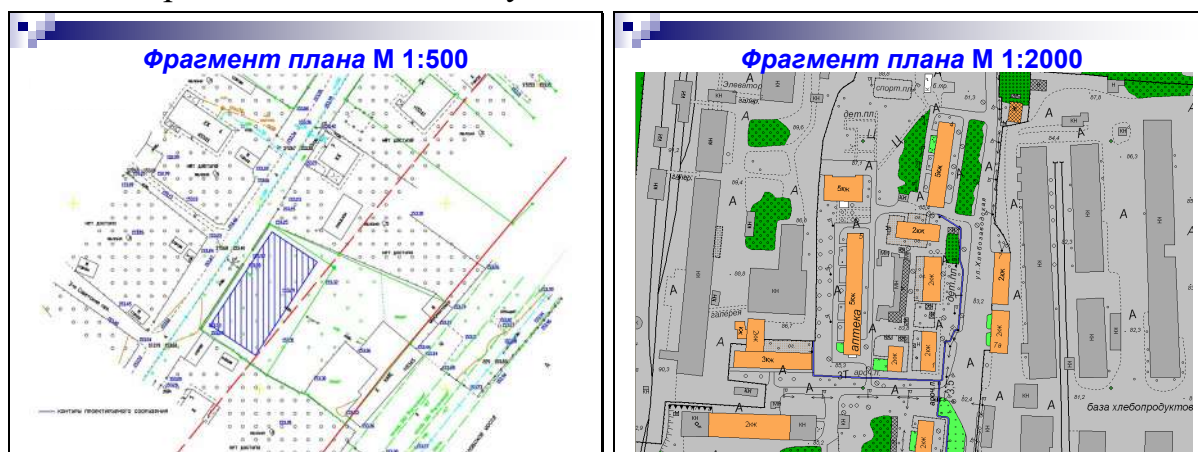


Рис. 4. Фрагменты планов разного масштаба

Для составления плана местности, расположенные на ней точки проецируют на уровенную поверхность по направлению отвесных линий. Ввиду малости участка отвесные линии оказываются практически параллельными, а фрагмент уровенной поверхности может рассматриваться как

плоскость. Полученную проекцию местности уменьшают и изображают на плане. Степень уменьшения характеризуется масштабом плана.

Масштабом называется отношение длины отрезка на плане к длине горизонтальной проекции соответствующего отрезка местности. Масштаб записывают в виде дроби с числителем, равным единице, и знаменателем, показывающим, во сколько раз уменьшены на плане длины линий.

Наряду с представлением масштаба в виде дроби (численного масштаба) пользуются именованным масштабом - его словесным описанием, например: “в одном сантиметре 20 метров”, что соответствует масштабу 1:2000.

Для измерения расстояний на плане, под его нижней рамкой, помещают линейный масштаб (рис.6), на котором несколько раз отложено одно и то же расстояние, называемое основанием масштаба и равное обычно 2 см. Крайнее левое основание делят на более мелкие отрезки. Деления линейного масштаба оцифровывают в метрах.

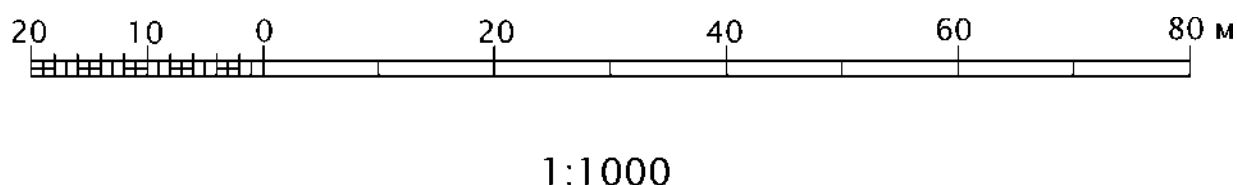


Рис. 5 Линейный масштаб

Картой называют уменьшенное и обобщённое изображение на плоскости всей земной поверхности или значительных её частей. Для изготовления карты объекты местности проецируют на поверхность земного эллипсоида полученное изображение переносят на плоскость.

Фрагмент карты М 1:100000

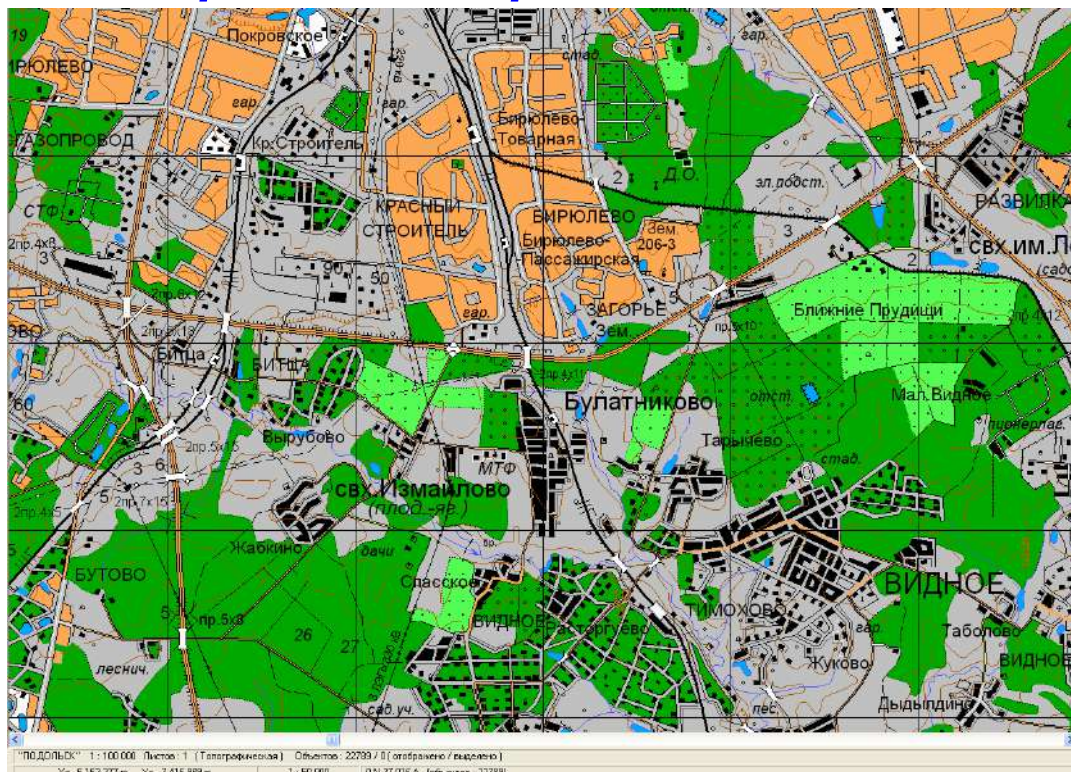


Рис. 6 Фрагмент топографической карты

Картографические проекции – математический способ изображения на плоскости поверхности эллипсоида или шара.

Такой перенос невозможно выполнить без искажений.

Каковы будут искажения, определяется *картографической проекцией* – законом перехода от геодезических координат объектов к плоским координатам карты.

Виды картографических проекций:

1. По характеру искажений:

- равноугольные (Гаусса, UTM);
- равновеликие;
- произвольные.

2. по виду картографической сетки:

- цилиндрические (Меркатора);
- конические;
- азимутальные (Ламберта).

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

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

Если целью проецирования карты является измерение расстояний, то нам следует выбрать проекцию, сохраняющую расстояния. Такие проекции, называемые **равнопромежуточными, или эквидистантными** (equidistant projections), требуют сохранения масштаба карты постоянным; он должен

быть таким же, как и главный масштаб промежуточного глобуса [Robinson et al., 1995].

Существуют два способа добиться этого. Первый сохраняет масштабный коэффициент равным единице вдоль одной или более параллельных линий, называемых **стандартными параллелями** (standard parallels). Расстояния, измеренные вдоль этих линий, будут соответствовать реальным. Другой подход заключается в сохранении единичного масштабного коэффициента вдоль всех направлений из одной точки, либо из двух. Расстояния, измеренные от таких точек по любому направлению, будут точно представлять реальные. Но для любых других точек это не будет соблюдаться. Как вы понимаете, здесь очень важен выбор таких точек. Обычно выбирается та точка, от которой производится большинство измерений.

Когда карты используются для навигации, наибольший интерес представляет сохранение направлений.

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

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

Проекты, в которых требуется определение кратчайших маршрутов, особенно на длинные дистанции, нуждаются в азимутальных проекциях, поскольку в них возможно изображение больших кругов как прямых линий. Эти проекции чаще всего используются на картах воздушного сообщения, радиопеленгации, слежения за спутниками и картографирования других

небесных тел [Robinson et al., 1995]. Эти проекции стали популярны лишь недавно, но их использование будет расти с расширением использования ГИС в этих областях. Наиболее часто вам будут встречаться такие азимутальные проекции как **равновеликая Ламберта, стереографическая, азимутальная эквидистантная, ортографическая и гномоническая** проекции. Отметим, что некоторые из них сохраняют как направления, так и площади. Это свойство может оказаться полезным для анализа крупных атмосферных явлений, таких как дымовые следы вулкана, которым свойственно двигаться по маршруту по мере рассеивания в атмосфере и движении по общим правилам циркуляции на Земле.

В геодезии чаще всего пользуются равноугольными (или иначе - конформными) проекциями, сохраняющими без искажений углы и очертания малых объектов. Карты различаются также по виду изображения на них меридианов и параллелей. В *конических* проекциях параллели изображаются концентрическими окружностями, а меридианы - радиальными прямыми, углы между которыми пропорциональны разностям долгот. Если при этом углы между изображениями меридианов равны разностям долгот, проекция называется *азимутальной*. В *цилиндрических* проекциях линии меридианов и параллелей изображаются взаимно перпендикулярными прямыми.

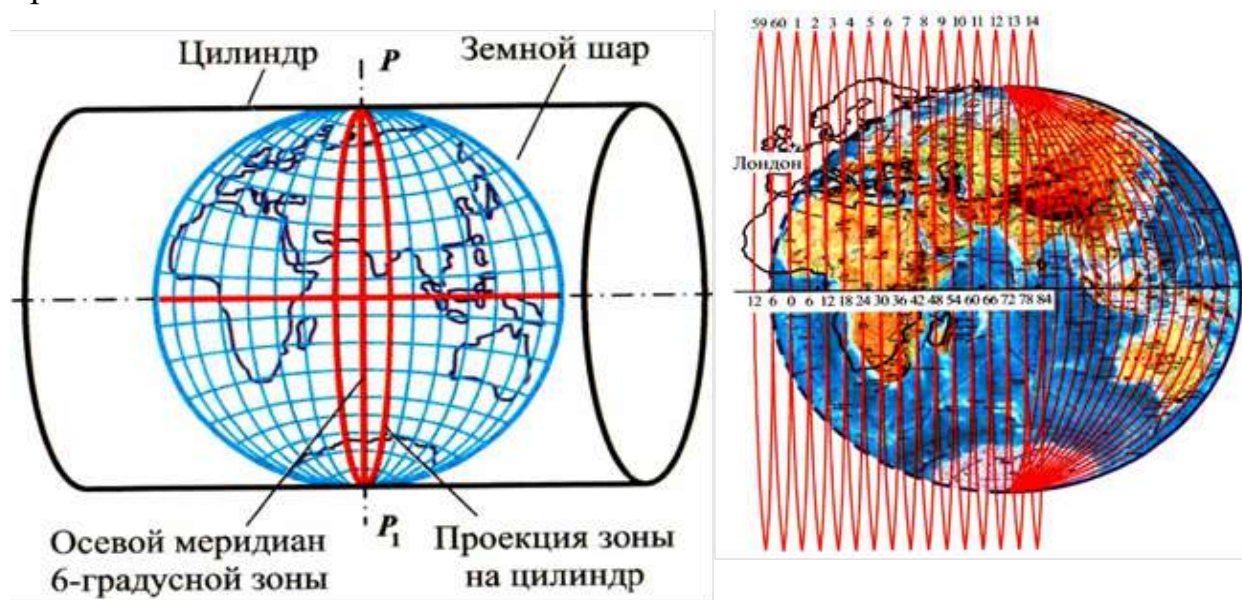


Рис. 7. Поперечная цилиндрическая проекция Гаусса-Крюгера

Топографические карты в России издаются в поперечной цилиндрической проекции Гаусса - равноугольной проекции, в которой прямыми линиями без искажений изображаются осевой меридиан зоны и экватор.

В условиях применения компьютерных технологий, наряду с изображениями местности на бумажных носителях - картами и планами, используются их цифровые аналоги.

Цифровой моделью местности (ЦММ) называется представленное в виде цифровых кодов и хранимое на магнитных носителях логико-математическое описание местности, адекватное по содержанию плану местности. Основным содержанием ЦММ является топографическая информация: координаты и высоты точек, очертания объектов, их свойства. ЦММ содержит и общую информацию - название участка, систему координат и высот и др.

Цифровой картой называют цифровую модель значительного участка земной поверхности, сформированную с учётом генерализации изображаемых объектов и принятой картографической проекции.

Электронной картой называется изображение местности на экране дисплея, полученное на основе цифровой карты.

Разграфка и номенклатура топографических карт и планов.

Топографические карты издаются на листах со сторонами 40-50 см. В основу разграфки (нарезки) карт положена карта масштаба 1:1 000 000. Она издаётся на листах размерами 4° по широте и 6° по долготе. Множество листов такой карты по направлению параллелей образует ряды шириной по 4°, а по направлению меридианов – колонны шириной по 6°.

Табл. 2

Обозначение ряда	Границы ряда по широте	Обозначение ряда	Границы ряда по широте	Обозначение ряда	Границы ряда по широте
<i>A</i>	0° – 4°	<i>I</i>	32° – 36°	<i>Q</i>	64° – 68°
<i>B</i>	4 – 8	<i>J</i>	36 – 40	<i>R</i>	68 – 72
<i>C</i>	8 – 12	<i>K</i>	40 – 44	<i>S</i>	72 – 76
<i>D</i>	12 – 16	<i>L</i>	44 – 48	<i>T</i>	76 – 80
<i>E</i>	16 – 20	<i>M</i>	48 – 52	<i>U</i>	80 – 84
<i>F</i>	20 – 24	<i>N</i>	52 – 56	<i>Y</i>	84 – 88
<i>G</i>	24 – 28	<i>O</i>	56 – 60	<i>Z</i>	88 – 90
<i>H</i>	16 – 20	<i>P</i>	60 – 64		

Разграфка и номенклатура карт

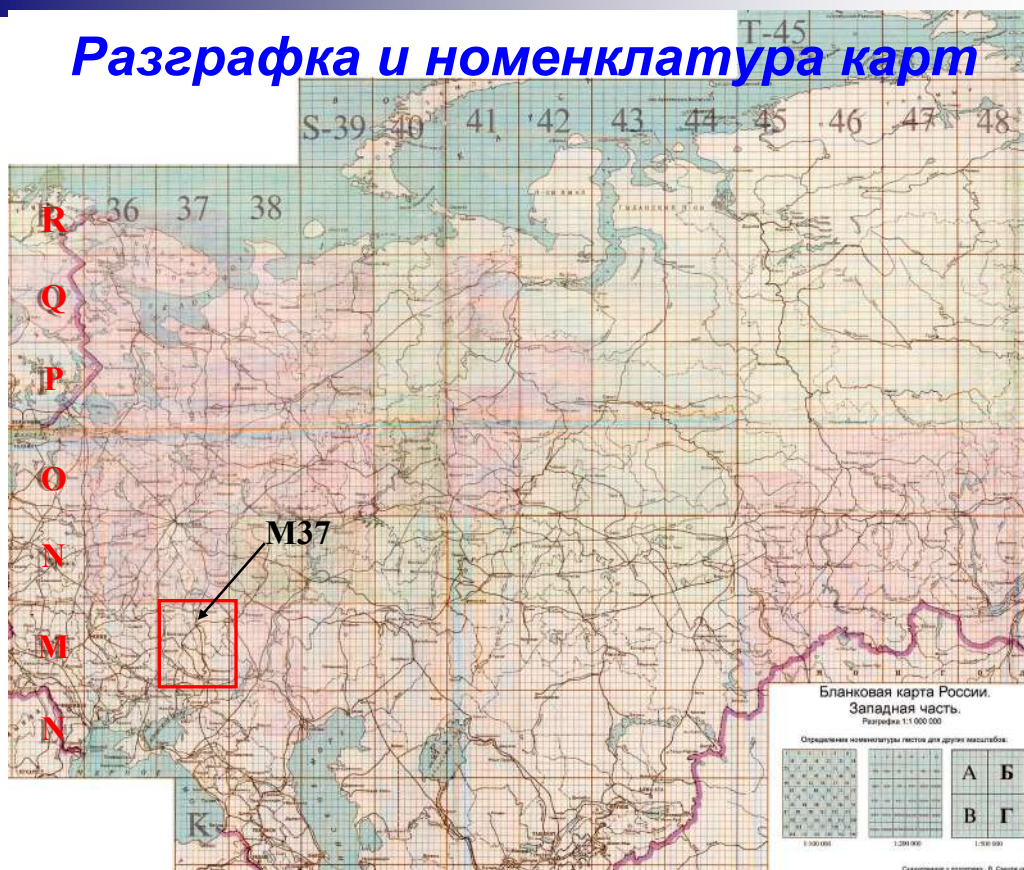


Рис. 8. Базовая карта части России с делением на листы масштаба 1:1000000

Ряды обозначают заглавными буквами латинского алфавита *A, B, C, D, ...*, начиная от экватора по направлениям к северу и югу (табл.2). Колонны нумеруют арабскими цифрами 1, 2, ... , 60, начиная от меридиана 180° в направлении с запада на восток. Каждому листу карты масштаба 1:1000000 присвоен номенклатурный номер, состоящий из буквы соответствующего ряда и номера колонны, например, *M-42*.

Для карт масштаба 1:500000 лист масштаба 1:1000000 меридианом и параллелью делят на 4 листа, обозначая их прописными буквами *A, B, B, Г*. Номенклатурные номера листов карты образуют добавлением соответствующей буквы к номенклатурному номеру листа масштаба 1:1000000 (например, *M-42-Г*).

Для карт масштаба 1:200000 лист масштаба 1:1000000 делят на 36 листов, нумеруя их римскими цифрами *I, II, ... , XXXVI*.

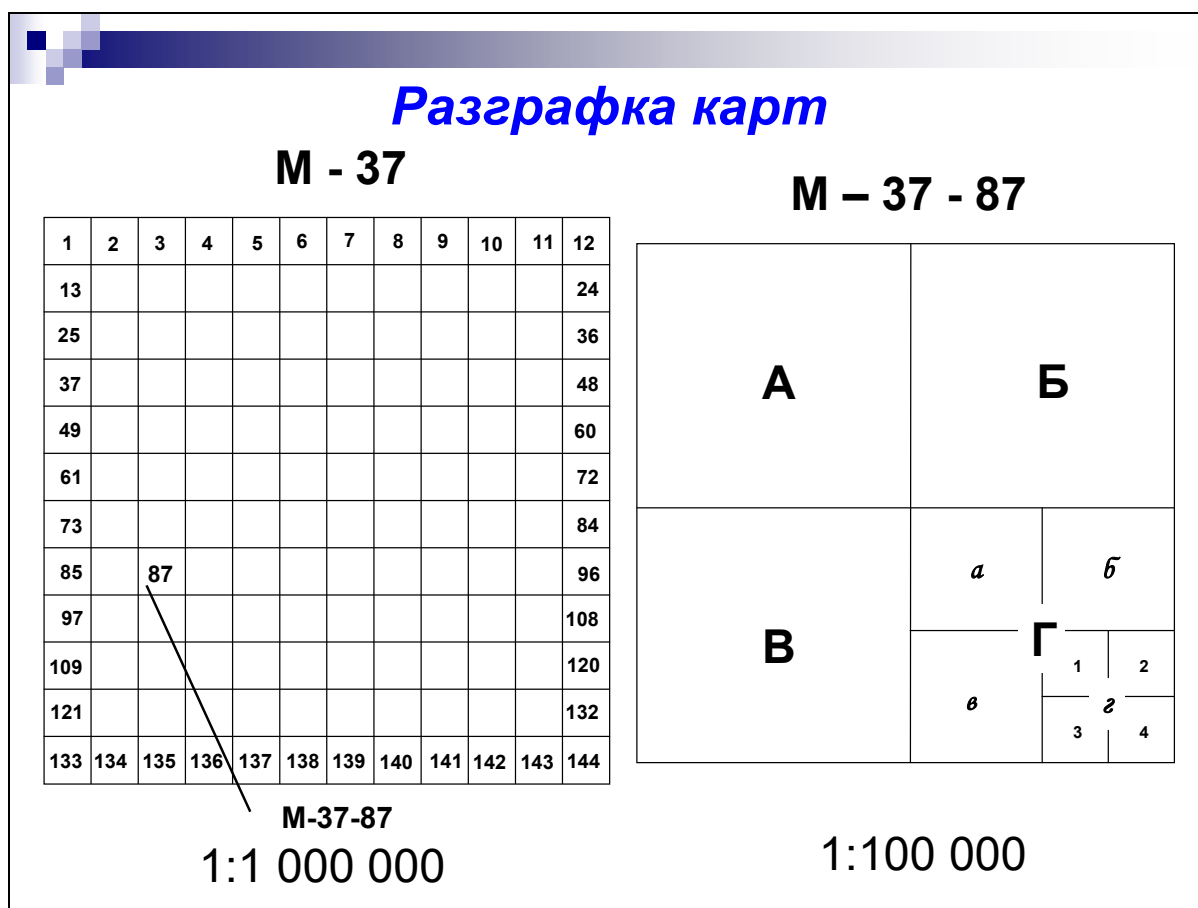


Рис. 9. Разграфка карты масштабов 1:1000000, 1:100000, 1:50000, 1:25000, 1:10000

Для карт масштаба 1:100000, разделив лист масштаба 1:1000000 по широте и долготе на 12 частей, получают границы 144 листов, которые нумеруют цифрами 1, 2, ... , 144. Номенклатура каждого листа складывается из номенклатуры листа масштаба 1:1000000 и номера листа. На рисунке выделен лист М-37-87.

Разграфка карт масштабов 1:50000, 1:25000 и 1:10000 формируется делением на четыре части листа более мелкого масштаба (соответственно – 1:100000, 1:50000, 1:25000) и добавлением к номенклатуре предыдущего масштаба соответствующего знака, как показано на рис. 10 и в табл. 3.

Разграфка и номенклатура карт

Масштаб	Номенклатура	Часть листа карты масштаба	$\Delta\varphi$	$\Delta\lambda$
1:1 000 000	S - 42		4°	6°
1: 500 000	S - 42-Б	¼ 1:1 000 000	2°	3°
1: 200 000	S -42- XVII	1/36 1:1 000 000	40 '	1°
1 : 100 000	S – 42-79	1/144 1:1 000 000	20'	30'
1: 50 000	S - 42-79-Б	¼ 1:100 000	10'	15'
1 : 25 000	S - 42-79-Б-а	¼ 1 : 50 000	5 '	7' 30"
1 : 10 000	S - 42-79-Б-а- 2	¼ 1 :25 000	2'30"	3' 45"
1 : 5 000	N-37(178)	1/256 1:100 000	1'15"	1' 52,5"
1 : 2 000	N-37(178-б)	1/9 1:5 000	25"	37,5"

Рис. 10. Пример номенклатурного номера карт разных масштабов

Табл. 3

Масштаб	Номенклатура (последнего листа карты)	Число листов карты	Размеры листа	
			По Широте	по долготе
1:1000000	M-37	–	4°	6°
1:100000	M-37-144	12×12=144	20'	30'
1:50000	M-37-144-Г	2×2=4	10'	15'
1:25000	M-37-144-Г-г	2×2=4	5'	7'30"
1:10000	M-37-144-Г-г-4	2×2=4	2'30"	3'45"

На широтах от **60°** до **76°** все листы топографических карт – **сдваиваются**.

На широтах от **76°** до **88°** все листы топографических карт- **считываются**. За исключением карт масштаба **1:200 000** эти карты на широтах от **76°** до **88°** **страиваются**.

Для планов масштабов **1:5000** и **1:2000** применяется два вида разграфки - трапециевидная, в которой рамками планов служат параллели и

меридианы, и прямоугольная, в которой рамки совмещают с линиями сетки прямоугольных координат.

При трапециевидной разграфке границы листов планов масштаба 1:5000 получают делением листа масштаба 1:100000 на 256 частей (16×16), которые нумеруют от 1 до 256. Номенклатура, например, листа №70, записывается так М-37-87(70).

Разграфку листов масштаба 1:2000 получают делением листа масштаба 1:5000 на 9 частей (3×3) и обозначают добавлением буквы русского алфавита, например, М-37-87(70-и).

Прямоугольная разграфка применяется для планов населённых пунктов и для участков площадью менее 20 км², а также для планов масштабов 1:1000 и 1:500.

При съёмке отдельного участка план может быть составлен и на листе нестандартного формата.

Условные знаки топографических карт и планов

Рамки карты и координатные линии. Листы топографических карт имеют три рамки: внутреннюю, минутную и внешнюю. Внутреннюю рамку образуют отрезки параллелей, ограничивающих площадь карты с севера и юга, и отрезки меридианов, ограничивающих её с запада и востока. Значения широт и долгот на линиях внутренней рамки связаны с номенклатурой карты и написаны в каждом её углу.

Между внутренней и внешней рамками помещена минутная рамка, на которой нанесены деления, соответствующие одной минуте широты (слева и справа) и долготы (наверху и внизу). Точками на рамке отмечены десятки секунд.

Система прямоугольных координат на карте представлена километровой сеткой, образованной проведенными через 1 км координатными линиями x и y . Значения x и y , выраженные в километрах, надписаны на выходах линий за внутреннюю рамку карты.

Планы масштабов 1:5000 - 1:500 с прямоугольной разграфкой имеют только сетку прямоугольных координат. Ее линии проведены через 10 см.

Условные знаки. На планах и картах объекты местности изображают условными знаками.

Условные знаки различают контурные, внемасштабные и линейные.

Контурными условными знаками изображают объекты, форма и размеры которых могут быть переданы в масштабе плана (карты). К ним

относятся земельные угодья (леса, сады, пашни, луга), водоёмы, а для более крупных масштабов - здания, сооружения. Очертания объектов (контуры) на плане показывают точечным пунктиром или линиями определённой толщины и цвета. Внутри контура помещают знаки, указывающие характер объекта.

Внемасштабными условными знаками изображают объекты, которые необходимо нанести на план, но невозможно изобразить в масштабе (бензоколонки, колодцы, пункты геодезической сети и др.).

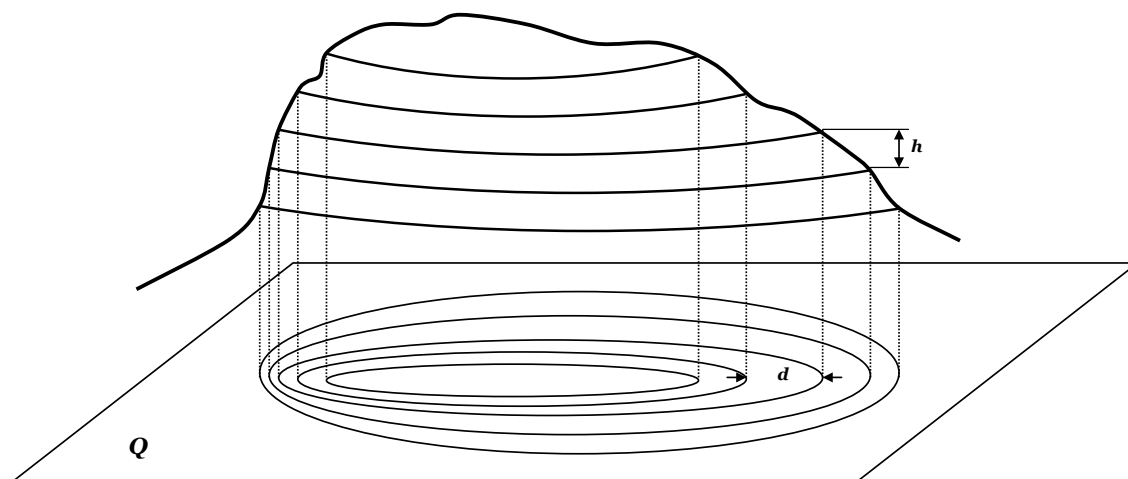
Линейными условными знаками изображают объекты, длина которых выражается в масштабе плана, а ширина не выражается (линии электропередач и связи, трубопроводы, ограды, тропы).

Для отражения характеристик изображаемых объектов многие условные знаки сопровождаются пояснительными подписями. Так, при изображении железной дороги указывают высоту насыпи и глубину выемки, ширину колеи на узкоколейной дороге. При изображении шоссе указывают его ширину и материал покрытия; при изображении линий связи – число проводов и их назначение; при изображении лесов - породу деревьев, среднюю высоту, толщину стволов и расстояние между деревьями.

Изображение рельефа.

На картах и планах рельеф изображают с помощью горизонталей, высотных отметок и условных знаков.

Горизонтали



d – заложение,
 h – высота сечения рельефа

Рис. 11. Горизонтали: h – высота сечения рельефа; d – заложение

Разность h высот смежных горизонталей, равная расстоянию между секущими поверхностями, называется *высотой сечения рельефа*. Значение высоты сечения подписывают у нижней рамки плана.

Горизонтали – линии сечения земной поверхности равноотстоящими уровнями поверхностями. Иными словами, горизонтали – это линии равных высот. Горизонтали, подобно другим точкам местности, проецируют на уровенную поверхность Q и наносят на план (рис.12).

Горизонтали

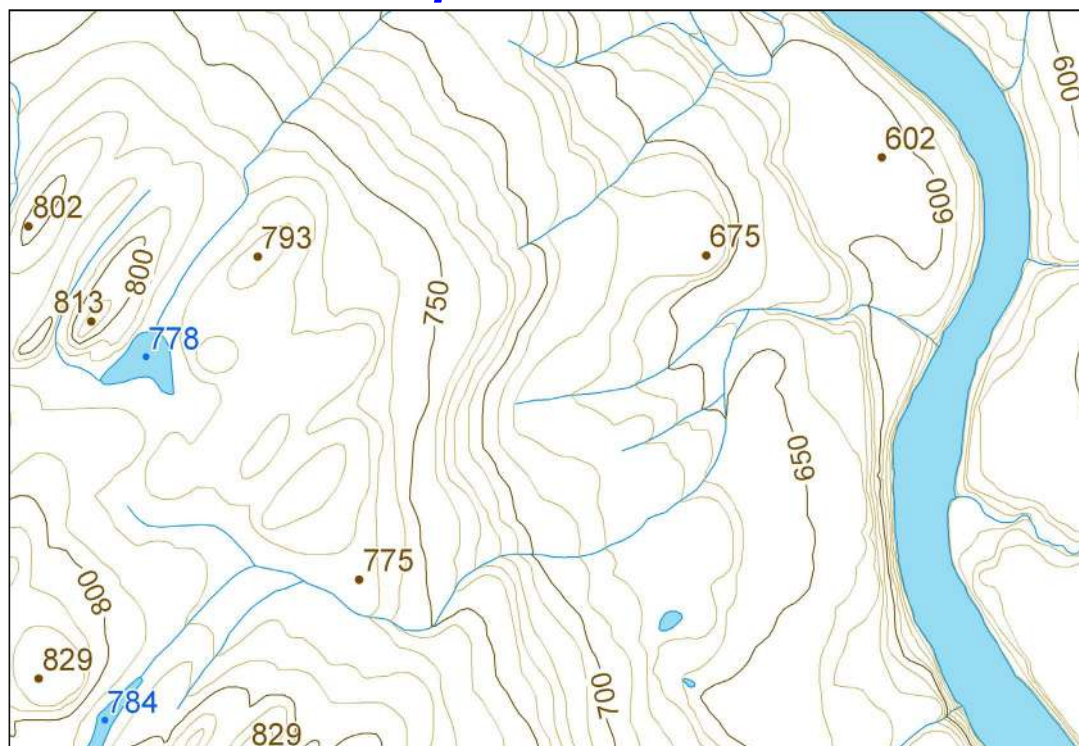


Рис. 12. Изображение горизонталей на топографическом плане

Горизонтальное расстояние между соседними горизонталями называется *заложением*. Минимальным в данном месте является заложение, перпендикулярное к горизонталям, - *заложение ската*. Чем меньше заложение ската, тем круче скат.

Направление ската указывают *бергштрихами* - короткими штрихами у некоторых горизонталей, направленными в сторону спуска. На отдельных горизонталях в их разрывах пишут их высоту так, чтобы верх цифр указывал в сторону подъёма.

Горизонтали с круглыми значениями высот делают утолщёнными, а для отражения деталей рельефа используют *полугоризонтали* - штриховые линии, соответствующие половине высоты сечения рельефа, а также *вспомогательные горизонтали* с короткими штрихами, проводимые на произвольной высоте.

Основные формы рельефа

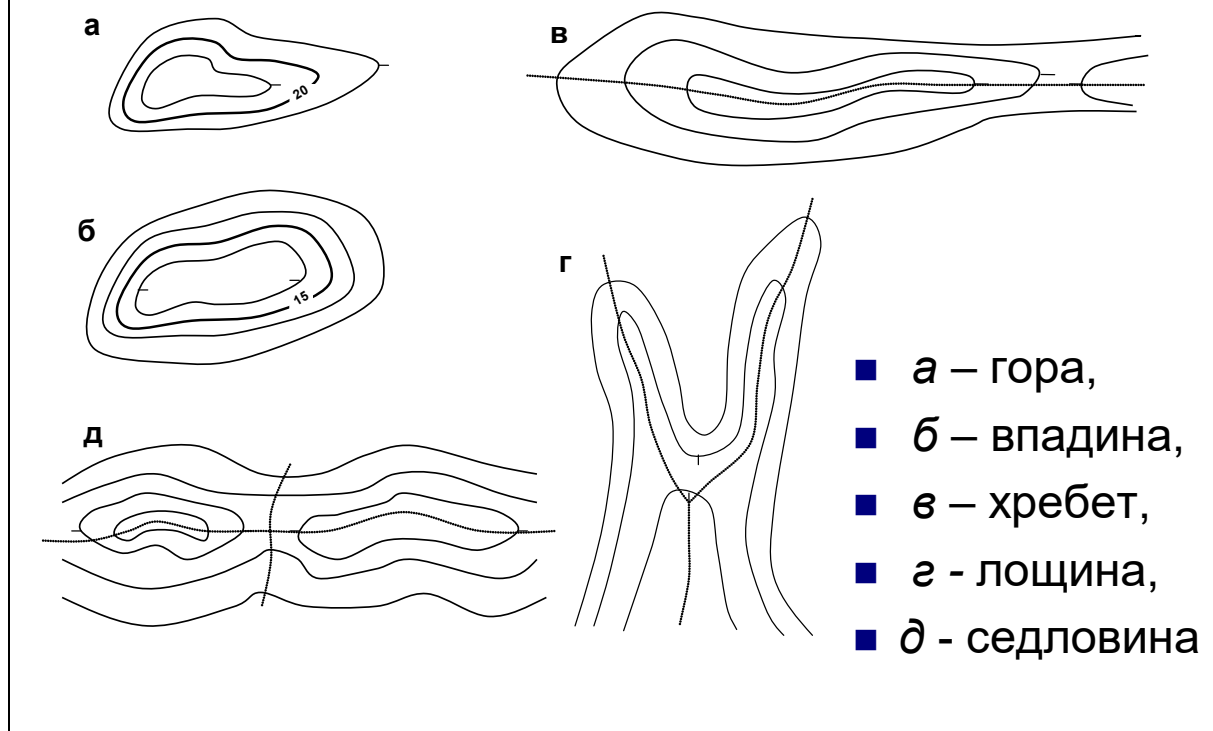


Рис. 13. Основные формы рельефа:

а – гора; б – котловина; в – хребет; г – лощина; д – седловина;

1 – водораздельная линия; 2 – водосливная линия.

Изображение рельефа горизонталями дополняется вписыванием на план отметок высот около характерных точек рельефа и специальными условными знаками, изображающими обрывы, скалы, овраги и т. п.

Основными формами рельефа являются гора, котловина, хребет, лощина и седловина (рис.13).

Гора (возвышенность, холм, курган, сопка) изображается замкнутыми горизонталями с бергштрихами, обращёнными наружу. Характерными точками горы являются её вершина и точки у подошвы.

Котловина (впадина) тоже изображается замкнутыми горизонталями, но с бергштрихами, обращёнными внутрь. Характерными точками котловины являются точки на её дне и вдоль бровки.

Хребет - вытянутая возвышенность. Изображается огибающими гребень хребта и идущими по его скатам вытянутыми горизонталями.

Бергштрихи, как и у горы, обращены наружу. Характерной линией хребта является проходящая вдоль его гребня *водораздельная линия*.

Лощина (долина, ущелье, овраг, балка) - вытянутое в одном направлении углубление. Изображается вытянутыми, горизонталями с бергштрихами, обращёнными внутрь. Характерной линией лощины является *водосливная линия* (тальвег) - линия, по которой сбегает вода.

Седловина (перевал) – понижение между двумя возвышенностями. По обе стороны к седловине примыкают лощины. Седловина - это место пересечения водораздельной и водосливной линий.

СИСТЕМЫ КООРДИНАТ ДЛЯ КАРТОГРАФИИ.

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

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

В России распространена система координат ПЗ-90.11 (аналог ГСК-2011) для проекции Гаусса-Крюгера.

Геометрия картографического изображения связана с представлением о фигуре Земли - её геометрической форме и размерах. Географическое изображение точек на земной поверхности определяется, как известно, их координатами. Поэтому математическая задача построения картографического изображения заключается в том, чтобы спроектировать и изобразить шарообразную поверхность на плоскости (карте), строго соблюдая при этом однозначное соответствие между координатами точек на земной поверхности и координатами их изображения на карте.

Такое проектирование сопряжено с необходимостью отнесения результатов полевых геодезических измерений при их вычислительной обработке и отображении на картах к определённой, хорошо изученной в геометрическом отношении поверхности, которая наиболее близко подходит по своей форме и размерам к реальной фигуре Земли, но более проста в сравнении с ней.

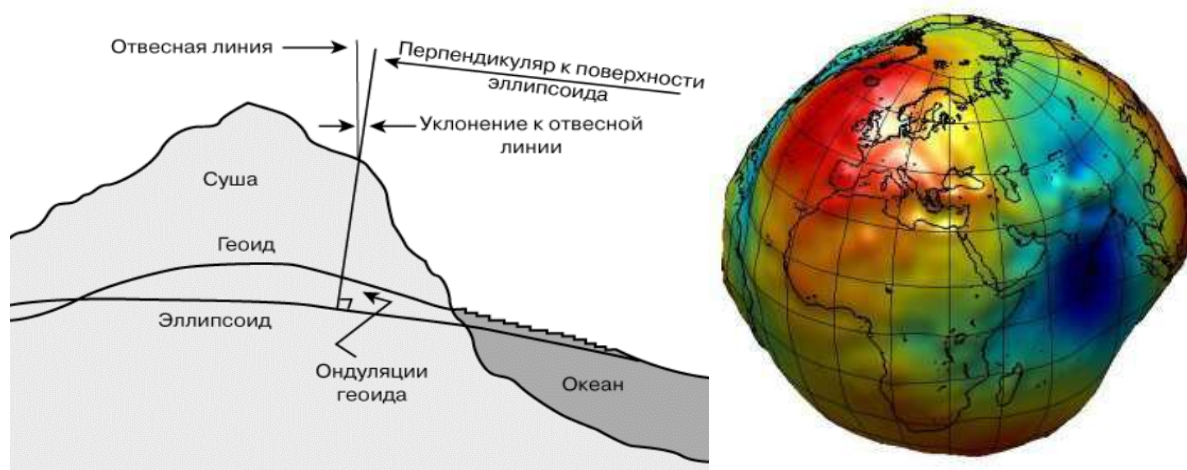
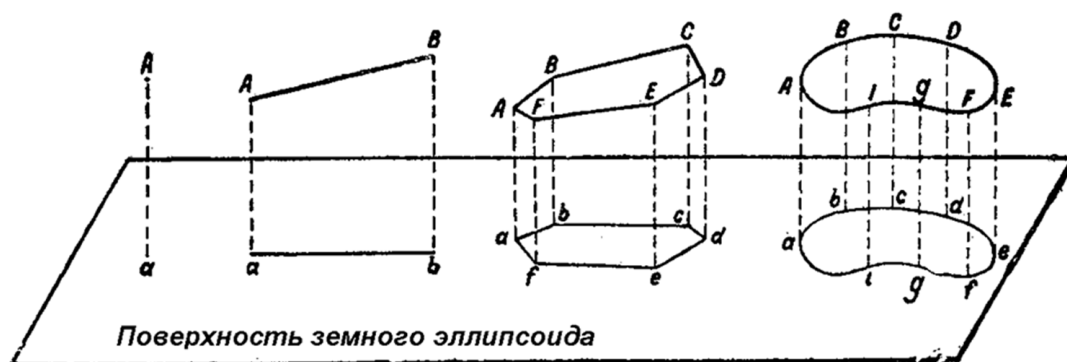
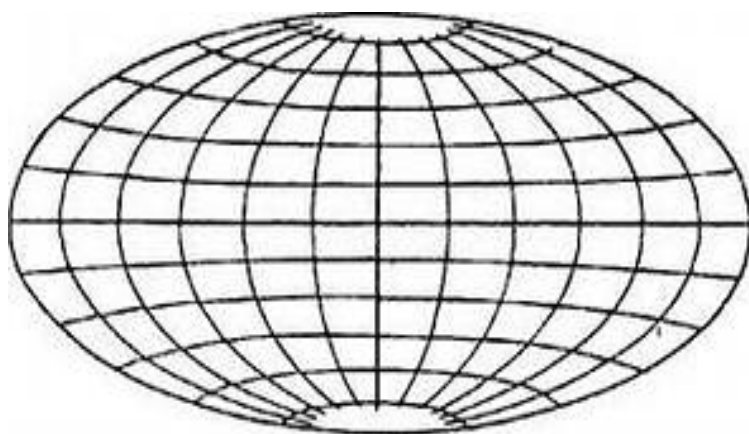


Рис. 14. Представление Земли различными фигурами

Под фигурой Земли понимают математическую фигуру, ограниченную поверхностью среднего уровня Мирового океана в спокойном его состоянии, мысленно продолженную под всеми континентами. Эта воображаемая поверхность, перпендикулярная в любой её точке к направлению отвесной линии (направлению силы тяжести), называется основной уровенной поверхностью, а фигура Земли, образованная ею, - геоидом.

Гео́ид (буквально - «нечто подобное Земле») - выпуклая замкнутая поверхность, совпадающая с поверхностью воды в морях и океанах в спокойном состоянии и перпендикулярная к направлению силы тяжести в любой ее точке

Геоид имеет всюду выпуклую, но асимметричную, сложную и неправильную в геометрическом отношении фигуру, которая, однако, весьма мало отличается от эллипсоида вращения, т.е. правильного геометрического тела, образуемого вращением эллипса вокруг его малой оси. Поэтому при геодезических измерениях и составлении карт фигуру Земли и принимают за такой эллипсоид. Эллипсоид вращения, поверхность которого наиболее близка к поверхности геоида, называется земным эллипсоидом, или земным сфероидом.

A stylized, pixelated globe of the Earth. The continents are rendered in a light yellow color, while the oceans are a deep blue. The globe is shown from a perspective that includes North America, South America, Africa, Europe, and parts of Asia and Australia. The image has a low-resolution, digital-art aesthetic.

Таким образом, нанесение на карту изображения земной поверхности представляет собой процесс двойного проектирования, включающий одновременно переход от действительных очертаний изображаемых объектов к их горизонтальным проложениям на поверхности земного эллипсоида, т.е. проектирование физической поверхности Земли на эллипсоид по нормальям к его поверхности, и изображение на плоскости, т.е. на карте, этих горизонтальных проложений в заданном масштабе и по определённым для данной карты математическим правилам.

Математически определяемый способ построения на плоскости картографической сетки того или иного вида, на основе которой на карте изображают поверхность Земли, называется картографической проекцией.

Топографические карты масштабов 1:500 000 и крупнее составляются в единой равноугольной проекции Гаусса, названной так по имени её автора. Эта проекция принята у нас не только для составления карт указанных масштабов, но и для вычисления плоских прямоугольных координат геодезических пунктов. Координаты, вычисленные на плоскости в этой проекции, называются координатами Гаусса.

Зоны развёртывают на плоскости таким образом, чтобы средний, так называемый осевой меридиан зоны изображался без искажения его длины прямой линией, перпендикулярной к экватору, который также изображается прямой, но с весьма незначительным искажением (увеличением) длины, присущим проекции Гаусса. Остальные меридианы и параллели в этой проекции изображаются на плоскости кривыми линиями.

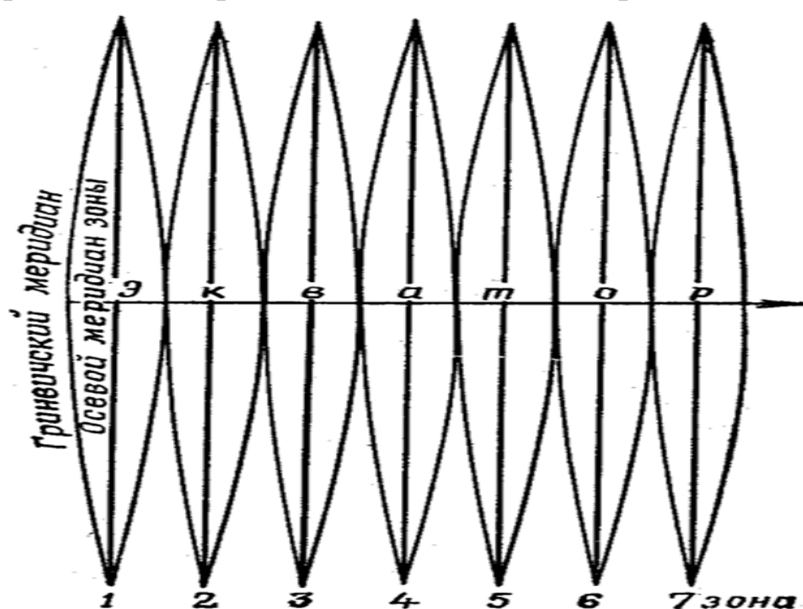


Рис. 16. Зональная проекция Гаусса-Крюгера

Эти зоны называются координатными, т.к. каждая из них представляет собой самостоятельную систему плоских прямоугольных координат Гаусса, за начало которой принимается точка пересечения среднего меридиана зоны с экватором.

Счёт зон ведётся от Гринвичского меридиана. Зоны развёртываются на плоскости таким образом, чтобы средний, так называемый осевой меридиан зоны изображался без искажения его длины прямой линией, перпендикулярной к экватору, который также изображается прямой, но с весьма незначительными искажениями (увеличением) длины, присущими проекции Гаусса.

Остальные меридианы и параллели в этой проекции изображаются на плоскости кривыми линиями и тоже с весьма небольшим увеличением их длины. Искажения возрастают по мере удаления от осевого меридиана. Наибольшие искажения получаются на краях зоны. Однако и здесь они, на широтах 30 градусов и выше, не превосходят 0,001 длины измеряемой линии. Искажения же углов не превышают 3-4 минуты.

Картографический процесс

Помимо определения масштаба, проекции и системы координат, ГИС-аналитик должен знать и об основных этапах процесса изготовления карты, особенно с точки зрения изменения парадигмы от одного лишь сообщения к сообщению и анализу. Имеется четыре основных этапа в картографическом процессе: ***сбор данных, компиляция данных, создание карты, ее тиражирование.***

Мы рассматривали сбор данных как первый наш шаг в формализации концептуальной модели пространства.

По традиции процесс картографической компиляции данных включает в себя выбор или разработку базовой карты (base map), на которой размещаются собранные данные. Для представления точек, линий, площадей и поверхностей используются наборы символов, каждый из которых может сдвигаться относительно своего точного положения, чтобы дать место другим на ограниченной поверхности карты. Для группирования данных статистическими методами используются процессы предварительного отбора и сортировки. В рамках парадигмы сообщения группирование чаще всего выполнялось как отдельный шаг или набор операций до начала процесса создания собственно карты. С продвижением аналитиче-

ской парадигмы группирование стало выполняться в рамках ГИС с применением методов статистики и управления базами данных. Однако циклическая природа функционирования ГИС маскирует группирование как легко опознаваемую часть картографического процесса. Тем не менее, многие карты, включаемые в базу данных ГИС, создавались при традиционной парадигме сообщения. И как мы уже видели, процесс компиляции может не сохранять исходные данные, поскольку создаются классификации, основанные на первоначальных критериях разработки карты, оставляя ГИС-аналитика без полного набора атрибутивных данных, которые можно было бы ввести в ГИС.

Картографические символы

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

Карты не являются точными уменьшенными копиями реальности, а ее представлением. Географические объекты оказываются точками, линиями, областями и поверхностями, и их характеристики могут быть описаны с применением четырех различных шкал измерений. Когда мы переходим к картографическому изображению, нам нужно представлять все эти объекты независимо от шкалы измерений тщательным отбором, классификацией и символизацией так, чтобы результаты физически уместились бы на выделенной площади и пользователь смог бы понять, что здесь представлено.

Есть некоторые наборы символов, соответствующих точкам, линиям, областям и поверхностям на всех шкалах измерения. Если мы не знаем, как данные первоначально собирались, мы не знаем, являются они интервальными или порядковыми. Символы этого не показывают. Мы можем выполнить операции шкалы отношений на наборе данных, который не имеет абсолютной начальной точки отсчета, а результаты такого анализа могут оказаться бессмысленными.

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

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

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

Среди этих методов есть несколько достойных внимания групп.

К первой группе методов мы отнесем такие, в которых весь диапазон значений разбивается на некоторое число равных интервалов.

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

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

Каждый из этих методов имеет свои особенности. Одни производят хорошо сбалансированную карту, другие более просты, третьи обеспечивают наличие данных в каждом классе.

Все эти методы выбора интервалов классификации могут применяться по отношению к точечным, линейным и площадным символам для отображения всех типов пространственных данных. Возьмем для примера использование интервалов между горизонталями на топографических картах. Выбор этих интервалов - в такой же степени метод выбора интервалов классификации, как и группировка областей для choropleth карт. Подобным же образом, создание дискретного набора точечных символов для отображения различий значения атрибута является методом выбора интервалов классификации, поскольку известно, что человеческий глаз не способен заметить очень малые отличия в размере. Все эти методы выбора интервалов создают картографические документы, которые в большей или меньшей степени скрывают исходные данные и при неудачном выборе могут исказить картины исходных распределений. Нам нужно помнить об этих особенностях, когда мы готовим вывод документов из ГИС. С другой стороны, если мы намереваемся использовать классифицированные карты для ввода в базу данных ГИС, мы должны быть очень осторожны при выполнении анализа с этими в значительной степени обработанными данными.

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

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

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

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

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

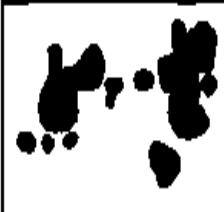
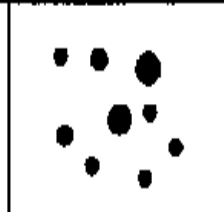
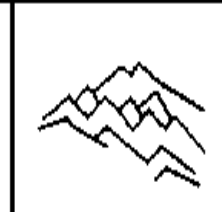
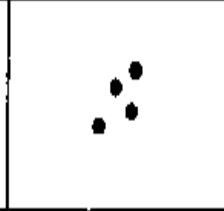
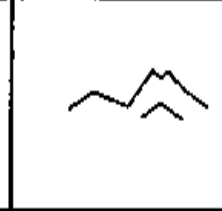
Острова	Реки	Города	Горы	
				Крупный масштаб
				Малый масштаб

Рис. 17. Детализация в зависимости от масштаба

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

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

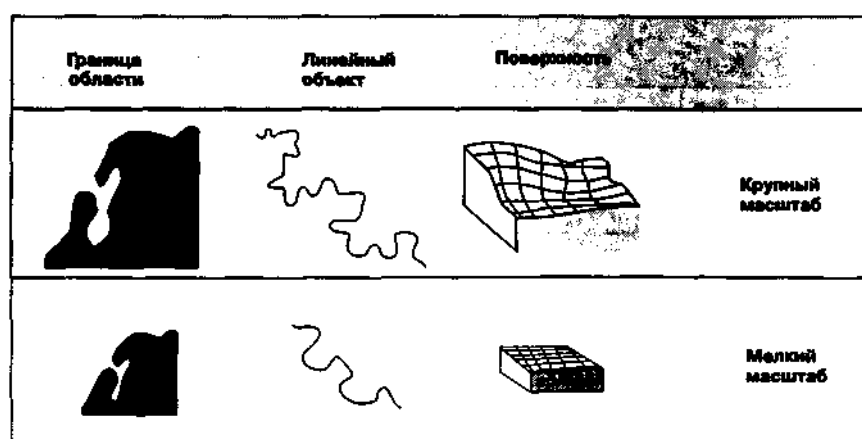


Рис. 18. Упрощение представления данных

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

Другой полезный метод упрощения называется сглаживанием. Этот процесс превращает детализированные геометрические объекты в менее детализированные. Подобно шаржам на известные личности, важные геометрические характеристики сохраняются в виде упрощенных геометрических форм. На картах, показывающих прибрежные районы, границы, извилистые реки или острова, мы можем упрощать линии, представляющие эти нерегулярные объекты, так, чтобы их существование было обозначено, но их пространственная детализация ограничена с тем, чтобы их все-таки можно было показать на карте. Ввод таких карт в ГИС приводит к менее чем

удовлетворительным результатам измерений длин, форм, площадей и других геометрических характеристик. Но поскольку результаты геоинформационного анализа часто представляются в картографическом виде, мы можем счесть эти две формы упрощения полезными при создании конечного результата нашего анализа.

4. Геоинформационные структуры данных

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

Представление пространственных данных - еще один формализм, подобный тем, что мы рассматривали при переходе от реальных земных объектов к ограниченному набору геометрических примитивов, называемых точками, линиями, областями и поверхностями. Разница всего лишь в том, как мы представляем их внутри компьютера таким образом, чтобы мы могли их редактировать, измерять, анализировать и выводить в какой-либо удобной форме.

Мы рассмотрим основные концепции, связанные с представлением пространства и его объектов с помощью графических структур данных. Затем мы выработаем детальные модели данных, которые позволяют связать множественные наборы картографических данных с их атрибутами для образования завершенной БД ГИС.

Представление пространственных данных.

Перед тем как приступить к новому уровню представления реальности, который позволяет компьютеру оперировать с пространственными данными, будет неплохо вспомнить, как мы перешли от реальной Земли к более абстрактным представлениям, которыми мы можем оперировать в уме.

Собрав данные, мы принимаем решение о представлении их в графической форме. Мы сравниваем и группируем данные, выбираем проекцию и систему координат и т.д. При этом компьютер вынуждает нас к определенному взгляду на наши данные. Компьютеры не мыслят, как мы это понимаем, не оперируют непосредственно с визуальными или графиче-

ческими объектами, как мы бы изображали их на листе бумаги. Вместо этого к компьютерам нужно обращаться на каком-либо формальном языке.

Когда мы сформировали наше представление о пространстве и пространственных отношениях, мы можем организовать наши данные таким образом, чтобы в этом был какой-то смысл. Мы должны создать формальный язык, который позволит компьютеру использовать его цифровое (из нулей и единиц) видение мира для определения пространственной протяженности каждого объекта, его положения в какой-либо координатной системе, различения смежных объектов и опознавания и сортировки объектов по ориентации, размеру, положению и т.д.

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

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

Основные структуры компьютерных файлов

Одна из важнейших функций ГИС - хранение объектов и их атрибутов таким образом, который позволяет нам выбирать, например, для отображения, любую комбинацию этих объектов. Это требует от компьютера способности хранить, отыскивать и выбирать записи, устанавливать перекрестные ссылки и т.д.

Неупорядоченные файлы Простейшей структурой файла является неупорядоченный массив записей.

Единственным преимуществом такой структуры файла является то, что для добавления новой записи нужно просто поместить ее в конец файла, позади всех других записей.

Отсутствие упорядоченности делает поиск довольно длительным. Если вам приходилось создавать картотеку, то вы наверняка попытались бы сделать это как-то иначе, особенно если количество карточек велико.

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

Последовательно упорядоченные файлы Как вы знаете, большинство картотек, как, например, телефонные справочники, упорядочены по алфавиту. Этот метод использует сравнение каждой новой записи с имеющимися для определения того, где ее место. Такие последовательно упорядоченные файлы (ordered sequential files) могут использовать буквы алфавита, как в нашем примере с картотекой, или числа, которые тоже имеют определенную последовательность. Обычной стратегией поиска здесь является так называемый поиск делением пополам (или дихотомия). Поиск начинается разделением всего массива записей на две половины и выборкой записи в середине. Если она оказывается той, что нужна, то процедура поиска закончена. Если искомая запись находится прежде выбранной, то мы выполняем ту же операцию с первой половиной, если после — со второй.

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

Однако, скорость поиска не достается бесплатно, поскольку теперь каждая новая запись должна вставляться в соответствующее место последовательности, иначе ваш файл быстро превратится в неупорядоченный, который уже потребует последовательного перебора записей.

Индексированные файлы Каждому объекту может быть приписано большое количество атрибутов, но мы физически не можем отсортировать записи в файле одновременно более чем одним способом. И если для того

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

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

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

Структура баз данных для управления файлами.

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

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

Например, животные делятся на позвоночные и беспозвоночные. В свою очередь, позвоночные имеют подмножество, называемое млекопитающими. Млекопитающие могут быть далее разделены на подгруппы. Структура становится похожей на генеалогическое дерево, и в действительности таксономисты используют почти такую же графическую форму для представления отношений между видами. Главной характеристикой иерархической структуры, иллюстрируемой таксономическим деревом, является прямая взаимосвязь между одной ветвью и другой.

Ветвление основано на формальных ключевых признаках, которые определяют продвижение по этой структуре от одной ветви к другой.

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

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

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

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

Сетевые БД ГИС используют отношение "многие ко многим", при котором один элемент может иметь многие атрибуты, при этом каждый атрибут связан явно со многими элементами. Для реализации таких отношений вместе с каждым элементом данных может быть связана специальная переменная, называемая указателем (pointer), которая направляет нас ко всем другим элементам данных, связанным с этим (Рисунок 4.7). Вместо того, чтобы ограничиваться древовидной структурой связей, каждый отдельный элемент данных может быть прямо связан с любым местом базы данных, без введения отношения "предок-потомок".

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

Реляционные базы данных Недостатков большого количества указателей можно избежать используя еще одну структуру баз данных — реляционную. В ней данные хранятся как упорядоченные записи или строки значений атрибутов. Атрибуты объектов группируются в отдельных строках в виде так называемых отношений (relations), поскольку они сохраняют

свои положения в каждой строке и определенно связаны друг с другом. Каждая колонка содержит значения одного атрибута для всего набора объектов. Атрибуты объектов могут также объединяться в другие, связанные, таблицы.

Реляционные системы основаны на наборе математических принципов, называемых реляционной алгеброй или алгеброй отношений, устанавливающей правила проектирования и функционирования таких систем. Поскольку реляционная алгебра основывается на теории множеств, каждая таблица отношений функционирует как множество, и первое правило гласит, что таблица не может иметь строку, которая полностью совпадает с какой-либо другой строкой. Поскольку каждая из строк уникальна, одна или несколько колонок могут использоваться для определения критерия поиска. Так, примером использования одной колонки для определения критерия поиска может быть выбор уникального личного номера социального страхования, номера телефона, домашнего адреса и других, имеющих в других колонках той же таблицы при выборе определенного имени из первой колонки. Такой критерий поиска называется первичным ключом (primary key) для поиска значений в других колонках базы данных [Date, 1986]. Всякая строка таблицы должна иметь уникальное значение в колонке первичного ключа, в противном случае мы не сможем однозначно идентифицировать объекты по первичному ключу.

Реляционные системы ценны тем, что позволяют нам собирать данные в достаточно простые таблицы, при этом задачи организации данных также просты. При необходимости мы можем стыковать строки из одной таблицы с соответствующими строками из другой таблицы, используя связующий механизм, называемый реляционным соединением (relational join). Поскольку реляционные системы преобладают в ГИС и поскольку для ГИС созданы довольно большие базы данных. Любое количество таблиц может быть "связано". Соединение происходит по равенству значений колонки первичного ключа одной таблицы с другой колонкой второй таблицы. Колонка второй таблицы, с которой связан первичный ключ, называется внешним ключом (foreign key). Опять же, значения связанных строк предполагаются находящимися в тех же позициях для гарантии соответствия. Эта связь означает, что все колонки второй таблицы привязаны к колонкам первой таблицы. Благодаря этому каждая таблица может быть наиболее простой, облегчая управление данными. Вы можете привязать сюда третью таблицу, взяв колонку второй таблицы, которая будет использоваться как первичный ключ к соответствующей ключевой колонке (теперь называемой

внешним ключом) третьей таблицы. Процесс может продолжаться присоединением все новых простых таблиц для проведения довольно сложного поиска, причем набор таблиц остается очень простым и легко поддерживаемым. Этот подход устраняет путаницу, присущую разработке баз данных с использованием сетевых систем.

Чтобы мы могли устанавливать реляционные соединения, каждая таблица должна иметь хотя бы одну общую колонку с другой таблицей, с которой мы желаем установить такое соединение. Эта избыточность как раз то, что прежде всего и обеспечивает реляционное соединение. Однако, по возможности, избыточность следует уменьшать. Для определения вида, который ваши таблицы должны иметь, установлен набор правил, называемых нормальными формами (normal forms). Мы рассмотрим три основные нормальные формы.

Первая нормальная форма утверждает, что таблица должна состоять из строк и колонок и, поскольку колонки будут использоваться в качестве ключей поиска, в каждой из них на каждой строке должно находиться только одно значение. Представьте себе, как трудно было бы искать информацию по названию, если бы колонка названия имела по несколько значений в каждой строке.

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

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

Объектно-ориентированная модель данных

Объектно-ориентированная модель является дальнейшим развитием технологии баз данных ГИС. В этом случае вся совокупность данных, ко-

торая будет храниться и обрабатываться в базе данных, подана не в виде набора отдельных картографических слоев и таблиц, а в виде объектов определенного класса. Объектно-ориентированная модель наряду с геометрической и атрибутивной информацией сохраняет код, определяющий поведение объектов того или иного класса при вводе и редактировании, анализе или представлении данных. Классы объектов представляют собой иерархическую структуру — под ними понимают общий родительский класс (например, рабочее пространство), на основании свойств которого определяются и описываются производные классы (векторные, растровые, TIN-пространственные данные). В свою очередь, на базе производных классов второго уровня описываются классы третьего, четвертого и других ниже расположенных уровней (например, линии, точки и полигоны векторного представления пространственных данных). Производные объекты наследуют все свойства родительского объекта, в код добавляются только некоторые специфические функции. Объекты могут быть как стандартными для среды какого программного ГИС-пакета (определенные правила обработки данных конкретными программными модулями и функциями). Свойства и правила поведения объекта могут быть определены также пользователем. При использовании стандартных классов объектов пользователь получает заранее определенную структуру данных: идентификаторы, типы и размеры полей табличной базы данных, набор методов обработки (например, в состав стандартных объектов ГИС-пакета Arc View 8.3 добавлены объекты для создания муниципальных баз данных, транспортных баз данных, землеустройство и др.).

Объект базы данных представляет собой целостную сущность, например, река, озеро, дом, учреждение. Кроме знака на карте и записи в табличной базе данных, объект имеет определенную поведение. Специальный интерфейс будет контролировать весь процесс работы с объектом определенного класса: проверять правильность оцифровки объекта (например, не позволит использовать линию для оцифровки контура дома); проверять правильность заполнения табличной базы данных (типы и формат данных, заполнения обязательных полей ; проверять топологию различных картографических слоев, проверять взаимное расположение объектов на одном картографическом слое (например, места стыковки труб различного диаметра (необходим переходник), соединение дорог различного класса (необходим оборудованный съезд и др.). Объекты имеют определенный интеллект при организации запросов, анализе, представле-

нии данных, в значительной мере позволяет автоматизировать обработку данных, создавать различные сценарии обработки данных, в которых большинство конфликтных ситуаций будет отслеживаться и исправляться без участия оператора.

На основе объектно-ориентированной модели, в частности, построена База геоданных семейства ГИС-пакетов ArcGIS. Она имеет единственную внутреннюю структуру, что позволяет в рамках единого проекта использовать и взаимно превращать различные типы пространственных данных, согласовывать и устранять конфликты при редактировании наборов данных различных картографических слоев, организовывать доступ к различным объектам базы геоданных.

5. Концепция растровых моделей географических объектов

Определение растровых моделей

Векторные модели - это модели географических объектов на основе представления векторов совокупностями координатных пар.

Растровые модели - это модели географических объектов в виде совокупности ячеек регулярной сетки или растра.

Земное пространство непрерывно. Для представления земного пространства используются модели данных, которые в любом случае основаны на наборах дискретных объектов. В векторной модели дискретизация реального земного пространства выполняется посредством выделения дискретных географических объектов и отображения их отдельными пространственными элементами - точками, линиями, областями.

В растровой модели дискретизация реального земного пространства достигается путем разделения его непрерывной последовательности на множество смежных элементарных объектов - пространственных ячеек. Ячейки являются базовыми элементами растровой модели данных.

Ячейка – это наименьшая единица информации растровой модели.

Под ячейкой понимается гомогенный объект, т.е. такой объект, который имеет одну характеристику или одно значение. Поэтому растровая модель дает информацию о том, что расположено в данном месте. Для сравнения векторная модель дает информацию о том, где расположен объект. Для каждой растровой модели используются ячейки одного выбранного размера. В ГИС в зависимости от способа задания ячеек различают два типа пространственных ячеек:

- пиксел (Pixel - Picture Element) – ячейка, представляющая собой минимальный неделимый далее элемент изображения;
- ячейка (Cell) – ячейка заданного размера в форме квадрата, прямоугольника, треугольника, шестиугольника или трапеции.

Наиболее распространенная форма ячейки - квадрат или прямоугольник. Для отображения непрерывных последовательностей реального мира используются растровые модели данных.

Растр (Raster, Tessellation) в ГИС – модель географического пространства в виде регулярной матрицы смежных ячеек, локализованных в реальном земном пространстве.

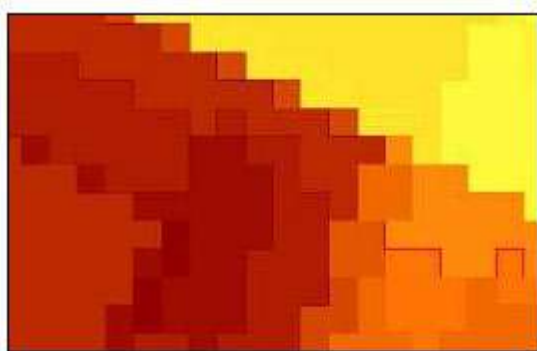


Рис. 19. Представление растра

Для хранения растровых данных о географическом пространстве используют разные форматы данных. Одним из них является формат данных ESRI, называемый грид (ESRI Grid). Растр, образованный пикселями, представляет изображение (Image).

Источники растровых данных

Источниками растровых данных являются:

1. фотоизображения (Image):

- аэрофотоснимки территории;
- космические снимки территории;
- фотографии объектов;

2. чертежи:

- топографические карты;
- планы;
- технические чертежи;
- схемы;

3. рисунки;

4. тексты:

- документы;

- таблицы.

Источники растровых данных преобразовываются в цифровой вид путем их сканирования.

Матрица ячеек.

Любая растровая модель в общем случае представляется регулярной матрицей ячеек.

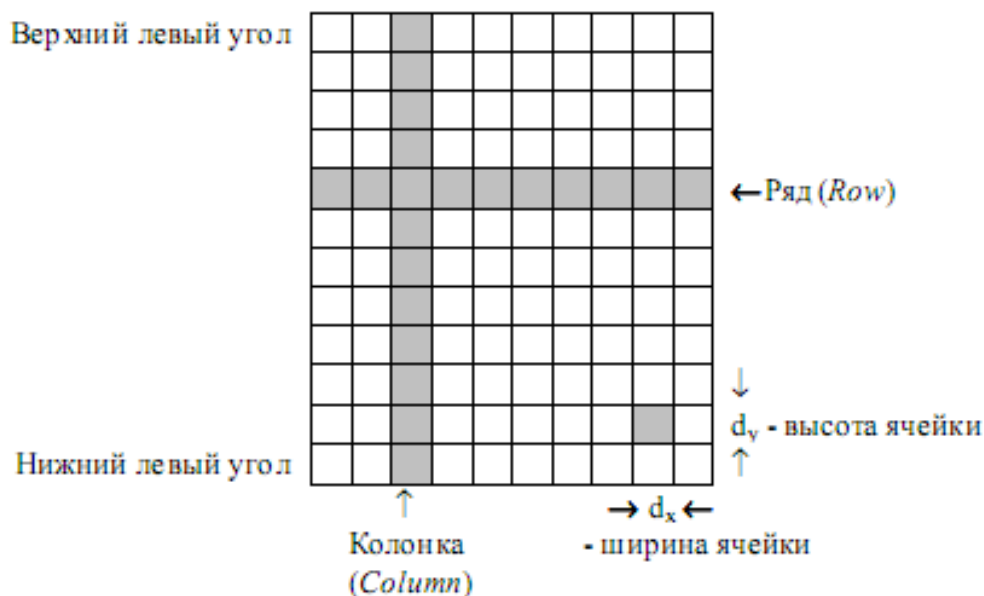


Рис. 20. Обозначение растра

Матрица ячеек имеет ряды ячеек и колонки ячеек. Положение каждой ячейки обозначается номером C колонки (Column) и номером R ряда (Row) от начала отсчета. За начало отсчета принимают или верхний левый угол или нижний левый угол матрицы.

Каждая ячейка имеет ширину dx (размер по оси X), и высоту dy (размер по оси Y). Ячейки одного растра имеют одинаковые размеры.

Представление дискретных географических объектов

В растровых моделях для представления дискретных географических объектов используются площадные объекты - ячейки растра.

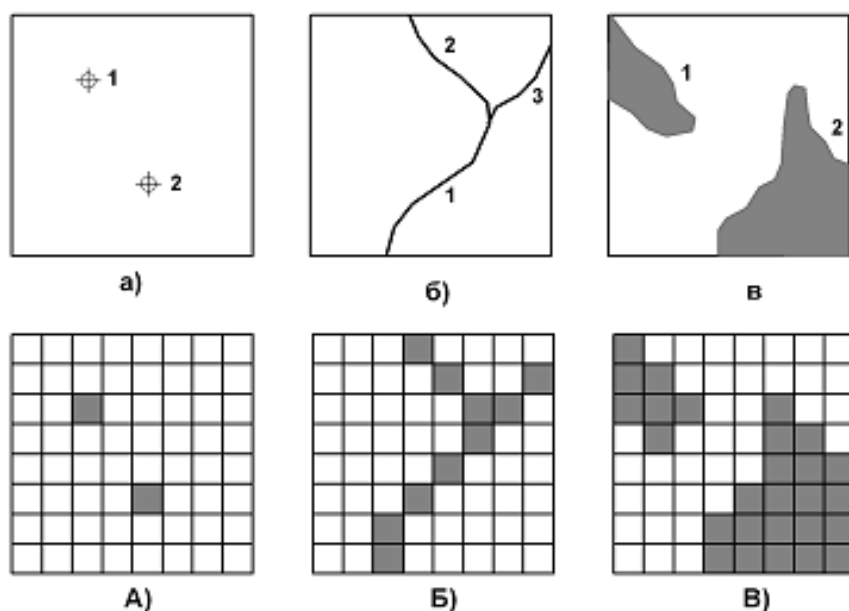


Рис. 21. Представление географических объектов
а), б), в) векторными моделями и
А) Б) В) растровыми моделями

Географические объекты отображаются ступенчатым образом. Точечные объекты представляются отдельными ячейками (рис. 21, А). Точечный 0-мерный объект, не имеющий размера, отображается двумерной структурой, имеющей ширину и длину.

Линейные объекты представляются цепочкой соединенных ячеек (рис. 21, Б). Линейные объекты, являющиеся одномерными, отображаются двумерной структурой ячеек. Области представляются набором смежных ячеек, который является двумерной структурой (рис. 21, В). Границей области есть линейный объект - полигон.

Растровая модель реального земного непрерывного пространства представляет не только отдельные географические объекты, но и ту часть пространства, в которой их нет.

Представление непрерывных явлений регулярными моделями

Непрерывные явления (поля) отображаются поверхностями. Поверхность можно определить как часть плоскости, подвергнутой непрерывным деформациям (растяжениям, сжатиям, изгибаниям), каждая точка которой представляется значениями координат X , Y , Z . Значения Z по-

верхности меняются при переходе от одного места к другому, образуя непрерывности пространственного градиента.

Если параметр Z ассоциируется с высотой, то определенная на нем поверхность будет представлять рельеф местности. В ГИС параметр Z могут представлять любые измеримые величины, такие, как стоимость, атмосферное давление, плотность населения, температура и так далее. Определенные на них поверхности будут соответственно поверхностями стоимости, давления, плотности населения, температуры и т.д. В тех случаях, когда значение Z можно трактовать как статистическое представление величины рассматриваемых явлений и объектов, образованную на таких величинах поверхность называют "статистической поверхностью". В ГИС для моделирования поверхности используют регулярные модели (растровые и сеточные) и нерегулярные модели (триангуляционные модели).

Растровое представление поверхности

Растры представляют поверхности в виде регулярной матрицы двумерных ячеек со значением Z . Каждая ячейка хранит свое значение Z . Трехмерная растровая модель поверхности представляет собой совокупность смежных блоков. Значения Z отображаются соответствующим цветом (Рис.).

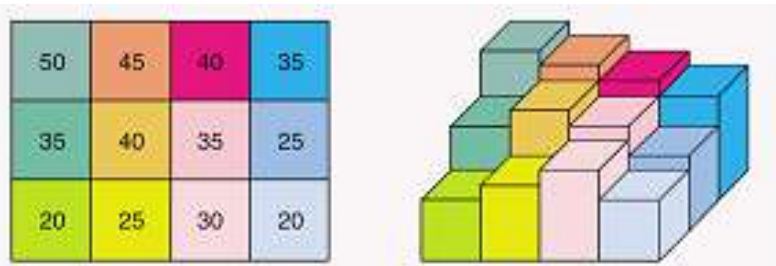


Рис.22. 2D и 3D растровое представление поверхности.

Преимущества растрового представления поверхности: 1) это простая модель; 2) применение в приложениях, где точность местоположений не имеет преимущественного значения и не требуется точного представления пространственных объектов поверхности.

Недостатки растрового представления поверхности: 1) регулярная структура не приспособлена к изменениям сложного рельефа; 2) разрывы непрерывности передаются недостаточно хорошо; 3) точные местоположения точек вершин, дна теряются.

Сеточное представление поверхности

С растровым представлением поверхности связано сеточное представление поверхности. Каждую ячейку растра идентифицируют местоположением и значением Z . Для определенных типов данных значение ячейки

представляет собой измеренное значение в центральной точке ячейки. Для сеточного представления поверхности базовой структурой является сетка, образованная параллельными и взаимно перпендикулярными линиями, проходящими через центральные точки ячеек раstra. В ГИС для отображения поверхности на основании такой сетки используются две основные модели – грид и латтис.

Грид (Grid) – модель в виде коллекции центральных точек ячеек со значениями Z , расположенных регулярно через горизонтальные интервалы (в отличие от формата ESRI Grid). Грид передает форму поверхности точками в трехмерном пространстве. Если значениями Z являются высоты местности, грид представляет собой цифровую модель высот (Digital elevation model – DEM).

50	45	42	38
41	44	41	36
26	30	37	22

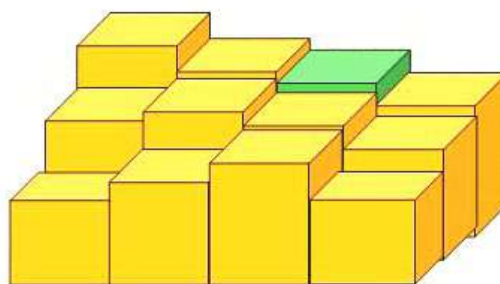


Рис. 23. Грид в 2D и 3D представлении.

Латтис (Lattice) представляет собой структуру точек и линий пространственной решетки. Латтис передает форму поверхности, используя линии пространственной решетки. Если значениями Z являются высоты местности, латтис представляет собой геометрическую модель местности (Geometric terrain model - GTM).

315	319	321	323
317	323	328	326
313	318	325	321

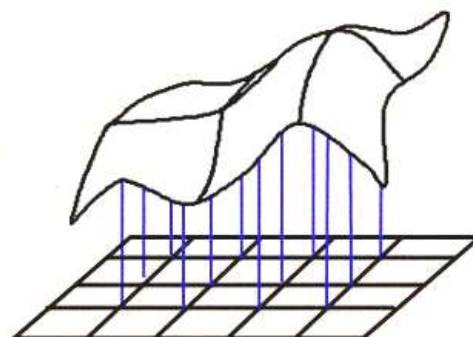


Рис.24 - Латтис в 3D представлении

В трехмерном представлении узел четырех линий передает значение Z . При этом четыре линии, связанные с этим узлом растягиваются пропорционально. Функции сглаживания линий позволяют представлять по-

верхность плавно изменяющейся формой (Рис.24). Применение латтис может обеспечить более правильную картину поверхности.

Недостатки и преимущества растровых моделей

По сравнению с векторными моделями растровые модели обладают следующими недостатками: - географические объекты характеризуются менее точной информацией о местоположении и размерах; - растры требуют больших объемов памяти.

Представление географических объектов растровыми моделями имеет следующие преимущества:

- растр отображает непрерывно охватываемую территорию;
- растровые данные проще для обработки и обеспечивают более высокое быстродействие;
- ввод растровых данных менее трудоемкий.

Характеристики растровых моделей

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

Разрешение - размер наименьшего из различимых участков пространства (поверхности), отображаемый одной ячейкой. Более высоким разрешением обладает растр с меньшим размером ячеек. Высокое разрешение подразумевает обилие деталей, множество ячеек, минимальный размер ячеек. Чем больше размер ячейки, тем большую площадь она покрывает, тем меньшее разрешение растра. Для разных задач используются разные размеры ячеек, растры разного разрешения. Например, для изучения использования земли (земли промышленности, земли многоэтажной, среднеэтажной или малоэтажной застройки, земли рекреации) могут быть использованы ячейки размером 10 x 10 м., а для отображения почв – 50 x 50 м., для управления землепользованием области 5 x 5 км.

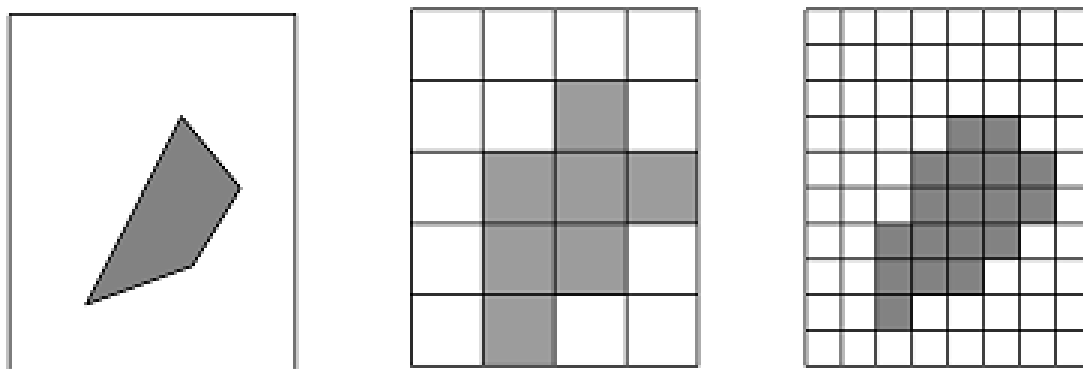


Рис.25 - Отображение географического объекта разным пространственным разрешением

При необходимости оперировать различным пространственным разрешением применяются системы вложенных друг в друга территориальных ячеек.

В общем случае разрешение выражают в следующих единицах:

- ppi (pixel per inch) - пиксел на дюйм,
- dpi (dot per inch) - точек на дюйм,
- lpi (line per inch) - линий на дюйм.

Геометрия растров. Форма, размер, количество ячеек растра

Растр имеет прямоугольную форму. Каждая ячейка имеет прямоугольную форму и размеры: ширину dx и высоту dy . Растр образован ячейками из n рядов и m колонок. Общее количество ячеек растра будет $n*m$. Растр имеет $n*m$ центральных точек, $(n+1)*(m+1)$ точек углов. Это различие между количеством центральных точек и количеством углов часто игнорируется, и о растре просто думают как множество ячеек.

Растровые ряды и колонки ориентированы по осям координат растра.

Ориентирование растра

Ориентирование определяется углом A поворота растра относительно выбранной системы координат в реальном земном пространстве - геодезической системы координат.

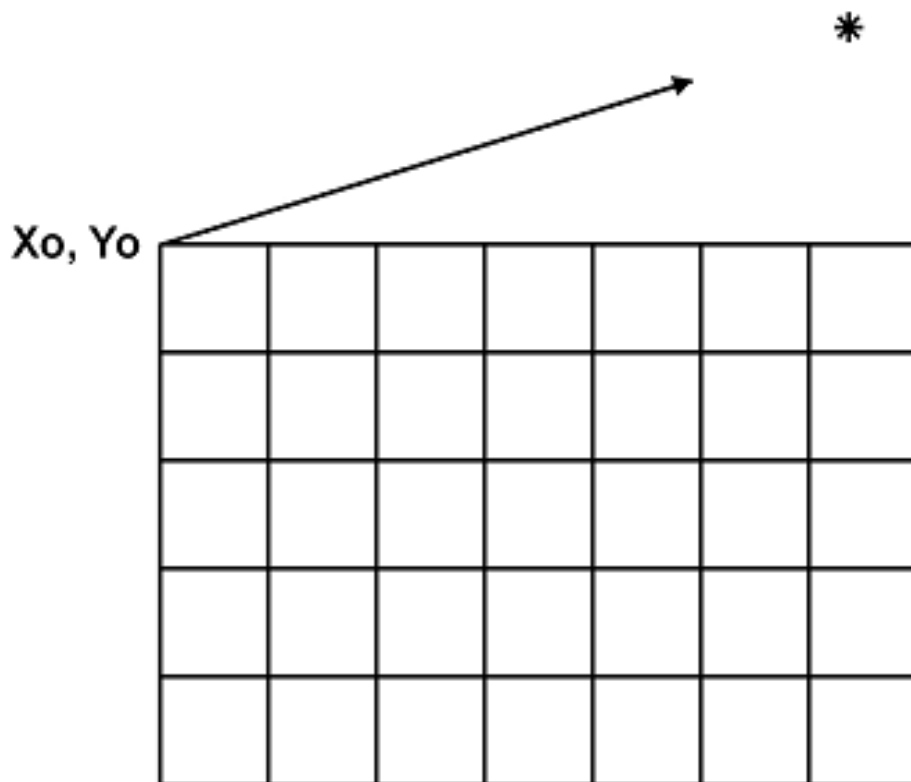


Рис. 26. Ориентирование растра.

Координаты ячеек. Система координат растра

В системе координат растра для каждого растра вводится:

- или левая система координат, если за начало отсчета принимают верхний левый угол
- или правая система координат, если за начало отсчета принимают нижний левый угол матрицы.

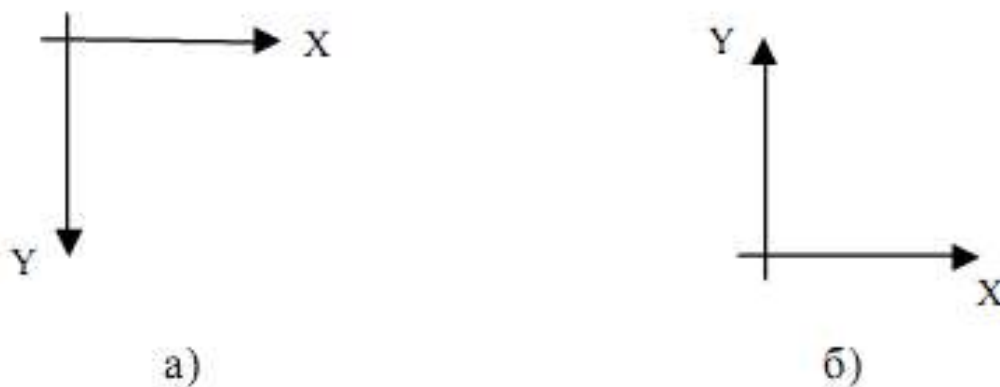


Рис. 27. Система координат а) левая, б) правая.

Значение ячеек растра

Каждая ячейка растра описывается тремя параметрами:

- 1) номер C колонки (Column),
- 2) номер R ряда (Row),
- 3) значение V ячейки (Value).

Эти параметры образуют позиционную и содержательную часть.

Позиционная часть представляется номером строки и номером столбца.

Содержательная часть представляется смысловым кодом - значением, с которым может быть связан неограниченный набор атрибутов.

Значение - это элемент информации, хранящийся в ячейке растра. Как правило, каждая ячейка растра или сетки (грида) должна иметь лишь одно значение. Ячейкой фиксируется элементарный объект поверхности однородного (гомогенного) свойства. В случае, когда граница двух типов покрытий может проходить через часть элемента растра, значение ячейки может быть определено как:

- среднее для всех значений в ячейке,
- преобладающее значение из всех значений в ячейке,
- значение в центре ячейки,
- значение в угле ячейки.

Кодирование значений

Информацию ячейки могут представлять целые, действительные, буквенные значения. Во многих случаях для обработки информации эти значения целесообразно представлять кодами. Кодирование – это присвоение каждой ячейки кода ее атрибутов. В ГИС применяют различные приемы кодирования информации.

0	0	1	1	1	1
0	0	0	1	1	1
0	2	2	2	1	1
2	2	2	2	1	3
3	2	3	3	3	3
3	3	3	3	3	3

Рис.28 Кодирование ячеек

Цветовые модели

В качестве примера рассмотрим кодирование цветового пространства. Значения пространственных ячеек растров, определенных по аэрокосмическим снимкам, - это цветовые характеристики раstra. Они несут богатую цветовую информативность. Цвета пространственных ячеек растров могут быть представлены в цифровом виде посредством определенной системы представления цветов. Цветовое пространство непрерывно. Любой цвет может быть получен в результате синтеза трех исходных базовых цветов.

Первичными базовыми цветами являются:

- красный (R - Red);
- зеленый (G - Green);
- синий (B - Blue);

вторичными базовыми цветами являются:

- голубой (C - Cyan);
- пурпурный (M - Magenta);
- желтый (Y - Yellow);

Таблица атрибутов раstra

Растры, которые имеют целые значения, представляются таблицей атрибутов с записями атрибутов для каждого уникального значения ячейки. В таблице атрибутов растра предопределенными полями являются Значение (Value) и Количество ячеек (Count). В таблице может быть добавлено пользовательское поле.

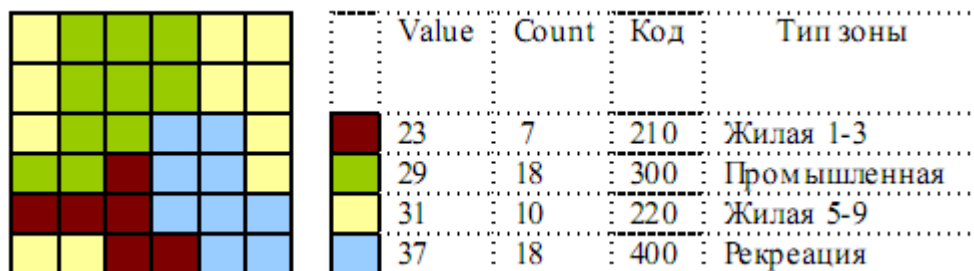


Рис. 29. Атрибуты растра

Растры с целыми значениями предоставляют возможность выполнения операций с таблицами - добавление полей, вычисления, модификация значений и др. Растры с действительными значениями такой возможности не предоставляют.

Растровые слои

По определению каждой ячейки присваивается единственное значение. Вместе эти значения создают один растровый слой. Пример содержания отдельного слоя: результат одной полосы ДЗЗ со спутника дает уровень радиации, часто зарегистрированный как число между 0 и 255 (8 битов). Классифицируемая сцена обозначает различные типы использования земли, например: 1 = застроенные земли, 2 = культивируемая земля, 3 = вода. Следует обратить внимание на то, что любой образец битов может использоваться, чтобы обозначить класс. Эти образцы битов могли бы соответствовать числам, или буквам, или знакам в схеме кодирования знаков компьютера, например * = застроенные земли, & = культивируемая земля, \$ = вода. При наличии разных наборов значений одних и тех же ячеек матрицы формируют разные растры. База данных может содержать много таких слоев. Для совместного их использования, требуется:

- пространственное совпадение каждого слоя со всеми другими слоями,
- идентичные числа рядов и колонок,
- идентичные местоположения в плане.

Форматы растровых данных

Формат (format) - это способ расположения или представления данных в памяти, базе данных, документе или на внешнем носителе. В ГИС, машинной графике и обработке изображений формат - это общее наименование способа машинной реализации представления (модели) пространственных данных или формат данных конкретной системы, программного средства, средства стандартизации, обмена данными.

Для хранения растровых данных используются многие форматы; некоторые из них представлены в табл.5

Табл. 5

Название формата	Характеристика формата
BMP (Microsoft Windows/IBM® OS/2® Bitmap)	Битовый двоичный формат растровых графических файлов, предусматривающий 4, 8 и 24 бита на точку.
TIFF (Tagged Image File Format)	Формат для создания и обмена изображениями высокого качества; поддерживает цветные (до 24 бит), черно-белые изображения и градации серого; использует разные типы сжатия данных с учетом фотометрических свойств изображения.
TIFF-LZW	TIFF-LZW ERDAS Imagine - формат сжатия растровых данных, основанный на алгоритме Lempel Ziff & Welsh, поддерживается при наличии специальной библиотеки. Коэффициент сжатия изображения, представленного в формате TIFF, составляет 1:7,7
GeoTIFF	Расширение формата TIFF для передачи изображений, имеющих пространственную привязку, включает информацию о системе координат и проекции, параметрах геометрической коррекции.

JPEG (Joint Photographic Experts Group)	Формат для сжатия изображений с коэффициентом более 25:1 с потерей качества; позволяет передавать до 16 млн. цветов (до 32 бит); распространен для изображений в Интернете.
JFIF (JPEG File Interchange Format)	Формат файлов для хранения и передачи изображений, сжатых по алгоритму JPEG.
PCX	Распространенный формат графических файлов для цветных изображений, используемый в большинстве графических редакторов. Изображение сжимается до 1:1,5.
GIF (Graphics Interchange File)	Способ сжатия графического изображения. Формат графических файлов, наиболее часто используемый в Интернете; обеспечивает сжатие данных без потерь; алгоритм сжатия LZW
ERDAS IMAGE	Файлы разработаны, используя программное обеспечение обработки изображений IMAGE. Файлы ERDAS IMAGE могут хранить непрерывные и дискретные одноканальные или многоканальные данные.
IMG (Image)	Формат сканированных с высоким разрешением изображений. Графический файл в пакете GEM. Используется во многих растровых ГИС-пакетах, например, ERDAS.

Из таблицы следует, что проблема ограниченного дискового пространства может быть решена путем использования компрессированных растров, что приведет к сокращению объемов файлов. Одним из самых эффективных алгоритмов сжатия является алгоритм Lempel-Zip-Welch (LZW), применяемый в формате GIF, LZW. Компрессия также поддерживается в форматах TIFF и IMG. При этом важно знать о возможных потерях информации.

Примером формата сжатия с потерями информации может быть JPEG; примерами форматов сжатия без потери информации могут быть GIF, TIFF. Разработаны форматы, например, MrSID, дающие большой коэффициент сжатия.

Файл геопривязки растровых данных

Файлы растровых данных в выбранном формате представляют изображение, в котором положение каждой ячейки фиксируется координатами изображения - номером ряда и номером колонки. Эти данные не содержат информацию о координатах ячеек в принятой системе координат для реального земного пространства, и поэтому их недостаточно для представления географических объектов.

Для представления географических объектов необходимо установить преобразование координат изображения в координаты реального мира. Специализированные форматы, такие как ERDAS IMAGE, BSQ, BIL, BIP, GeoTIFF, Grid хранят геопространственную информацию в заголовке файла изображения. Растровые данные, представленные в общих форматах, необходимо совместно использовать с отдельными файлами геопривязки - World файлами, которые содержат информацию о преобразовании координат изображения в координаты реального мира. Файл геопривязки имеет тоже название, что и файл изображения, но его расширение дополнено в конце буквой w (от World).

6. Векторные модели географических объектов

Базовые понятия картографического представления географических объектов

Карта - графическое представление географических объектов. Карта - наиболее общий метод, используемый для представления пространственной информации. Метод, с которым все знакомы. Однако несколько ключевых понятий картографического отображения составляют основу понимания того, как в ГИС представляется географическая информация.

Пространственная информация о географических объектах представляется на карте наборами элементарных графических примитивов - точек, линий, областей (полигонов).

Точками представляют такие географические объекты, размерами которых для конкретной цели можно пренебречь. Например, колодец подземной коммуникации, опора линии электропередачи, человек для демографического изучения ситуации, остановки городского пассажирского транспорта для изучения транспортного обслуживания.

Линиями представляют такие географические объекты, которые являются настолько узкими, что имеют длину, но не имеют площади. Например, дороги, водные потоки, инженерные коммуникации, границы.

Областями (замкнутыми внутри полигона фигурами) представляют такие географические объекты, которые имеют форму, местоположение и площадь. Например, здание, квартал, проезжая часть улицы.

Семантическая информация на картах передается условными знаками (символами и цветом) и надписями (например, название улицы, этажность дома). Несмотря на большое разнообразие используемых условных знаков и надписей, насыщение карт семантической информацией ограничено из-за отсутствия свободного места на карте для ее отображения. Чрезвычайная насыщенность условных знаков и надписей приводит к потере возможности восприятия информации с карты.

Простые векторные модели географических объектов

Вектор определяется как отрезок прямой, которому присвоено определенное положительное направление. Вектор характеризуют начало, конец, длина, направление. Вектор может быть свободным и несвободным. Операции над векторами: сложение, вычитание, умножение скалярное, умножение векторное, умножение смешанное. Векторный аппарат положен в основу создания векторных моделей географических объектов.

Простые векторные модели единичных географических объектов.

В ГИС представление географических объектов выполняется посредством отображения их геометрической формы на двумерной плоскости с использованием элементарных графических примитивов:

- точек (нуль-мерных векторов),
- линий (полилиний, образованных плоскими двумерными векторами),
- областей (форм, ограниченных полигонами - замкнутой последовательностью двумерных векторов); географические объекты, представляемые областями, называют полигональными объектами.

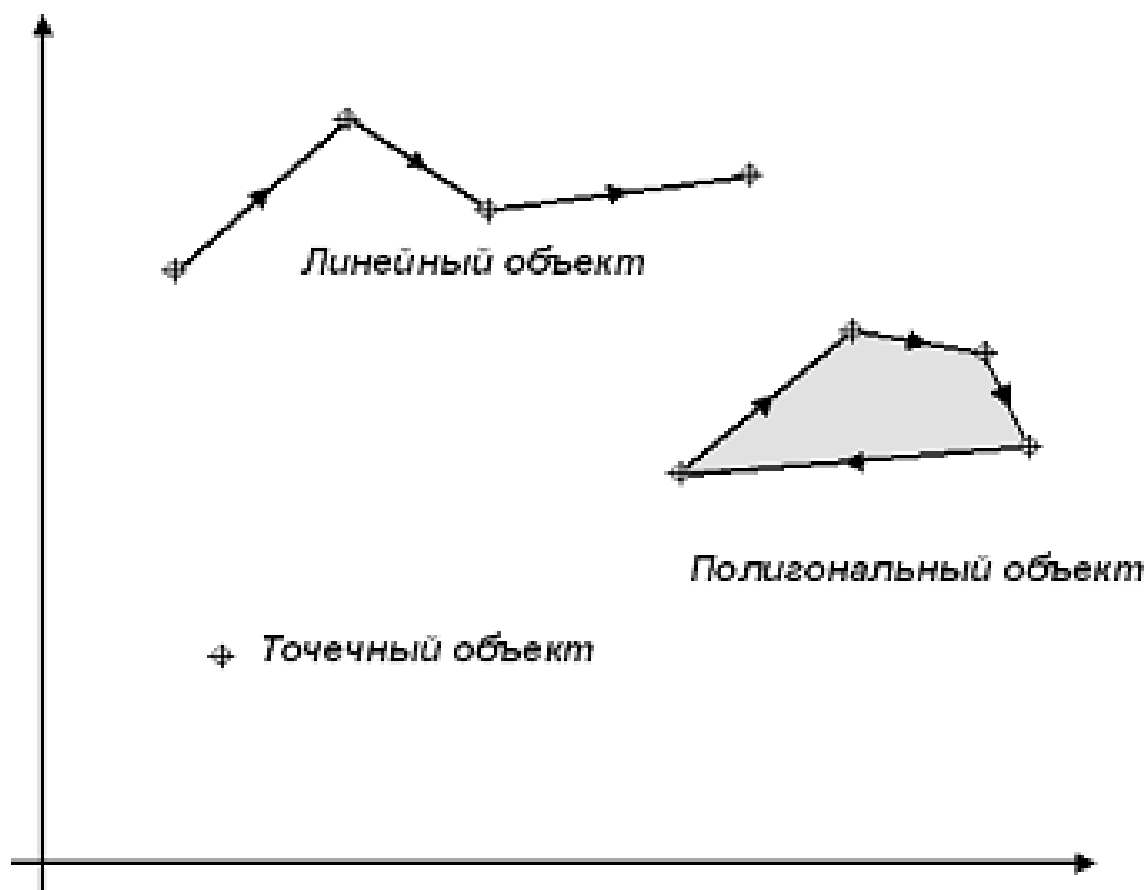


Рис. 30. Векторные модели представления единичных географических объектов

Каждое векторное образование в цифровой форме представляется координатными парами X, Y .

Точечный географический объект представляется одной координатной парой X, Y .

Линейный географический объект представляется последовательностью координатных пар $X_1, Y_1; X_2, Y_2; X_3, Y_3; \dots$ сегментов полилинии.

Полигональный географический объект представляется последовательностью координатных пар $X_1, Y_1; X_2, Y_2; X_3, Y_3; \dots; X_1, Y_1$. сегментов полигона. В этом списке совпадение первой и последней пары координат означает, что полигон замкнутый.

Простые векторные модели множества географических объектов

При наличии географических объектов числом 2 и более каждому присваивается номер.

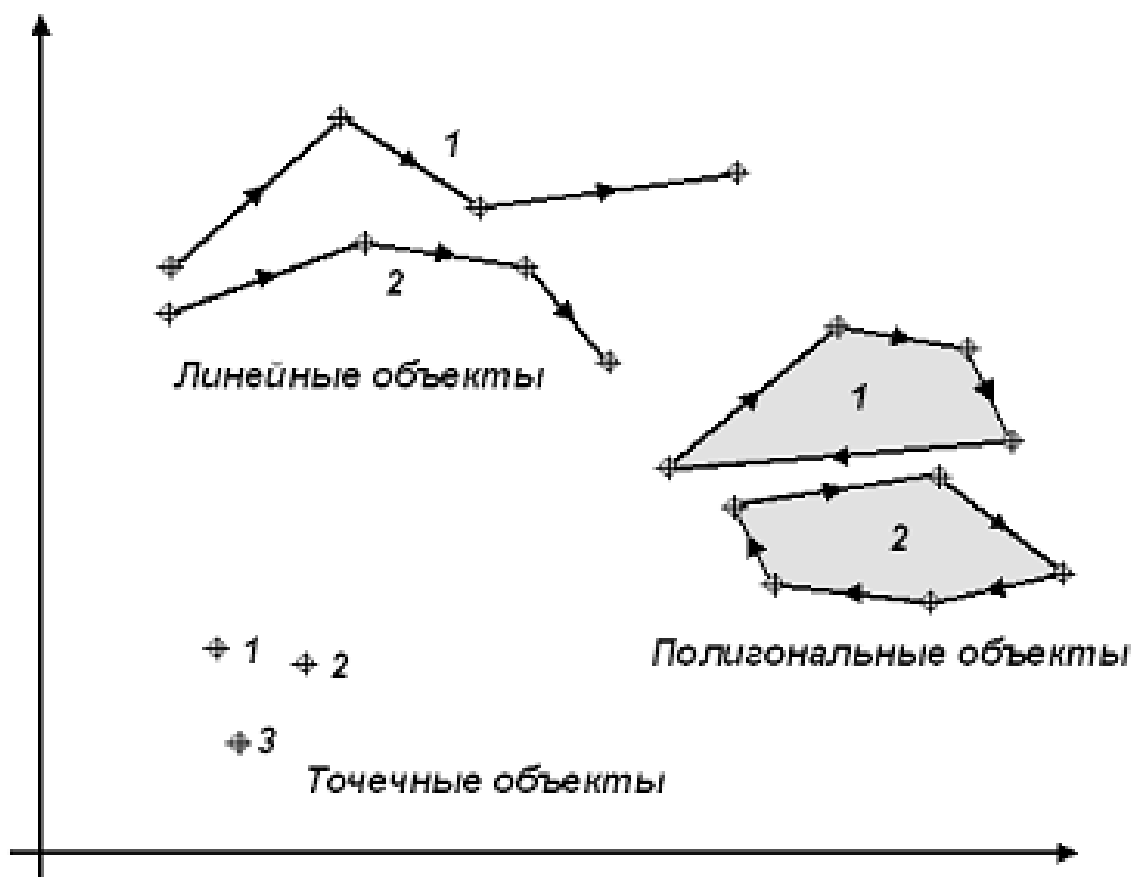


Рис. 31. Векторные модели представления множества географических объектов

В этом случае последовательностям координатных пар присваивается номер географического объекта. Каждое векторное образование в цифровой форме представляется координатными парами X, Y . Точечные географические объекты представляются таблицей координатных пар.

Табл. 6

Таблица точечных географических объектов

Номер географического объекта	Координатные пары
1	X_1, Y_1
2	X_2, Y_2
3	X_3, Y_3
4	X_4, Y_4
5	X_5, Y_5

Линейные географические объекты представляются таблицей последовательностей координатных пар.

Табл. 7

Таблица линейных географических объектов

Номер географического объекта	Координатные пары
1	$X_{11}, Y_{11}, X_{12}, Y_{12}, X_{13}, Y_{13}$
2	$X_{21}, Y_{21}, X_{22}, Y_{22}, X_{23}, Y_{23}, X_{24}, Y_{24}, X_{25}, Y_{25}$
3	$X_{31}, Y_{31}, X_{32}, Y_{32}, X_{33}, Y_{33}, X_{34}, Y_{34}$

Полигональные географические объекты представляются таблицей последовательностей координатных пар.

Табл. 8

Таблица полигональных географических объектов

Номер географического объекта	Координатные пары
1	$X_{11}, Y_{11}, X_{12}, Y_{12}, X_{13}, Y_{13}, X_{11}, Y_{11}$
2	$X_{21}, Y_{21}, X_{22}, Y_{22}, X_{23}, Y_{23}, X_{24}, Y_{24}, X_{25}, Y_{25}, X_{21}, Y_{21}$
3	$X_{31}, Y_{31}, X_{32}, Y_{32}, X_{33}, Y_{33}, X_{34}, Y_{34}, X_{31}, Y_{31}$

В ГИС для формирования векторных моделей используются такие координаты, которые представляют местоположение географических объектов в реальном земном пространстве: географические координаты на сфероиде (широта, долгота) или Декартовы координаты на плоскости (абсцисса, ордината), полученные в определенной картографической проекции.

Концептуально здесь то, что географические объекты в компьютере хранятся как файлы координатных пар, как наборы цифр, т.е. в цифровой форме. Табличные списки координатных пар есть форма представления плоских цифровых файлов.

Создание векторных файлов возможно 1) путем ввода координат клавиатурой, 2) в результате процесса оцифровки или "дигитализации" (англ. Digit - цифра), т.е. трансформирования аналоговой информации графических объектов карты в цифровой вид.

Топологические векторные модели географических объектов

Для изучения этого вопроса необходимо предварительно рассмотреть базовые понятия "Граф", "Пространственные отношения", "Топология".

Понятие "Граф"

Изложенное представление географических объектов простыми векторными моделями в виде списков координатных пар позволяет образовывать сложные объекты в виде комбинации элементарных объектов - точек, линий, полигонов. Однако представление смежных полигонов простыми векторными моделями становится не эффективным потому, что

стороны, общие для двух смежных полигонов, хранятся дважды. Более эффективный способ хранения данных основан на понятии "Граф".

Граф - есть множество элементов, связанных между собой отношениями. Геометрически граф представляется в форме векторной схемы, состоящей из вершин, узлов, ребер, дуг.

Вершина (англ. Vertex) – это объект графа. Вершины представляют точками.

Ребро (англ. Edge) – это линия, которая связывает точки (объекты графа). Ребра представляют отношения между объектами.

Дуга (англ. Arc) – это ребро с определенной ориентацией относительно ее конечных вершин.

Узел (англ. Node) – это вершина, общая для двух и большего числа дуг. В узлах сходятся дуги.

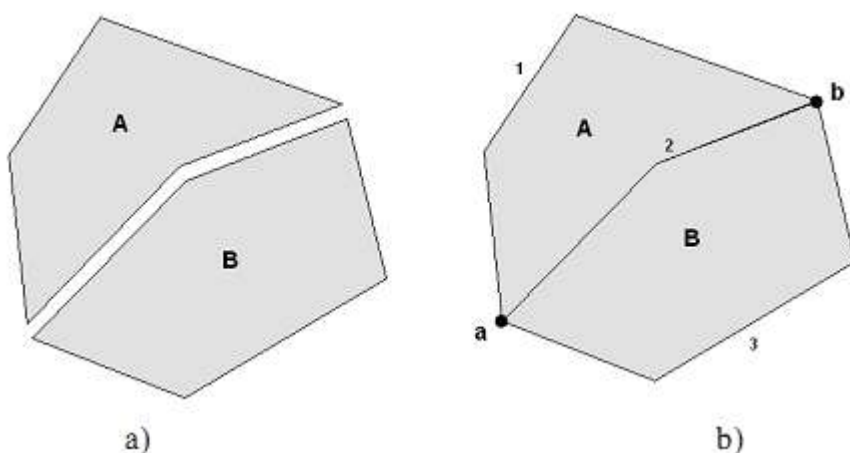


Рис. 31 а) - Простое векторное представление смежных полигонов.
б) - Отображение полигонов на основе структуры "граф"

На рисунках изображены два альтернативных метода для представления полигонов.

□ Первый метод (рис.31, а) описывает полигон как замкнутую последовательность векторов, представленную списком координат.

□ Второй метод (рис. 31, б) описывает полигон как набор дуг (1,2,3) и узлов (a,b). Полигон А определяют дуги 1,2. Полигон В определяют дуги 2,3.

В первом случае координаты точек смежных линий повторяются. Во втором случае общую границу смежных полигонов представляет дуга 2, координаты которой используются один раз при описании дуги.

Понятие "Пространственные отношения"

Пространственные отношения - это одно из фундаментальных свойств пространства. Пространственные отношения - это такие отношения, с помощью которых описывают пространственные взаимосвязи объектов. Существует большое количество видов пространственных отношений. Примеры видов пространственных отношений: находиться близко, далеко, соприкасаться, находиться внутри, вне, пересекаться, примыкать, находиться выше, ниже, левее, правее...

На определенной территории существует огромное множество пространственных отношений. О количестве пространственных отношений на карте говорит следующий факт. В 1 кв. см. карты масштаба 1:10000 при дискретизации 0,1 мм. содержится порядка 10^{70} - 10^{80} различных пространственных отношений (порядка, эквивалентности, различия, сходства...). Для сравнения, масса планеты Земля составляет 10^{23} грамм.

На картах пространственные отношения представлены неявно, скрыто. Пространственные отношения воспринимаются, оцениваются, интерпретируются тем, кто читает карту. Объем восприятия информации зависит от подготовки, квалификации субъекта. Можно оценить, например, какие объекты находятся вблизи дороги, пересекаются ли две магистрали, какие наиболее высокие места, какой кратчайший маршрут, и т.д. Пространственные отношения воспринимаются как непосредственно, так и опосредованно. В любом случае огромный объем информации, содержащийся на картах, остается невостребованным.

Понятие "Топология"

Топология - это раздел математики, изучающий идею непрерывности. Непрерывность - это одно из фундаментальных свойств категории пространства-времени. Топология изучает пространственные отношения, которые не изменяются при любых непрерывных преобразованиях пространства. Топология реализуется математической процедурой явного определения пространственных отношений.

В ГИС топология реализуется на основе оригинальной и простой идеи: различные типы пространственных отношений представляются связанными списками объектов. В ГИС реализованы три базовых топологических отношения дуг (Arc):

1. Дуги, которые соединяются в полигон, окружают область;
2. Дуги, имеющие направление, имеют правые и левые стороны.
3. Дуги соединяются в узлах;

На этой основе в ГИС формализована топологическая группа пространственных отношений, которые не изменяются при любых непрерывных преобразованиях пространства:

1. Область (Area) – определяется дугами, которые соединяются в полигон для окружения области.
2. Смежность (Contiguity) – определяется дугами, имеющими направление, и поэтому имеют правую и левую стороны.
3. Связность (Connectivity) – определяется дугами, которые соединяются в узлах.

Создание и хранение моделей географических объектов на основе пространственных отношений имеет ряд преимуществ:

- Данные хранятся более эффективно,
- Данные можно обрабатывать быстрее и большими наборами,
- Топология облегчает аналитические функции.

Топологическое представление области

Топологическое представление области рассмотрим на примере карты областей.

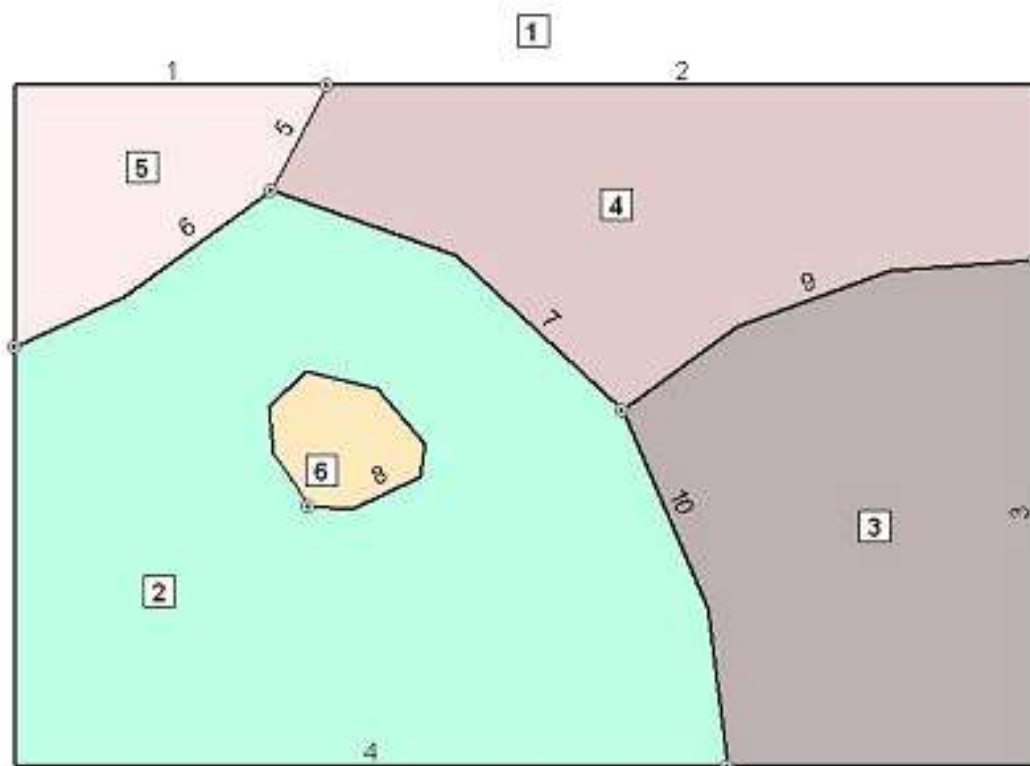


Рис. 32. Карта областей – полигональных объектов

На карте:

- полигон 1 – внешний полигон
- полигон 2 охватывают дуги 4,6,7,10,8;

- полигон 3 охватывают дуги 3,9,10;
- полигон 4 охватывают дуги 2,7,9;
- полигон 5 охватывают дуги 1,5,6;
- полигон 6 охватывает дуга 8.

В ГИС топологическое представление области реализуется списком "Полигон – Дуга" и связанным с ним списком "Координаты дуг".

"Полигон – Дуга"

Полигон	Дуга
1	1,2,3,4,0
2	4,6,7,10,0,8
3	3,9,10
4	2,7,9
5	1,5,6
6	8

"Координаты дуг"

Дуга	Координаты вершин
1	$X_{11}, Y_{11}, X_{12}, Y_{12}, X_{13}, Y_{13}$
2	$X_{13}, Y_{13}, X_{21}, Y_{21}, X_{22}, Y_{22}$
3	$X_{22}, Y_{22}, X_{31}, Y_{31}, X_{32}, Y_{32}$
4	$X_{33}, Y_{33}, X_{41}, Y_{41}, X_{11}, Y_{11}$
5	$X_{15}, Y_{15}, \dots, X_{13}, Y_{13}$
6	$X_{15}, Y_{15}, \dots, X_{11}, Y_{11}$
7	$X_{71}, Y_{71}, \dots, X_{15}, Y_{15}$
8	$X_{81}, Y_{81}, \dots, X_{88}, Y_{88}$
9	$X_{71}, Y_{71}, \dots, X_{22}, Y_{22}$
10	$X_{71}, Y_{71}, \dots, X_{32}, Y_{32}$

Рис. 33 списки областей полигон-дуга-координаты

В списке "Полигон – Дуга" полигон 2 описан дугами 4,6,7,10,0,8, где 0 перед дугой 8 указывает, что эта дуга создает остров (дыру) в полигоне 2. В списке "Полигон – Дуга" дуги могут появляться 2 раза, в списке координат дуг – один раз.

Конечными вершинами дуг являются узлы. Узел двух и большего числа дуг должен иметь в списке одни координаты.

Таким образом, топологическое описание области реализуется в цифровой форме двумя связанными списками.

Топологическое представление смежности

Топологическое представление смежности рассмотрим на примере карты дуг.

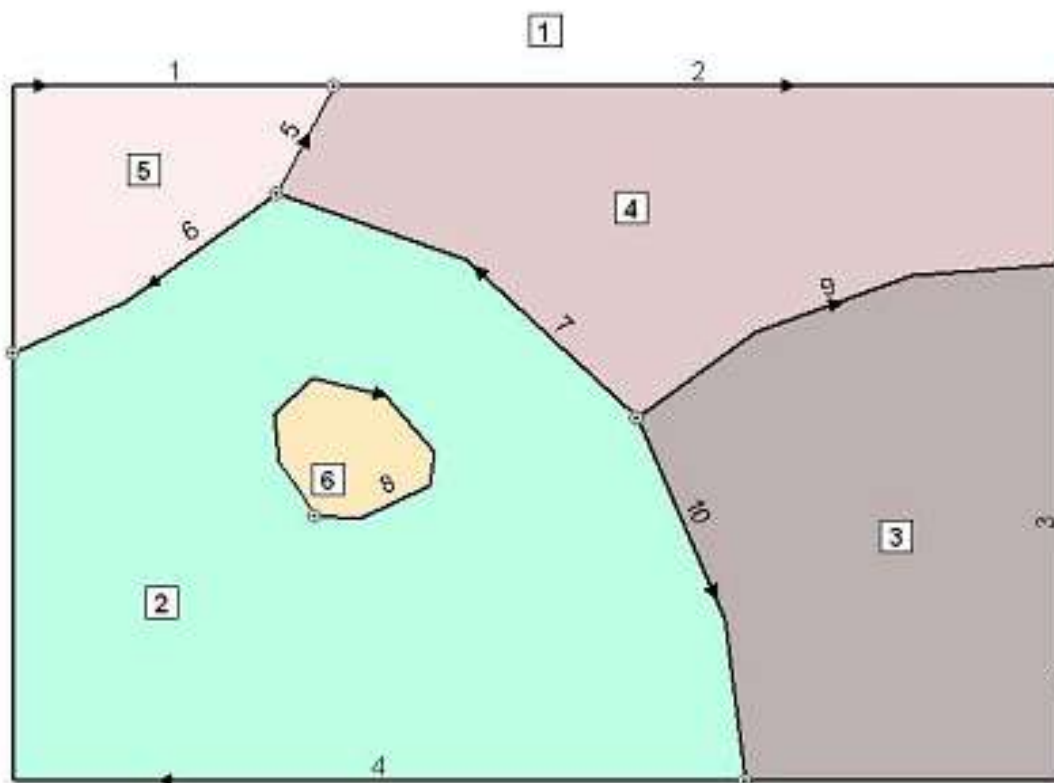


Рис. 34. Карта дуг и полигонов

На карте

- слева относительно дуги 5 находится полигон 5, а справа – полигон 4;
- слева относительно дуги 6 находится полигон 2, а справа – полигон 5;
- слева относительно дуги 1 находится полигон 1, а справа – полигон 5;
- и т.д.

Снаружи всех полигонов находится внешний полигон 1, называемый полигоном Вселенной. Он вводится для однообразного описания полигонов: каждая дуга должна иметь полигон слева и полигон справа.

Топологическое отношение смежности позволяет идентифицировать кто рядом. Например: кто соседи земельного участка? Лес смежный с озером? Любые полигоны, совместно использующие общую дугу, являются смежными. Так как дуга имеет направление от узла к узлу, можно поддерживать список полигонов с левой и с правой стороны.

В ГИС топологическое представление смежности реализуется списком "Полигон слева-справа" и связанным с ним списком "Координаты дуг".

"Полигон слева-справа"

"Координаты дуг"

Дуга	Полигон слева	Полигон справа	Дуга	Координаты вершин
1	1	5	1	$X_{11}, Y_{11}, X_{12}, Y_{12}, X_{13}, Y_{13}$
2	1	4	2	$X_{13}, Y_{13}, X_{21}, Y_{21}, X_{22}, Y_{22}$
3	1	3	3	$X_{22}, Y_{22}, X_{31}, Y_{31}, X_{32}, Y_{32}$
4	1	2	4	$X_{33}, Y_{33}, X_{41}, Y_{41}, X_{11}, Y_{11}$
5	5	4	5	$X_{15}, Y_{15}, \dots, X_{13}, Y_{13}$
6	2	5	6	$X_{15}, Y_{15}, \dots, X_{11}, Y_{11}$
7	2	4	7	$X_{71}, Y_{71}, \dots, X_{15}, Y_{15}$
8	2	6	8	$X_{81}, Y_{81}, \dots, X_{88}, Y_{88}$
9	4	3	9	$X_{71}, Y_{71}, \dots, X_{22}, Y_{22}$
10	3	2	10	$X_{71}, Y_{71}, \dots, X_{32}, Y_{32}$

Таким образом, топологическое описание смежности реализуется двумя списками в цифровой форме.

Топологическое представление связности

Топологическое представление связности рассмотрим на примере карты дуг.

Конечные точки дуги называются "узлами". Каждая дуга имеет два узла: начальный, называемый "из-узла", и конечный, называемый "к-узлу". Дуги могут соединяться только в узлах.

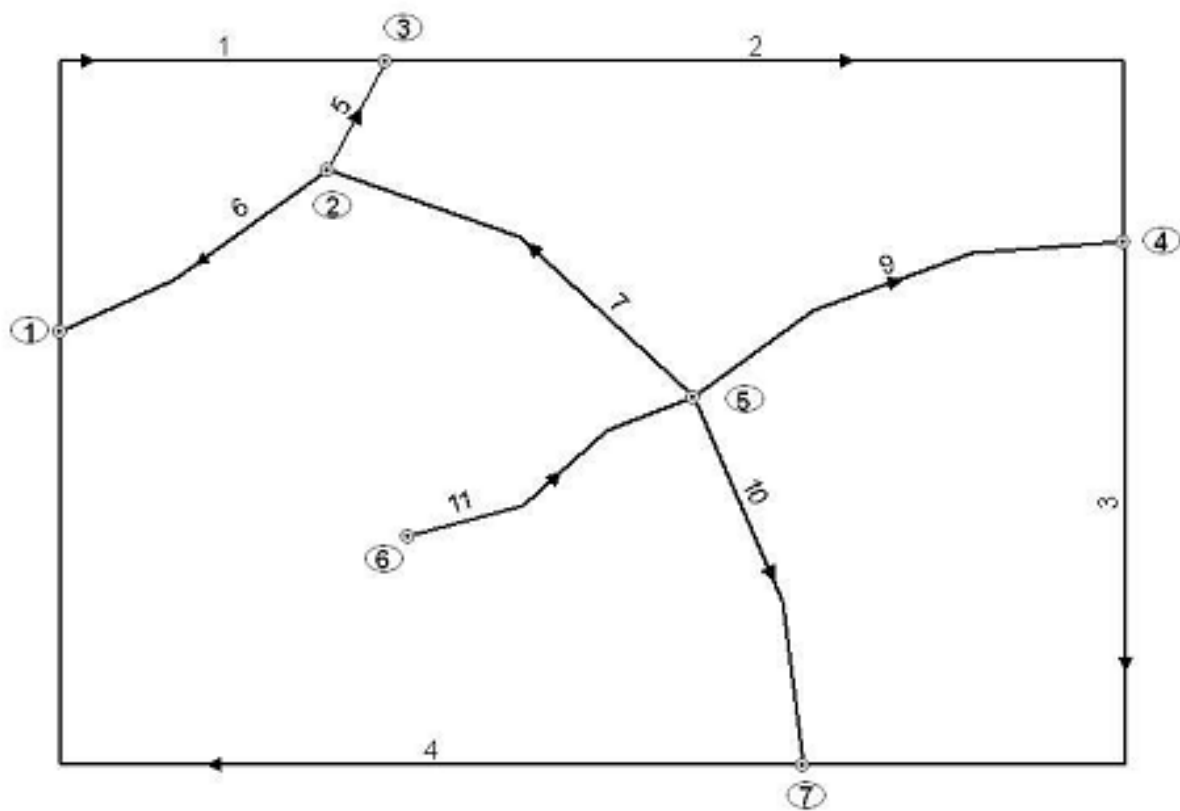


Рис. 35. Карта дуг и узлов

- дуги 7,8,9,10 соединяются в узле 5;
- дуги 5,6,7 соединяются в узле 2;
- и т.д.

В ГИС топологическое представление связности реализуется списком "Дуга-Узел" и связанным с ним списком координат дуг.

"Дуга-Узел"

Дуга	От-узла	К-узлу
1	1	3
2	3	4
3	4	7
4	7	1
5	2	3
6	2	1
7	5	2
8	8	8
9	5	4
10	5	7
11	6	5

"Координаты дуг"

Дуга	Координаты вершин
1	$X_{11}, Y_{11}, X_{12}, Y_{12}, X_{13}, Y_{13}$
2	$X_{13}, Y_{13}, X_{21}, Y_{21}, X_{22}, Y_{22}$
3	$X_{22}, Y_{22}, X_{31}, Y_{31}, X_{32}, Y_{32}$
4	$X_{33}, Y_{33}, X_{41}, Y_{41}, X_{11}, Y_{11}$
5	$X_{15}, Y_{15}, \dots, X_{13}, Y_{13}$
6	$X_{15}, Y_{15}, \dots, X_{11}, Y_{11}$
7	$X_{71}, Y_{71}, \dots, X_{15}, Y_{15}$
8	$X_{81}, Y_{81}, \dots, X_{88}, Y_{88}$
9	$X_{71}, Y_{71}, \dots, X_{22}, Y_{22}$
10	$X_{71}, Y_{71}, \dots, X_{32}, Y_{32}$
11	$X_{61}, Y_{61}, \dots, X_{71}, Y_{71}$

Таким образом, топологическое описание связности в цифровой форме реализуется 2 списками.

При прослеживании всех дуг в списке "Дуга-Узел" программа определяет, какие дуги соединяются (связаны) друг с другом.

Связность эффективна для решения транспортных задач. Например, можно проехать по дугам 6,7,10 через узлы 5,2, но нельзя переехать непосредственно с дуги 6 на дугу 10, которые не имеют общего узла.

Сравнение векторных моделей географических объектов

Существует два основных типа векторных моделей географических объектов: простые нетопологические модели (называемую моделью "spaghetti" из-за неупорядоченных векторных объектов) и топологические модели.

	Простые не топологические модели (модель "spaghetti")	Топологические модели
1	Возможны незамкнутые полигоны	Однозначное представление области
2	Возможно отсутствие связности линий	Дуги связаны через узлы
3	Неэффективное хранение данных	Эффективное хранение данных
4	Отсутствует возможность анализа данных	Возможность анализа данных

Рис. 36. Сравнение векторных моделей географических объектов

Таким образом, топологические модели обладают существенными преимуществами по сравнению с моделями "spaghetti".

Форматы векторных данных

Векторные графические форматы данных представлены на рисунке 37

Таблица 2.3.11 - Векторные графические форматы данных

Наименование формата	Описание
DXF, DWG, DGN	Форматы данных систем автоматизированного проектирования (САПР)
DX90	Формат цифровых навигационных карт
DLG	Формат данных геологической съемки США
DWF	Формат передачи графических данных по Интернету
FIM	Формат данных Роскартографии, предназначен для обмена данными
GEN	Обменный формат ГИС-пакета ARC/INFO
SHP	Формат данных ГИС-пакета Arc View (шейп-файл), описывается несколькими файлами записей с определенными расширениями: .shp — позиционные данные; .shx — индекс формы пространственных данных; .dbf — атрибутивные данные и др.
TAB	Формат ГИС-пакета MapInfo; описывается файлами с определенными расширениями: .tab — текстовое описание структуры данных таблиц; .dat — табличные данные; .map — графические объекты; .ID — список указателей (индекс) на графические объекты
MIF/MID	Обменный формат ГИС-пакета MapInfo
HPGL	Формат вывода на принтер или графопостроитель
DMF	Формат ГИС-пакета Digital

Рис. 37. Векторные графические форматы данных

Среди векторных наибольшее распространение в ГИС получил формат DXF пакета AutoCad (Autodesk Inc.), использующий для передачи графической атрибутивной информации формат DBF (dBase).

Резюме представления географических объектов векторными моделями

Обобщенная характеристика представления географических объектов векторными моделями приведена в таблице 10

Табл. 10

Представление географических объектов векторными моделями

Фокус модели	Векторные данные ориентированы на моделирование дискретных пространственных объектов с точным определением форм и границ
Источники данных	Компиляция материалов аэрофотосъемки, сбор GPS определений, оцифровка бумажных карт, оцифровка по дисплею, векторизация растровых данных, построение изолиний рельефа, обработка данных топографических съемок, импорт из САД чертежей
Хранение пространственных данных	Точки хранятся как координатные пары; Линии - как последовательность координатных пар, Полигоны – как замкнутая последовательность координатных пар
Представление пространственных объектов	Точками представляют такие географические объекты, размерами которых для конкретной цели можно пренебречь. Линиями представляют такие географические объекты, которые являются настолько узкими, что имеют длину, но не имеют ширину. Областями представляют такие географические объекты, которые имеют местоположение, форму и площадь.
Топологические отношения	Топология линий опирается на принцип, по которому линии связываются в узлах. Топология полигонов опирается на принцип, по которому полигоны находятся слева и справа от линии.

Геопространственный анализ	Топологический оверлей карт, генерирование буферов и анализ близости, растворение полигонов и оверлей, пространственные и логические запросы, адресное геокодирование, сетевой анализ.
Картографическая продукция	Векторные данные являются лучшими для вычерчивания точной формы и положения пространственных объектов. Они не совсем пригодны для непрерывных явлений или пространственных объектов с нечеткими границами.

7. Исходные данные ГИС

Сбор и предварительная обработка географических данных

Основу информационного обеспечения ГИС составляют источники пространственных данных. Информационное обеспечение ГИС остается крайне трудоемким делом. Затраты на информационное обеспечение геоинформационных проектов достигают 90% от их общей стоимости. Об объеме пространственных данных говорят следующие результаты специально проведенных исследований: до 70% всех данных, составляющих информационные ресурсы наций, регионов и ведомств, имеют пространственную привязку или могут быть координированы, получив статус пространственных.

В современном обществе геоинформация рассматривается как национальный ресурс. Она является также товаром, который создают и покупают. Геоинформация служит основой управления в тех организациях, где нужна актуальная информация, связанная с пространственными структурами. Она сочетает в себе все свойства информации и информационных продуктов в этом ее уникальность и ценность. Сбор информации решает две задачи: получение первичной геоинформации и частичное преобразование ее в геоданные.

Источники географических данных

Цифровая среда существования ГИС предполагает цифровую форму обрабатываемых данных. Существует огромный диапазон видов данных, используемых геоинформационными системами. Это отражает различные цели самих систем. Поскольку ГИС может быть использована для разнообразных приложений, например, таких как городское планирование, мар-

кетинговые исследования или археологический анализ, исходный материал может быть трудным для всесторонней инвентаризации и классификации. Даже в рамках одного ГИС-проекта ассортимент необходимых материалов может быть разным. Несмотря на то, что вид материала будет существенно отличаться от проекта к проекту. ГИС-специалисты должны знать о некоторых из наиболее доступных источниках данных, об их характеристиках и ограничениях.

Наиболее распространенные источники пространственных данных следующие:

- топографические карты и планы аналоговые;
- топографические карты и планы цифровые;
- данные топографических съемок, измерений электронными тахеометрами и приемниками глобальной системы позиционирования;
- материалы дистанционного зондирования Земли;
- базовые наборы геопространственных данных;
- интернет-источники цифровых пространственных данных;
- общегеографические и тематические карты;
- землеустроительная документация;
- градостроительная документация;

Наиболее распространенные источники семантических данных следующие:

- таблицы;
- текстовые документы.

Топографические карты и планы аналоговые

Карты - это наиболее известные модели реального мира. Карты используются тысячи лет для того, чтобы представлять информацию о реальном мире. Карты оказались чрезвычайно полезными для многих приложений в различных областях. Концепция и дизайн карт разработаны так, чтобы интерпретировать реальный мир явлений в правильные, четкие и понятные для многих представления. Картографическими источниками являются топографические, общегеографические и тематические карты.

Топографическая карта представляет собой уменьшенное и обобщенное изображение земной поверхности, созданное по единой математической основе и оформлению, передающее размещение и свойства основных природных и социально-экономических объектов местности. Топографические карты и планы, которые традиционно создавались на бумажной основе, и представляют собой аналоговые модели.

Топографические карты являются первичными данными. Топографические карты являются источником данных для производных карт, например, тематических. Недостатком карт является то, что они ограничены в двумерных статических представлениях, и что они всегда отображаются в определенном масштабе. Карта всегда является графическим представлением на определенном уровне детализации. На карте масштаб определяет пространственное разрешение графического представления. Чем меньше масштаб, тем меньше деталей карта может показать. С другой стороны, точность представления данных ограничивает диапазон соответствующих масштабов. Выбор надлежащего масштаба карты является одним из первых и наиболее важных шагов. Карты больших физических размеров должны быть разрезаны на листы для удобства пользования. Недостатком карт является также то, что они ограничены в отображении семантики объектов из-за ограниченного места на листе карты.

Для перевода аналоговых данных в цифровую форму выполняют оцифровку (цифрование - digitizing) аналоговых топографических карт. Для этого современные ГИС-пакеты имеют встроенные инструменты. Различают оцифровку а) дигитайзером, б) по дисплею (интерактивную или автоматизированную).

Процесс оцифровки дигитайзером состоит из следующих этапов: крепление к столу листа аналоговой карты и дигитайзера, калибровка дигитайзера, получение координат точек и построение цифровых моделей географических объектов.

Широко применяемый процесс оцифровки по дисплею состоит из следующих этапов: сканирование листов аналоговых топографических карт, привязка сканированного изображения к геодезической системе координат, получение координат точек и построение цифровых моделей географических объектов.

Топографические карты и планы цифровые

С появлением компьютерных систем аналоговая картография заменяется цифровой картографией. Сегодня, когда мы говорим о картографии, мы косвенно предполагаем цифровую картографию. Использование компьютеров в создании карт является неотъемлемой частью современной картографии. Роль карты изменяется соответственно. Все чаще карты теряют свою роль в качестве хранилища данных. Эта роль переходит к базам пространственных данных. Для карты остается функция визуализации.

Цифровые топографические карты создаются путем:

- 1) оцифровки аналоговых топографических карт,

- 2) обработки материалов топографических съемок, геодезических измерений электронными тахеометрами и приемниками глобальной системы позиционирования.
- 3) обработки материалов дистанционного зондирования Земли (аэрофотоснимков, космических снимков),
- 4) комбинированным способом.

Цифровые карты создаются разными техническими и программными средствами и поэтому получаются в разных форматах. Трансформация данных из одного распространенного формата в другой сегодня не является проблемной.

В ряде предприятий для цифрового картографирования используется программное обеспечение Digital/Delta с использованием материалов аэрофотосъемки.

Существующая технология цифрового картографирования ориентирована: а) на издание бумажной топографической карты, б) определенного масштаба, в) в условных обозначениях. В этой связи возникает расхождение в представлении пространственных данных цифрового картографирования с моделью данных в геоинформационной системе. Поэтому данные цифрового картографирования нуждаются в инструментах трансформации их в информационную среду геоинформационной системы.

Данные топографических съемок, измерений электронными тахеометрами и приемниками глобальной системы позиционирования

В базу данных ГИС теперь можно загружать трехмерные данные любой инструментальной съемки, измерений электронными тахеометрами, GPS-приемниками и выполнять в ней все традиционные вычисления, необходимые для корректировки этих данных и создания координатных точек с известными уровнями ошибки. Для получения наилучшего значения точки можно произвести корректировку разрозненных данных методом наименьших квадратов. Измерения координатной геометрии (COGO) могут быть также объединены с данными съемки, их можно обрабатывать одним и тем же способом. В базу данных геосъемки также можно включить координаты, полученные GPS-приемниками. Обработка данных съемки и вычисления выполняются в базе геоданных в том же координатном пространстве, что и обработка других данных.

Процесс передачи данных от полевых станций, обработки данных инструментальной съемки, последующей передачи обработанных данных в системы COGO и САПР для отрисовки и структуризации и затем передачи в

ГИС для интеграции с другими данными сегодня может быть реализован в одной базе геоданных в едином координатном пространстве.

Новая возможность, существенная с точки зрения обеспечения точности базы данных ГИС, — интеграция данных геодезической съемки с местоположением ГИС-объектов на карте. Может быть установлена привязка между координатами, полученными из данных съемки, и точками на объектах. После этого объекты можно переместить в правильное положение и в таком виде сохранить их в базе данных. Можно выбрать допуски замыкания, алгоритмы конфигурирования и пакетную обработку по уравниванию. Можно добавить целиком новые ГИС-объекты, определенные по данным геодезических измерений, а также повысить точность существующих ГИС-данных. Ошибки местоположений новых объектов могут быть представлены эллипсами погрешностей. Теперь можно провести количественное сравнение допусков относительной и абсолютной ошибки, указанных в описаниях информационных продуктов, с точностью размещения объектов.

Материалы дистанционного зондирования Земли

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) — наблюдение поверхности Земли авиационными и космическими средствами, оснащёнными различными видами съёмочной аппаратуры. Рабочий диапазон съёмочной аппаратуры составляет от долей микрометра (видимое оптическое излучение) до метров (радиоволны). Методы зондирования могут быть пассивные, то есть использующие естественное отраженное или вторичное тепловое излучение объектов на поверхности Земли, обусловленное солнечной активностью, и активные, использующие вынужденное излучение объектов, инициированное искусственным источником направленного действия.

Материалы дистанционного зондирования Земли, являются одним из основных источников данных для геоинформационных систем. Это, прежде всего материалы аэрофотосъемки и космической съемки.

Аэрофотоснимки

Аэрофотосъемка выполняется в основном для топографического картографирования территории, также применяются в геологии, в лесном и сельском хозяйстве. Современные методы обработки материалов аэрофотосъемки - цифровая фотограмметрическая обработка, позволяющая определять геометрические, количественные и другие свойства объектов на поверхности земли по фотографическим изображениям, получаемым с

помощью летательных аппаратов любых видов. В настоящее время обработка полученных изображений ведется с помощью компьютерной техники и программ для фотограмметрической обработки изображений. При этом дополнительно выполняются коррекции перспективы, дисторсии и иных оптических искажений, цветокоррекция полученных снимков.

Фотографическое изображение преобразовывается в цифровую форму путем сканирования. При этом изображение делится на определенное количество пикселей равных площадей. Каждый такой площадной объект содержит достаточную информацию в отношении цвета и плотности цвета. В цифровой фотограмметрии точность получения результатов возрастает с увеличением разрешения сканирования. Чем меньше размер пикселя, тем точнее результат.

Широко используемым продуктом цифровой обработки являются ортофотопланы. Ортофотоплан - это фотографический план местности на точной геодезической опоре, полученный путём аэрофотосъёмки с последующим преобразованием аэроснимков (из центральной проекции в ортогональную) на основе эффективного метода их дифференциального ортофототрансформирования.

Космические снимки

Сбор данных для ГИС на базе космических снимков высокого разрешения становится все более популярным благодаря увеличившемуся числу спутников и архивов данных. Космические съёмки выполняют с использованием либо фотографических, либо сканерных систем. Космическая съёмка осуществляется специальными приборами - датчиками. Датчики могут быть пассивными и активными, причем пассивные датчики улавливают отраженное или испускаемое естественное излучение, а активные способны сами излучать необходимый сигнал и фиксировать его отражение от объекта. Наряду с этим по-прежнему используются космические системы с панхроматическим фотооборудованием и многоспектральными фотокамерами, обеспечивающими высокое разрешение и геометрическую точность.

Для дистанционного зондирования Земли используются ультрафиолетовый, видимый или световой диапазон, ближний или фотографический, инфракрасный, тепловой инфракрасный и микроволновый диапазоны волн электромагнитного излучения.

Результаты дистанционных измерений, осуществляемых с помощью бортовой информационно-измерительной аппаратуры аэрокосмической

системы, представляют собой регистрацию в аналоговой или цифровой форме характеристик электромагнитного излучения, отраженного от участков земной поверхности или собственного излучения этих участков.

Для сбора геопространственных данных больше подходят объединенные данные мультиспектральных и панхроматических снимков или панхроматические снимки. Сегодня геометрическое разрешение панхроматических снимков в 4 раза выше мультиспектральных.

Виды космических материалов очень разнообразны. Особо следует отметить снимки сверхвысокого разрешения, которые пользуются повышенным спросом. С 2001 г. спутник QuickBird, QuickBird-2 (США) поставлял самые высокодетальные (61 см) изображения Земли, доступные коммерческим пользователям. В 2007 году был запущен Спутник WorldView-1, который обеспечивает большую детальность получаемых изображений Земли из космоса. Пространственное разрешение снимков – 50 см в надири и 59 см при угле отклонения в 25 градусов; точность географической привязки 6,5 м. В 2008 г. был запущен коммерческий спутник GeoEye-1 субметрового разрешения. Сенсоры GeoEye-1 совершенствует линейку современных оптических спутниковых систем по ряду параметров: сверхвысокая детальность изображений (разрешение 0,41 м в панхроматическом и 1,65 м в мультиспектральном режимах), высокая точность привязки снимков (3 м при съемке в надири), высокая производительность.

В результате этих запусков не только увеличивается разрешение получаемых данных, возрастает также точность позиционирования (по оценкам специалистов, до 4-5 м) и возможность извлечения качественных и количественных данных (за счет увеличения числа спектральных диапазонов, оптического и пространственного разрешения, уменьшения периодичности съемки). Значительно возрастает объем ежедневно получаемой информации как за счет увеличения числа аппаратов, так и в результате улучшения их технических параметров (объем бортовой памяти, скорость передачи, ширина полосы съемки).

Для сбора геопространственных данных важны разрешение снимков, радиометрическое качество, высота солнца и угол обзора. При большом угле отклонения от надира невозможно обзирать городские улицы сверху вниз, при низкой высоте солнца появляются тени, осложняющие дешифрирование улиц. Важны даже атмосферные условия. Атмосферная дымка, тени от облаков и дымка вокруг облаков снижают качество снимков. Данные ДЗЗ, полученные с космического аппарата, характеризуются большой степенью зависимости от прозрачности атмосферы. Поэтому на космиче-

ских аппаратах используется многоканальное оборудование пассивного и активного типов, регистрирующие электромагнитное излучение в различных диапазонах.

Использование данных дистанционного зондирования является наиболее эффективным методом получения пространственной информации об объектах. Данные ДЗЗ объективны, достоверны, наглядны, при этом затраты на получение информации об исследуемой местности существенно ниже стоимости проведения наземных работ.

Базовые наборы геопространственных данных

В контексте построения инфраструктуры геопространственных данных (ИГПД) установления единственной среды предусматривает создания соответствующих информационных ресурсов и их использования. Базовые наборы геопространственных данных являются существенной составляющей инфраструктуры геопространственных данных.

Базовые наборы геопространственных данных:

- 1) предназначены для использования в геоинформационной системе разной отрасли человеческой деятельности;
- 2) являются основой создания производных наборов данных, таких как слои или подтипы данных в геоинформационной системе;
- 3) имеют однозначное определение на местности;
- 4) имеют относительно длительное существование во времени;
- 5) имеют прагматичное значение.

Интернет-источники цифровых пространственных данных

Все большее количество объектов реального мира представляется готовыми моделями в цифровом формате. Значительная часть этой информации пробивает себе дорогу на рынок информации. Часть этой информации можно приобрести у поставщиков информации за деньги, другую часть информации можно получить в организациях государственного и местного управления бесплатно или за цену. Интернет является неоценимым источником поиска и получения цифровых данных. В Интернете можно найти множество пространственных и табличных данных, а также снимков. Хорошими адресами для начального поиска данных являются, например, <http://earth.google.com/>, <http://www.geographynetwork.com/data/> или <http://www.scanex.ru/ru/data/>. В сети Интернет доступ к пространственной информации предоставляют картографические и геоинформационные Web-сервисы. При определении того, стоит ли приобретать цифро-

вые данные, необходимо знать о происхождении, пространственном охвате, надежности данных, масштабе данных, разрешении, точности и формате данных, актуальности и обновляемости, условиях и стоимости получения, приобретения. Для э того следует получить метаданные (данные о данных) в форме словаря данных или отчета о качестве данных от их поставщика. Метаданные должны содержать соответствующую общую информацию о данных. Развитое программное обеспечение ГИС содержат инструменты формализованного описания метаданных.

Общегеографические и тематические карты

Общегеографические карты масштаба от 1:200000 до 1:1000000 и мельче карты содержат разнообразные сведения о рельефе, гидрографии, почвенно-растительном покрове, населенных пунктах, хозяйственных объектах, путях сообщения, линиях коммуникаций, границах.

Тематические карты создаются по определенной предметной области. Среди тематических выделяют карты природы, населения, экономики и др.

Карты природы включают карты геологического строения и ресурсов недр, геофизические, рельефа земной поверхности и дна океанов, метеорологические и климатические, гидрологические и океанографические, почвенные, геоботанические, ландшафтные, зоо-географические, медико-географические, общие физико-географические, охраны природы, экологические карты.

Карты экономики включают карты промышленности, карты сельского хозяйства, карты лесного хозяйства, карты транспорта и другие, а также комплексные атласы различной тематики

Политические, административные и исторические карты выделяют в отдельную группу.

Документация землеустройства

Документация землеустройства - э то утвержденные в установленном порядке текстовые и графические материалы, которыми регулируется использование и охрана земель государственной, коммунальной и частной собственности, а также материалы обследования и разведки земли, авторского надзора, за выполнением проектов и тому подобное. Документация землеустройства разрабатывается в виде программы, схемы, проектов, специальной тематической карты, атласов, технической документации.

К технической документации относятся кадастровые планы, индексные карты. Кадастровые планы содержат границы земельных участков

(недвижимой собственности), которые не отображаются на топографических планах. Идентификация земельных участков выполняется путем присвоения кадастровых кодов (номеров). Для уникальной идентификации земельных участков создаются индексные карты.

Управление использованием земли осуществляется системой, которая называется зонингом. Основу зонинга составляют зонинговые карты и зонинговые правила.

Градостроительная документация

Градостроительная документация - это утверждены текстовые и графические материалы, которыми регулируется планирование, застройка и другое градостроительное использование территории. Документация обязательно состоит из текстовых и графических материалов. В основу управления градостроительным развитием территории положен иерархический подход, который предусматривает разработку в определенной последовательности градостроительной документации на общегосударственном, региональном и местном уровнях.

Общегосударственный уровень градостроительной документации включает разработку Генеральной схемы планирования территории, главными заданиями которой является определение стратегии территориального развития нашего государства и ее отдельных регионов. Региональный уровень градостроительной документации решает вопрос территориального развития отдельных регионов, использует схемы планирования отдельной части территории, области и административных регионов.

Местный уровень градостроительной документации должен основываться на решениях регионального уровня. На местном уровне создаются генеральные планы конкретных населенных пунктов, схемы планирования территории сельсоветов, детальные планы застройки.

Таблицы и текстовые документы

Источниками семантических данных могут быть таблицы. Информационный продукт не всегда представляет собой карту. Он также может включать список цифр, таблицу или отчет. Таблица или список могут также составлять целый информационный продукт. Все эти элементы входят в категорию так называемых табличных данных.

Электронные таблицы, базы данных и таблицы текстовых файлов являются частью широкой категории табличных данных. Каждая таблица должна иметь название, соответствующие заголовки колонок, типичные

записи и указание на источник этих данных. Если существуют установленные форматы отчетов, обязательно определите их на данном этапе. Обычно отчеты можно автоматически конвертировать в нужные форматы.

К текстовым документам предметной или тематической информации относятся технические, экономические, статистические, социологические, демографические и другие виды данных; данные государственной статистической отчетности. Текстовая информация более повествовательного характера часто является важной составляющей информационного продукта. Текстовые файлы могут быть в формате Adobe.PDF, Microsoft Word или в формате .txt.

Характеристики данных

Географические данные имеют многие характеристики. Согласно существенными для сбора данных являются масштаб, разрешение, картографическая проекция, допуск ошибки.

Масштаб.

Масштаб данных отражает детальность (определенный объем информации) и относительную точность отображения объектов на карте. Чем больше масштаб, тем более точен и подробен набор данных. В некоторых случаях может потребоваться хранение данных в базе в нескольких масштабах. Если в базе данных представлено больше одного масштаба, это должно быть соответствующим образом документировано в метаданных. Масштаб влияет как на стоимость, так и на точность конечной базы данных. Например, число листов карты, необходимых для покрытия одной и той же области в базе данных, растет экспоненциально с увеличением масштаба. Поэтому для картирования территории в масштабе 1: 6000 требуется в 16 раз больше листов, чем картирование в масштабе 1:24000. С ростом числа листов и детальности, необходимых для определенного приложения, растет и стоимость работ.

Разрешение

Пространственное разрешение определяется как размер самых мелких элементов, поддающихся нанесению на карту или выборке в данном масштабе. Разрешение карты напрямую связано с ее масштабом. По мере уменьшения масштаба карты разрешение уменьшается; границы элементов должны быть сглажены, упрощены или просто не должны быть отображены. Существуют минимальные размеры полигона и длина линии, которые можно отобразить в данном масштабе. Элементы с более низкими

разрешениями сливаются с окружающими данными, преобразуются в точку или удаляются. Данные должны иметь минимально достаточное разрешение, чтобы на их основе можно было создавать информационные продукты. Например, данные о земельных участках в городе должны иметь высокое разрешение, а Web-приложение, отображающее транспортные маршруты между штатами, должно быть мелкомасштабным. Разрешение также влияет на ошибку данных.

Картографическая проекция

Картографическая проекция преобразует трехмерную поверхность Земли в плоскую двумерную поверхность. Этот процесс создает картографические искажения, относящиеся к расстоянию, площади, форме геометрической фигуры или направлению. В результате, все плоские карты имеют некоторую степень пространственного искажения. Тип используемой проекции определяет степень и тип искажения на карте. Конкретная картографическая проекция может сохранить неискаженным одно свойство за счет других или, в качестве компромисса, отобразить несколько свойств с уменьшенной точностью. Необходимо знать искажение, которое нанесет наименьший ущерб качеству вашей базы данных.

Даты (Datum) - важный аспект, связанный с проекцией. Даты - это набор базовых параметров и контрольных точек, используемых для точного задания трехмерной формы Земли. Даты задают начало отсчета и ориентацию для линий широты и долготы. Даты дают базовую ссылку для определения местоположений на поверхности Земли. Для эффективного использования пространственных данных, полученных с карты, нужно знать проекцию этой карты и даты. Степень искажения данных, которую вы получите от картографической проекции, связана с масштабом. Чем больше географическая область, покрываемая картой (чем меньше масштаб), тем большее искажение от проекции вы получите.

Допуск ошибки

Допуск ошибки определяет, какой размер ошибки допустим, а какой - недопустим. Поскольку ошибка связана с разрешением и масштабом, она также напрямую привязана к стоимости: уменьшение процента ошибки стоит денег.

Существует четыре типа ошибок.

1. Ссылочная ошибка относится к ошибке в определении или привязке ссылок. Например, правильно ли указаны соответствующие названия улиц и номера домов?

2. Топологическая ошибка происходит при разрыве в необходимых связках, например, если полигоны не замкнуты или уличные сети разорваны.
3. Относительная ошибка — это ошибка в расположении двух объектов по отношению друг к другу. Например, важно знать местоположение коллектора по отношению к владению и дороге.
4. Абсолютная ошибка — это ошибка в определении реального положения какого-либо объекта в мире.

Системный подход к предварительной обработке исходных данных

Множество данных геоинформационных систем собирается с помощью разных технических средств, разных технологий и в разных условиях. Данные отражают различные характеристики и свойства. Они могут иметь различные размерности, разное количество значащих цифр, разную точность и т.д. Для того чтобы разнородные данные и модели можно было обрабатывать совместно, они должны быть предварительно упорядочены и представлены в форме, воспринимаемой единой системой данных.

Системы данных - это взаимосвязанные совокупности унифицированных, упорядоченных, организованных данных, описываемых по единым правилам. Это могут быть наборы файлов, данные в базе данных, интегрированная информационная основа ГИС.

Использование системного подхода имеет целью подготовки данных для дальнейшей интеграции их в системы данных, с помощью которых удовлетворяются потребности информационных процессов и решаемых задач. Системный подход к обработке данных требует представления исходных данных как компонентов будущих или уже существующих систем данных. Каждый вид данных в зависимости от степени или параметров соответствия системным требованиям может требовать выполнения одной или нескольких процедур обработки, или не требовать таковых. Наибольшее применение находят следующие виды процедур предварительной обработки исходных данных: первичная обработка, локализация географических объектов, оцифровка, трансформирование данных, конвертирование данных, унификация, классификация, идентификация, стратификация и другие.

Первичная обработка

При первичной обработке используются общие и специальные средства подготовки данных. Общими могут быть следующие средства подготовки данных:

Фильтрация данных. Загруженные (или предварительно обработанные) данные могут быть избыточными по количеству записей или содержанию отдельных полей с точки зрения задач пользователя. Для удаления избыточных по ряду выделенных признаков записей может быть использована процедура фильтрации данных.

Нормализация данных. Использование отдельных инструментов требует предварительной нормализации данных, то есть приведения интервалов значений отдельных множеств к интервалам с predetermined границами. Ряд продуктов имеют инструменты, которые реализуют процедуру нормализации:

- Удаление противоречий. В анализируемом наборе данных можно выделить входные и выходные поля. Значения входных полей полностью определяют значения выходных полей. Противоречия возникают, если есть группы записей, в которых значения во входных полях полностью совпадают, а в выходных - различаются.

- Удаление дубликатов. В данных могут встречаться записи с одинаковыми входными факторами и одинаковыми выходными, т.е. дубликаты. Такие данные несут избыточность. Удаление дубликатов осуществляется с помощью специальной процедуры. Разделение. Процедура разделения позволяет разделить исходный набор данных на несколько непересекающихся подмножеств. Если необходимо использовать простые принципы разделения данных, процедура разделения эффективнее, чем параллельное применение нескольких процедур.

Интерполяция. Если в столбце некоторые данные отсутствуют в силу каких-либо причин, обосновывается один из двух путей работы с данными: а) убрать из обработки все строки, которые содержат пропущенные данные, б) заполнить пропущенные данные, используя процедуру интерполяции.

Примеры специальных средств подготовки данных:

- первичная обработка данных ДЗЗ включает радиометрическую калибровку, географическую привязку, геометрическую коррекцию изображений и др.

- первичная обработка GPS данных включает сохранение данных с приемника GPS в файл журнала (Log File), фильтрацию входных данных GPS по времени, расстоянию или отклонению.

Локализация географических объектов

Установление пространственных отношений между процессами, явлениями и объектами на поверхности Земли является одной из главных задач геоинформационных систем. Эта проблема решается посредством локализации географических объектов.

Пространственной локализацией географических объектов называют процесс установления пространственных отношений между характеристиками геоданных путем соотнесения разных видов информации к одному из наиболее устойчивых ее видов. Этим видом являются координаты в общеземной или локальной системе координат. По существу, локализация в геоинформатике означает процесс привязки данных к системе координат реального земного пространства.

Оцифровка

Оцифровка (Digitizing) - синоним цифрование, дигитализация, - есть процесс представления объекта, изображения, документа, звука или сигнала (как правило, аналогового сигнала) посредством дискретного набора точек или элементов. Другими словами, это процесс перевода аналоговых данных в цифровую форму, доступную для существования в цифровой компьютерной среде. В результате оцифровки получается так называемое "цифровое изображение" объекта или "цифровая форма" сигнала. Оцифровка текстов используется для преобразования изображения текстов в цифровую форму с помощью оптического распознавания символов.

Оцифровка имеет огромное значение для вычислительного процесса. Дигитализация является основным способом представления изображений в формате, пригодном для передачи и компьютерной обработки.

Оцифровка происходит в два этапа:

- 1) Дискретизация - а) разделение на аналоговые сигналы и на регулярные интервалы времени (частоты дискретизации),
б) чтение значений сигнала в точке.
- 2) Квантование - округление до фиксированного набора чисел (например, целых).

В географических информационных системах дигитализация есть инструмент цифрового представления географических объектов в растро-

вой или векторной форме. Дигитализация является инструментом создания электронных карт из различных географических изображений или путем оцифровки традиционных бумажных аналоговых карт.

Различают следующие две технологии оцифровки бумажных карт.

- 1) оцифровка с помощью графического устройства - дигитайзера и ручного обвода объектов карты (tablet-based digitizing);
- 2) оцифровка путем сканирования оригиналов для получения растровых копий и последующей векторизации растровой картографической подложки по дисплею манипулятором "мышь" (on-screen digitizing).

Векторизацией называется также процесс конвертирования растровой графики в векторную графику с использованием программного и компьютерного обеспечения.

По степени автоматизации различают ручную (manual), полуавтоматическую (semi-automated) и автоматическую (automatic) дигитализацию. Процессы дигитализации обслуживаются программными средствами, которые называются графическими редакторами.

Трансформация данных

Трансформация данных (Data transformation) - перенесение данных с одного носителя данных на другой без существенного изменения содержащейся в них информации. Трансформация данных позволяет по заданным наперед правилам изменения структуры данных, строить из одних экземпляров объектов данных другие экземпляры. Чаще всего трансформация используется для предварительной обработки информации без построения конкретной модели.

В геоинформационных системах часто возникает необходимость решения задач:

- преобразования данных между координатными системами (преобразование сдвигом, преобразование сдвигом и поворотом, аффинное преобразование, полиномиальные преобразования, преобразование "резиновый лист")
- преобразования данных между различными форматами данных (формат данных есть внутренняя структура файла, которая позволяет использовать компьютер).

Организации во всем мире производят пространственные данные в различных форматах данных. При сборе данных эти форматы бывают двух разновидностей:

- родные форматы программного обеспечения ГИС,

- неродные (внешние) форматы программного обеспечения ГИС.

Например, для ArcGIS:

- родные форматы, такие как шейпфайлы (shapefiles), покрытия (coverages) или какие-либо элементы базы геоданных (geodatabase), такие как класс пространственных объектов (feature class) или таблицы (table);
- неродные или внешние форматы, такие как DWG/DXF, DLG, MicroStation Design, MapInfo MID/MIF, MapInfo TAB и др.

При необходимости использовать данные, хранящиеся во внешних форматах, следует использовать расширение функциональной совместимости данных, например, расширение Data Interoperability в ArcGIS. Это расширение позволяет читать и записывать данные в более чем 70 различных форматах.

Конвертирование данных

Конвертирование данных (Data conversion) - изменение формы представления данных в соответствии с определенными правилами при сохранении содержащейся в них информации. Например, полноцветные изображения могут быть преобразованы в градациях серого, преобразования текстовых файлов из одной кодировки символов в другую, конверсия метрических единиц. В ArcGIS набор инструментов Conversion toolbox содержит инструменты, которые могут конвертировать данные между различными формами. Выбор метода будет зависеть от формы и качества существующих данных, формата данных из внешних источников и установленных стандартов.

Унификация

Разнообразие технологий и методов сбора данных порождает разнообразие типов данных, которые впоследствии необходимо обрабатывать. Обрабатывать множество различных данных неудобно и неэффективно. Для упрощения процесса обработки, хранения и обмена разнородные данные приводят к структурному единому виду, который используется при последующей обработке информации. Такие данные называют унифицированными. Процедура сведения разнородных видов и структур данных к единому виду и структуре называется унификацией. В ходе унификации данных осуществляется построение единой структуры информационной модели.

Классификация

В процессе организации данных осуществляется их классификация. Она позволяет соотносить различные модели и их характеристики к разным классам, подклассам и типам, что дает возможность систематизировать исходные наборы данных и использовать свойства классов при анализе конкретных геоинформационных данных. Это одна из важнейших функций организации данных, геоданных. Таким образом, организованные данные - это классифицированные данные.

Идентификация

Идентификация - это процедура присвоения наборам данных специальных кодов - идентификаторов. Эта процедура обеспечивает взаимно однозначное соответствие между данными и идентификаторами, исключает повторение одинаковых идентификаторов, то есть обеспечивает непротиворечивость моделей и их характеристик.

Стратификация

В ГИС один из общепринятых принципов организации пространственной информации называют послойным принципом. Суть его состоит в том, что данные о территории организуются в виде набора тематических слоев, отвечающих конкретным потребностям и содержащих небольшое число типов однородных данных, объединяемых общей тематикой. Например, слой почв, слой гидрографической сети, слой транспортной сети, слой зданий, слой инженерных сетей и так далее.

Стратификация - это создание слоев, которые могут иметь несколько значений в разных областях применения. Стратификация данных в ГИС - это процедура, которая разбивает систему данных на страты или слои, удобные для обработки и анализа. Стратификация - это не просто организация данных, а создание инструмента анализа и обобщения данных на разных территориальных уровнях. Это процесс задания некой структуры для эффективной работы геоинформационной системы.

Пространственные объекты характерны тем, что имеют графическую форму представления. Графическая форма представления пространственных объектов должна решать две задачи:

- показывать взаимное расположение объектов и связи между ними (топология);
- давать возможность количественной оценки геометрических характеристик объектов и их положения в выбранной системе координат (метрика).

Графическая форма представления пространственных объектов является в то же время основой для стратификации данных.

8. Общая характеристика геопространственного анализа

Определение геопространственного анализа

Геопространственный анализ - это процесс поиска пространственных закономерностей в распределении географических данных и взаимосвязей между объектами. В результате анализа географической информации получается качественно новая информация и выявляются прежде неизвестные закономерности.

Мишель Ф. Гудчайлд в предисловии к книге Энди Митчелла пишет, что процесс пространственного анализа напоминает растяжение резиновой ленты, когда длинная и тяжелая работа по цифровке элементов карт, формированию баз данных, выявлению ошибок и трансформированию информации в разнообразные системы координат, в конце концов, вознаграждает эффективным результатом или находкой оптимального решения.

Областью геопространственного анализа является поверхность Земли, оболочка над ней при анализе топографии и атмосферы, оболочка под ней при анализе грунтовых вод и геологии. Масштаб сущностей простирается от небольших объектов (например, записи археологов о местах кусочков керамических изделий размером в несколько сантиметров или границ собственности, измеренных до миллиметра) до глобальных (например, анализ температуры поверхности моря и глобального потепления). Анализ простирается в прошедшее время (в исторические исследования миграции населения, в изучение структуры в археологических местонахождениях или в детальное картирование движения континентов) и в будущее (в попытках предсказать направления ураганов, таяния льдов или рост городских районов). Методы пространственного анализа работают в ряде пространственных и временных масштабов.

В конечном счете, геопространственный анализ имеет отношение к проблеме "что" происходит "где". Геопространственный анализ использует географическую информацию, которая является базовой информацией для построения на ней структур и аргументов, которая обеспечивают богатство пространственного анализа. В принципе нет никаких ограничений на сложность пространственных аналитических методов, которые, возможно, нашли применение в мире, и могут быть использованы для стимулирования интересных идей и поддержки практических действий и решений. В действительности, некоторые методы могут быть более простыми, более полезными и более глубокими, чем другие.

Пространственный анализ существует на стыке между человеком и компьютером. Оба в нем играют важную роль - с одной стороны, путь человеческой интуиции со всей его расплывчатостью и неформальностью, и с другой стороны, путь формального, точного пространственного анализа мира.

Задачи геопространственного анализа

Преимущество геоинформационной методологии состоит в том, что ГИС позволяет идентифицировать, поддерживать и управлять пространственными связями между топологическими объектами, представляющими объекты реального мира, создавать новые объекты, связи, связывать новые атрибуты.

Энди Митчелл в руководстве по ГИС-анализу определяет наиболее общие задачи геопространственного анализа, ежедневно выполняемые людьми на их рабочих местах:

а) анализ местоположения объектов - поиск, где размещаются объекты (Mapping where things are);

б) анализ распределения числовых показателей - выявление, где больше, где меньше (Mapping the most and least);

в) построение карт плотности - картографирование плотности (Mapping density);

г) поиск объектов внутри области - поиск того, что внутри (Finding what's inside);

д) анализ окружения - поиск того, что рядом (Finding what's nearby);

е) анализ пространственных изменений - картографирование изменений (Mapping change)

Решение этих вопросов с помощью собственных средств ГИС и привлеченных внешних моделирующих систем дает, например, возможность:

- обосновать местоположение учебного заведения или бизнес-центра с учетом многих, в т.ч. и пространственных факторов;
- прогнозировать развитие и следствия социологических и экономических ситуаций, стихийных бедствий и аварий естественного техногенного характера в пространстве и времени;
- найти оптимальную трассу трубопровода или путепровода, который проектируется;
- определить место оптимального расположения нового месторождения, а также вычислить его экономическую эффективность;

- оценить эффективность деятельности милиции, служб охраны окружающей среды, пожарников и т.п.;

Методология геопространственного анализа

Одним из средств пространственного анализа является картографическое моделирование. Картографическое моделирование - это общая, и в то же время четкая методология, которая используется многими приложениями ГИС. Этим термином определяется то, что картографическое моделирование включает модели геопространственной информации, представленные в картографической форме, то есть, как карты.

Картографическое моделирование используется для одновременного анализа пространственных и тематических характеристик геопространственной информации. Тематический компонент геопространственной информации анализируется посредством статистических операций с данными (например, получение среднего значения и среднего квадратического отклонения), а пространственные характеристики геопространственной информации получают методами пространственного анализа.

Аналитические методы могут быть как простыми - при обычном создании карты, так и более сложными, включающими модели, которые имитируют реальный мир путем объединения многих слоев информации. В большинстве случаев геопространственный анализ выполняется в следующей последовательности:

Этап 1. Постановка проблемы

Формулирование проблемы всегда начинается с определения цели анализа в виде вопросов, на которые необходимо получить ответы, например:

- где произошло более всего краж со взломом в прошлом месяце?
- сколько леса растет в пределах каждого бассейна водосбора?
- какая степень риска строительства в обозначенном месте поймы реки?

Специфика проблемы чаще всего определяет и выбор типа анализа; и метод, наиболее эффективный в данном случае; и способ интерпретации результатов. От характера проблемы зависит также необходимая детальность решения, которая в свою очередь определяет затраты на получение данных, приобретение или аренду необходимых программных средств и вычислительных мощностей. Именно на этом этапе формируется соответствие между масштабом возникшей проблемы и средствами, необходимыми для ее решения.

Важным фактором, который в значительной мере определяет детальность исследования и метод решения данной проблемы, есть представления о назначении результатов анализа. В одном случае надо провести предварительные исследования, чтобы оценить правомерность избранного метода или выделить значимые факторы, в другом - предоставить результаты в отчете на ученом совете. В последнем случае методы должны быть более строгими, а результаты - более обоснованными. На этом этапе определяются также критерии, которые определяют параметры использования базы геоданных для получения ответов.

Например, земельный участок для строительства должен иметь градиент не более 10%.

Этап 2. Оценка исходных данных

Тип данных и объектов, доступных для проведения данного исследования, в значительной мере определяет специфику метода, который будет использован, и достижимую точность результата. С другой стороны, чтобы получить качественную информацию, нужно обеспечить соответствующий уровень исходных данных. Нужно четко представлять, какой информацией вы располагаете, и что еще нужно получить или создать. Создание новых данных, в свою очередь, может послужить причиной появления новых атрибутов в таблице данных или даже новых слоев карт. На этом этапе может возникнуть необходимость подготовки данных для пространственных операций, в том числе, изменения данных, преобразования единиц измерения и системы координат, добавления данных, конвертирования данных из одного формата в другой.

Оценка исходных данных - важнейший этап аналитического процесса. Именно в этот момент определяется принципиальная возможность реализации избранных методов анализа и получения результата заявленного качества.

Этап 3. Выбор метода анализа

Почти всегда есть несколько путей получения необходимой информации. При выборе пути следует опираться на следующие положения.

Во-первых, при выборе метода всегда возникает дилемма: оперативность или точность анализа. Оперативность анализа возникает, когда требуется быстро оценить ситуацию в целом и принять решение. При этом пользуются простыми, хорошо проверенными методами, которые не нуждаются в существенных затратах на получение детальной и всесторонней исходной информации о состоянии объекта. Полученный результат будет иметь невысокую точность и отображать только общие характеристики

процесса, который изучается. Точность анализа требуется для получения достоверной и полной исходной информации. Точность анализа требует увеличения затрат времени и усилий на обработку данных.

Во-вторых, метод анализа определяется моделью имеющихся данных. Векторные данные являются наиболее удобными, когда необходимо сохранять точное местоположение исходного объекта, работать с дискретными объектами, границами или моделировать линейную сеть. Растровые данные целесообразно использовать для анализа непрерывных явлений. Триангуляционные данные целесообразно использовать для анализа поверхностей. Современные ГИС позволяют интегрировать в процессе анализа эти типы данных. В случае необходимости преобразования можно конвертировать растровые данные в векторные и, наоборот.

В-третьих, в зависимости от выбранных моделей данных выбираются и средства их обработки. Современные ГИС имеют большое количество аналитических средств пространственных и атрибутивных данных. Пространственный анализ определенного набора данных может включать операции, например, извлечения объектов, построения буферных зон, наложения буферных зон на другие слои, работу с объектами, попавшими в буферные зоны, и другие операции. Набор средств анализа определяется при интерпретации критериев анализа, выделенных на этапе 1. Каждое утверждение в постановке проблемы может транслироваться в ряд операций анализа.

Этап 4. Обработка данных

Как только выбран метод, необходимо выстроить цепочку его реализации средствами ГИС. Каждая пространственная операция приводит к новой информации. В большинстве случаев анализа требуется набор операций с множеством слоев. При работе с векторными наборами данных они выполняются ступенчатым образом – два входных слоя используются для формирования нового слоя, этот промежуточный слой обрабатывается совместно с третьим слоем, чтобы формировать другой промежуточный слой, и так далее до достижения желательного результирующего слоя карты. При работе с растровыми наборами данных есть возможность одновременной обработки нескольких слоев, алгоритм которой реализуется в растровом калькуляторе (Raster Calculator).

Наличие модуля строителя моделей процессов (Model Builder) в ArcGIS9.x позволяет аналитику автоматизировать выполнение алгоритма модели без услуг программиста.

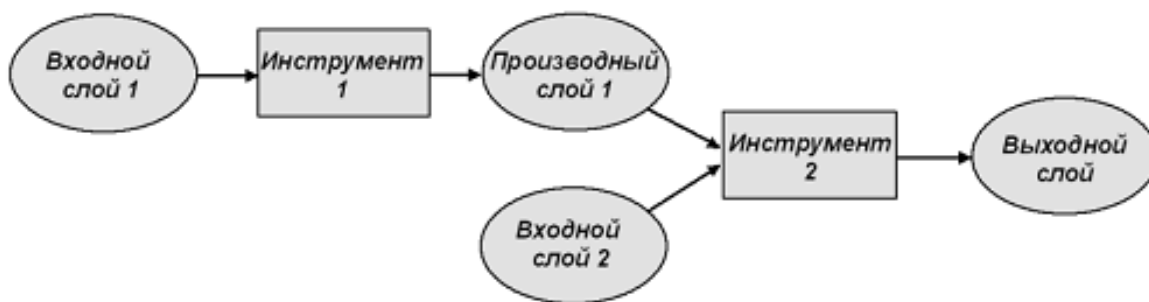


Рис. 38 - Пример диаграммы процесса анализа в построителе моделей ModelBuilder

Несмотря на довольно большой перечень методов и подходов, которые применяются в современном ГИС-анализе и моделировании, практически всегда с их помощью получаем ответы на два главных вопроса:

1. Где расположенные объекты с заданными свойствами?
2. Почему исследуемые объекты размещены именно в этом месте и в настоящее время?

Этап 5. Оценка и отображение результатов

В процессе оценки результатов выполняется интерпретация результатов, определяется объективность и достаточность полученной информации. Если необходимо, то принимается решение о повторении анализа с другими параметрами, или уточнение анализа, или применение другого метода. ГИС позволяет сравнительно легко и оперативно сделать необходимые изменения и получить новый результат. Можно также оперативно сравнить результаты разных анализов и увидеть, который из подходов оказался лучшим.

Результаты анализа могут быть представлены в виде карты, диаграммы, значений в таблице - фактически новой информации. Необходимо решить, какую информацию выносить на карту, как группировать значения для наилучшего отображения данных. Эта методология использует как векторные, так и растровые модели реального земного пространства.

Классификации аналитических средств ГИС

Геоинформационные системы содержат богатый набор разнообразных аналитических средств для проведения операций с географическими объектами. Существует ряд подходов для классификации аналитических средств ГИС. Отсутствие единой их классификации порождает разные трактования и взгляды на суть аналитического процесса вообще.

В ряде фундаментальных работ получила распространение классификация базовых аналитических средств на основе выполняемых функций,

предложенная Стеном Ароноффом (Stan Aronoff). Согласно этой классификации базовые аналитические средства сгруппированы в 4 обширные категории:

1. Функции измерений, выбора данных, классификации;
2. Оверлейные функции;
3. Функции окрестности;
4. Функции связности.

Некоторые функции, не вошедшие в эту классификацию, являются специальными функциями геопроессинга. Следует также иметь в виду, что во многих случаях процесс анализа выполняется посредством использования набора как аналитических, так и специальных операций.

Функции измерений

Функции измерения (Measurement functions), как и выбора данных и классификации, позволяют анализировать данные без выполнения существенных изменений. Они часто используются в начале анализа. Функции геометрических измерений включают вычисления местоположения, длин линий, расстояний между двумя объектами и площади отдельных объектов.

Измерения векторных данных:

1) Определение местоположения

Свойство "местоположение" пространственных объектов описывается координатами, которые всегда хранятся в базе данных в виде списка координатных пар. В ГИС используются разные инструменты получения координат, в том числе внешне простейшее средство - курсором. Для некоторых аналитических задач представляет интерес определение координат особых точек.

Определение координат точки пересечения двух прямых

Операция нахождения точки пересечения линий является одной из базовых в ГИС-анализе, так как она используется в ряде операций геопроессинга и в оверлейных операциях.

Исходным является уравнение прямой, известное из аналитической геометрии:

$$y = kx + b$$

где:

b – отрезок, отсекаемый прямой на оси OY ;

k – угловой коэффициент прямой $k = \operatorname{tg} \beta$;

β – угол между положительным направлением оси ОХ и прямой.

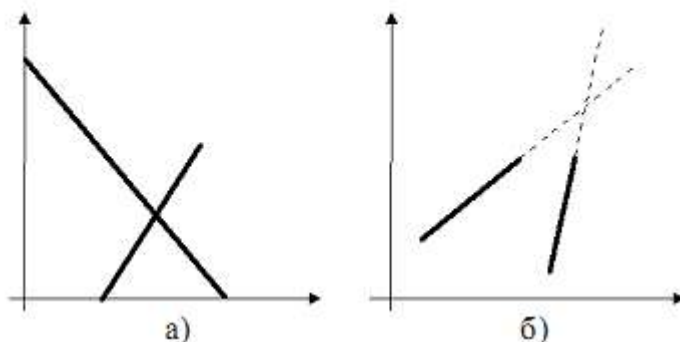


Рис. 39. Точка пересечения: а) внутри отрезков прямых; б) снаружи отрезков прямых.

Две линии задаются уравнениями

$$y_1 = k_1 x + b_1$$

$$y_2 = k_2 x + b_2$$

Совместное решение этих двух уравнений позволяет найти координаты точки пересечения этих двух линий:

$$x = \frac{b_1 - b_2}{k_2 - k_1}$$

$$y = \frac{k_2 b_1 - k_1 b_2}{k_2 - k_1}$$

В оверлейных операциях при определении принадлежности точки полигону учитывается специальный случай, когда одна линия параллельна выбранной оси, например, оси ОХ. В этом случае $k = 0$, а координаты точки пересечения таких двух линий будут равны:

$$x = \frac{b_1 - b_2}{k_2}$$

$$y = b_1$$

Для определения пересечения двух полилиний с n_1 и n_2 сегментами разработано несколько способов. Самым простым способом нахождения их точек пересечения является последовательная проверка пересечения каждого сегмента первой линии с каждым сегментом второй линии. Сложность этого алгоритма пропорциональна произведению $n_1 * n_2$. Она может быть уменьшена, если предварительно проверять на пересечение экстенты (Extent - минимальный ограничивающий прямоугольник) сегментов и полилиний, представленные на рис.

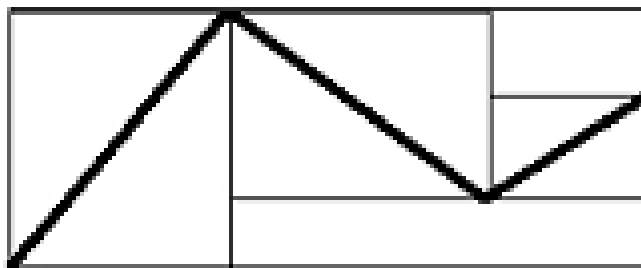


Рис. 40. Экстенты сегментов и полилинии

Второй метод, использованный в ГИС ArcInfo, основан на разбиении полилинии на секции, в которых линия монотонно возрастает или убывает по x и по y . Разбиение происходит в точках локального минимума или максимума по x или по y . Горизонтальная или вертикальная линия пересекает такую секцию только в одной точке.

Определения координат центроидов и центров

Термины центры и центроиды имеют различные значения и формулы. Центры и центроиды полигонов выполняют ряд важных функций в ГИС. Они часто используются как "идентификационные точки" полигонов. Для аналитических целей они используются в качестве объектов, которые представляют полигоны. Эффект замещения точками полигонов заключается в меньших объемах данных, а также в возможности выполнять некоторые аналитические операции. Целесообразно использовать центры полигонов, когда полигоны небольших размеров, однородные или относительно компактные. В растровых ГИС представление площадных ячеек раstra их центрами расширяет возможности геопространственного анализа непрерывных поверхностей.

Точечными объектами, которые представляют полигон, могут быть: 1) центр экстента - c_1 , 2) срединный центр - c_2 , 3) центроид - c_3 (Рис. 41).

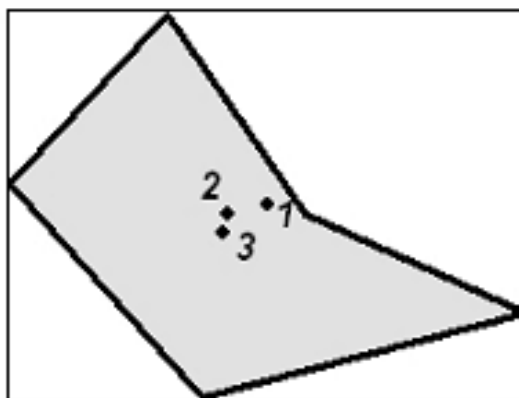


Рис. 41 1) центр экстенда - c1, 2) срединный центр - c2, 3) центроид - c3

В некоторых случаях центры и центроиды могут находиться вне полигона. ArcGIS включает функцию Features to Points, которая может создавать центры внутри полигона.

Срединный центр (Mean Centre) определяется срединной точкой или точкой симметрии геометрической фигуры. Его местоположение определяется средними координатами:

Срединный центр не есть центр притяжения. В некоторых случаях используется взвешенный срединный центр (Weighted Mean Centre), который определяется взвешенными средними координатами:

Центроид (Centroid) рассматривается как центр притяжения объекта или набора объектов. Координаты центроида получают по формулам Гаусса. В треугольнике центр притяжения находится на пересечении прямых линий, проведенных из вершин до средних точек противоположных сторон.

2) Определение длин линий

Свойство "длина" характеризует линейные пространственные объекты. Значение длины хранится в базе данных или вычисляется. В декартовой системе координат длина линии зависит от координат двух точек. Свойство "расстояние" характеризует удаление одного объекта от другого.

3) Определение площади полигона

Для определения площади полигона, заданного последовательностью вершин, чаще всего применяется алгоритм Симпсона (Simpson Thomas), основанный на разбиении многоугольника на трапеции, ограниченные линейными сегментами границы полигона, перпендикулярами, опущенными из вершин сегмента на ось x , и осью x . Площадь полигона равна сумме площадей трапеций для всех сегментов полигона. Следует заметить, что полигон – замкнутая фигура, поэтому нужно учитывать сегмент, соединяющий последнюю вершину с первой.

Формула вычисления площади полигона представлена для правой системы координат и нумерации вершин полигона по ходу часовой стрелки. Для полигонов, оцифрованных против часовой стрелки, площадь получается отрицательной. Этим способом можно вычислить площади не только для выпуклых многоугольников, но и для вогнутых, а также для полигонов,

имеющих дыры. Алгоритм непригоден для вычисления площадей полигонов, имеющих самопересечения границ.

Измерения на растровых данных

Измерения на растровых данных проще из-за регулярности ячейки. Размер площади ячейки постоянен, и определяется разрешающей способностью ячейки. Местоположение отдельной ячейки определяется точкой геопривязки растра, разрешением ячейки, номером колонки и номером ряда ячейки на растре. Точкой геопривязки растра может быть нижний левый или верхний левый угол растра; это условие учитывается программным продуктом.

Расстояние между двумя ячейками растра есть функция местоположения их средних точек и разрешения ячеек. В растровой модели в ГИС определение длин вертикальных или горизонтальных линий проводится путем подсчета количества ячеек, по которым проходит линия, и умножением их на размер одной ячейки. Если линия ориентирована по диагоналям ячеек, то необходимо выполнить произведение количества ячеек на размер ячейки и на $\sqrt{2}$.

Площадь выбранных объектов на растре вычисляется как произведение количества ячеек на площадь отдельной ячейки.

Функции выбора данных:

При исследовании пространственного набора данных, прежде всего можно выбрать определенные пространственные объекты, чтобы временно ограничить область исследования, используя функции выбора данных (Retrieval functions). Такие выделения могут быть сделаны на пространственном основании или на основании атрибутивных данных, связанных с пространственными объектами.

Средством выбора данных являются запросы пространственного выбора (Spatial selection queries). Запросы пространственного выбора можно комбинировать или выполнять в некоторой последовательности для получения конечного результата.

Интерактивный пространственный выбор данных

Интерактивный пространственный выбор данных (Interactive spatial selection) выполняется путем указания на объекте или вычерчивания пространственных объектов на дисплее. После этого выбранные пространственные объекты индицируются на карте. Интерактивно определенные

объекты называются селектированными или выбранными объектами. Затем ГИС выбирает пространственные объекты в активных слоях данных, которые накладываются на выбранные объекты. Пространственные данные связаны с атрибутивными данными. Выбор пространственных объектов посредством этих связей приводит к выбору записей в таблицах. И наоборот, выбор записей в таблицах приводит к выбору пространственных объектов.

Пространственный выбор по атрибутивным условиям

Пространственные объекты могут быть выбраны путем формирования условий выбора на основе атрибутов пространственных объектов (Spatial selection by attribute conditions). Эти условия формулируются в форме запросов на языке структурированных запросов (Structured Query Language - SQL) (если данные находятся в реляционной базе данных) или на специфическом языке программного обеспечения (если данные находятся в ГИС непосредственно).

Выражения запросов могут быть простыми и комбинированными.

Для одного условия типа "где есть пространственные объекты с ...?" создается простое выражение, которое содержит последовательно название атрибута, оператор вычисления – арифметический (+, −, *, /) или сравнения (=, <, >, >=, <=, Like), значение атрибута. Например, условие "где есть земельные участки с площадью меньше 0,05 га." трансформируется в выражение запроса: "площадь" < 0,05

Когда для выбора используется более одного критерия, создается составное выражение, которое содержит названия атрибутов, операторы вычислений, значения атрибутов и логические операторы (And, Or, Not). Например, запрос "где есть земельные участки с площадью менее 0,05 га. и тип использования земель жилая застройка" содержит два выражения с логическим оператором: "площадь" < 0,05 And "тип" = 'жилая застройка'

Пространственный выбор на основании топологических отношений

Пространственный выбор на основании топологических отношений (Spatial selection using topological relationships) может выполняться определенным оператором. Выбор пространственных объектов зависит от их местоположения относительно других пространственных объектов. Наиболее общими являются следующие типы запросов:

- Выбор пространственных объектов, которые находятся внутри объектов (Selecting features that are inside selection objects). Этот тип запроса исполь-

зует отношение включения (containment) между пространственными объектами. Очевидно, что полигоны могут включать полигоны, линии и точки, а линии могут включать линии и точки; другие включения невозможны.

- Выбор пространственных объектов, которые пересекают (Selecting features that intersect). Необходимый для выбора оператор будет выделять пространственный объект, который геометрически использует совместно общую часть объекта - источника.

- Выбор пространственных объектов, смежных с выбранными объектами (Selecting features adjacent to selection objects). Смежность есть отношение встречи, которое выражает то, что пространственные объекты совместно используют границы. Оно применяется только для линейных или полигональных объектов.

- Выбор пространственных объектов по их удалению (Selecting features based on their distance). В качестве средства выбора пространственных объектов этот тип запроса использует функцию расстояния. Такой выбор может быть поиском внутри определенного расстояния от заданных объектов, или на заданном расстоянии, или больше заданного расстояния.

Эти запросы имеют разновидности операторов в списке в диалоговом окне "Выбор местоположением" (Select By Location).



Рис. 42. Пространственные отношения объектов

На рис. представлены пространственные отношения объекта В (светлого цвета) к объекту А (темного цвета):

- В "разъединен с" А (Disjoint);
- В "касается" А (Touches);
- В "накладывается на" А (Overlap);
- В "равен" А (Equal);
- В "покрывает" А (Cover);

- В "покрыт" А (Covered by);
- В "содержит" А (Contains);
- В "содержится в" А (Contains by).

Функции классификации

Цели классификации по атрибутам

Эффективным инструментом пространственного анализа в ГИС являются функции автоматизированной классификации объектов по значениям их атрибутов (Classification functions). Функции классификации по атрибутам – это техника целенаправленного извлечения деталей из множества начальных данных с целью выявления закономерностей в пространственном распределении объектов и их визуализации.

Классификации по атрибутам могут быть:

- простыми, созданными на основе одного критерия (тип ландшафта);
- сложными, созданными на основе многих критериев одного покрытия (высота, количество осадков, экологические показатели и т.п.);
- комбинированными, созданными на основе многих параметров разных покрытий.

Набор начальных данных может быть результатом некоторой классификации; в таком случае говорят о повторной классификации (Reclassification). В процессе классификации входное множество значений атрибутов может быть оставлено неповрежденным.

В классификации векторных данных могут быть два возможных результата.

1) Входные объекты могут стать выходными объектами в новом слое данных с дополнительно назначенной категорией. Другими словами, пространственная протяженность оригинальных пространственных объектов не изменилась.

2) Выходные объекты получены в результате объединения соседних пространственных объектов с близкими значениями атрибутов.

Такая постобрабатывающая функция называется пространственным слиянием, агрегированием или растворением.

Методы автоматизированной классификации по атрибутам

При автоматизированной классификации (Automatic classification) по атрибутам пользователь определяет атрибут классификации, метод классификации и число классов.

Выбор метода классификации опирается на оценку распределения данных посредством гистограммы. На горизонтальную ось гистограмм выносятся значения, а на вертикальную - частота их появления в пределах данной выборки. Для автоматизированной классификации по атрибутам ArcMap предоставляет возможность использовать один из шести стандартных методов классификации.

Равный интервал

Метод равных интервалов (Equal interval) основан на следующем принципе классификации: каждый класс имеет равный диапазон значений. Разность между максимальным и минимальным значением одинакова для каждого класса. Программа вычитает минимальное значение в наборе данных из максимального значения. Полученное значение делит на заданное число классов. Затем получает предельное значение для первого класса путем прибавления результата деления к самому меньшему значению выборки. Таким же образом устанавливаются интервалы для остальной части классов. Равные интервалы более просты для понимания, так как диапазон для каждого класса одинаков.

Заданный интервал

Метод заданных интервалов (Defined interval) позволяет пользователю определить интервал, на который будет разделен весь диапазон значений атрибута. В отличие от схемы равных интервалов, где пользователь определяет количество интервалов, здесь необходимо указать значения интервалов. ГИС автоматически определяет количество классов на основании этого интервала.

Квантиль

Метод квантиль (Quantile) создает равное число объектов в каждом классе. ГИС упорядочивает объекты по принципу изменения их атрибута в интервале от максимального до минимального значения и суммирует их количество. Затем делит общее количество объектов на число классов, которые задал пользователь. После этого присваивает первым по порядку объектам значения самого низкого класса, пока этот класс не будет заполнен, затем перемещается к следующему классу, заполняет его и так далее.

Естественная разбивка

Метод естественной разбивки (Natural breaks) основан на следующем принципе классификации: границы классов определяются там, где имеется резкий перепад между группами значений. По Jenks ГИС автоматически определяет максимальное и минимальное значение для каждого класса, используя математическую процедуру, которая анализирует резкие изменения в данных. Данная процедура выбирает интервалы, которые лучше всего группируют близкие значения, и максимизирует различия между классами.

Геометрический интервал

Метод геометрического интервала (Geometrical interval) основывается на интервалах классов, которые имеют геометрическую серию. Геометрическая серия - это последовательность значений, где каждое последующее значение получается умножением предыдущего значения на геометрический коэффициент. Алгоритм создает эти геометрические интервалы, минимизируя сумму квадратов элементов на класс. Это гарантирует, что диапазон каждого класса имеет приблизительно одно количество значений в каждом классе и что изменения между интервалами довольно последовательные.

Стандартное отклонение

Метод стандартного отклонения (Standard deviation) основан на следующем принципе классификации: каждый класс определен величиной отклонения от среднего по выборке. ГИС сначала находит среднее по выборке, разделив сумму всех значений на общее число объектов. После этого вычисляется среднеквадратическое отклонение путем вычитания среднего из каждого значения и возведения разности в квадрат. Полученные значения суммируются и делятся на число объектов. Из полученного выражения извлекается корень. Формула среднеквадратического отклонения каждого значения от среднего по выборке имеет вид:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}}$$

9. Оверлейные функции

Определение и общая характеристика оверлейных функций

Оверлей (Overlay) - это совместная обработка наложения двух или более исходных слоев одной географической области, в результате которой создается производный слой с новыми географическими данными как комбинация топологических сегментов исходных географических данных. Оверлей - это мощное средство анализа множества разноименных и разнотипных пространственных объектов.

Существует два основных пути выполнения оверлейных операций - на векторных моделях и на растровых моделях географических объектов. Геоинформационные системы предоставляют возможность использовать также комбинированный путь. Выбор метода зависит прежде всего от целей анализа, от того, какие данные уже существуют, от требуемой точности анализа, от сложности операций. Оверлейные операции могут приводить к отличающимся результатам. Каждый путь оверлейного анализа имеет свою специфику.

В системе, основанной на векторных моделях, топологические оверлейные операции являются более сложными, чем в системе, основанной на растровых моделях. Так как пространственные данные хранятся как точки, линии и/или полигоны, они требуют относительно сложных геометрических операций, чтобы вывести пересечение полигонов и создать новые узлы и дуги с объединенными значениями атрибутов.

Элементами оверлейных операций являются входной слой, оверлейный слой, выходной слой. Наложение пространственных объектов входных слоев позволяет разделять их на топологические сегменты и комбинировать из этих сегментов новые объекты в зависимости от цели анализа (Рис.).

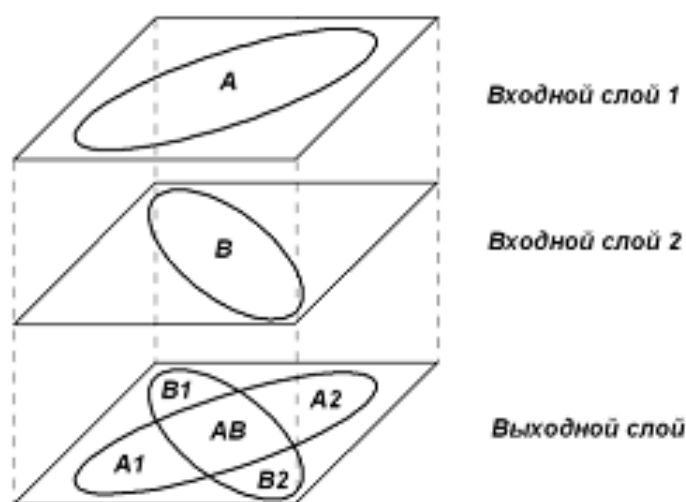


Рис. 43. Представление топологического наложения двух векторных слоев

Новые полигоны создаются на пересечении полигонов входного и оверлейного слоев. Наложение линейного объекта на полигональный объект разделяет его на два новых полигональных объекта. Новые объекты хранятся в выходном слое; входной слой не изменяется.

Атрибуты пространственных объектов в оверлейном слое присваиваются соответствующим новым пространственным объектам вместе с атрибутами объектов входного слоя.

Во многих случаях требуются манипуляции с более чем двумя слоями векторных данных для достижения цели анализа. Операции выполняются ступенчатым способом: два входных слоя обрабатываются, чтобы формировать производный слой; этот промежуточный слой затем обрабатывается с третьим слоем, чтобы формировать следующий промежуточный слой, и так далее до достижения желательного результирующего слоя карты.

В системе, основанной на растровых моделях, топологические оверлейные операции являются более простыми, чем в системе, основанной на векторных моделях. Каждая ячейка растрового слоя связана с одним соответствующим географическим местоположением.

Это делает ее удобной для комбинирования характеристик многих слоев в одном слое. Обычно каждой характеристике присваиваются многие значения, позволяя пользователю математически комбинировать слои и назначать новые значения каждой ячейке в выходном слое.

1	1	4		7	6	5		8	8	9
1	3	2		4	6	6		5	9	8
4	2	1	+	3	5	8	=	7	7	9
Входной слой 1				Входной слой 2				Выходной слой		

Рис. 44. Иллюстрация суммирования данных при наложении растровых слоев.

Булева алгебра в топологическом наложении

Для реализации топологического наложения в ГИС используется алгебра логики. Это раздел математической логики, изучающий логические операции над высказываниями. Ее основоположником был английский математик Джордж Буль (G.Boole). В алгебре логики истинностные значения высказываний принято обозначать числами 1 (истина - true) и 0 (ложь -

false). Каждой логической операции соответствует функция, принимающая значения 1, 0. Такие функции называются функциями алгебры логики или булевыми функциями. Чтобы определить, является ли определенное состояние истинным или ложным, в пространственном анализе используются логические операторы Булевой алгебры, которые обозначаются AND (И), OR (ИЛИ), NOT (НЕ) в текстовом формате, и соответственно $\cap$, $\cup$, $\neg$ в символьном формате.

Два входных слоя топологического наложения можно рассматривать как два набора данных - набор A и набор B. Для них определяются следующие базовые логические операции:

- логическая операция конъюнкция $A \cap B$ – определяет пересечение двух наборов данных, идентифицирующее те сущности, которые принадлежат и набору A и набору B (истинно A и B);
- логическая операция дизъюнкция $A \cup B$ – определяет объединение двух наборов данных, идентифицирующее те сущности, которые принадлежат или набору A или набору B (истинно A или B);
- логическая операция отрицание $A \neg B$ – определяет разность двух наборов данных, идентифицирующая те объекты которые принадлежат A, но не B. (истинно не B).

Эти соотношения можно визуализировать с помощью диаграмм Венна.

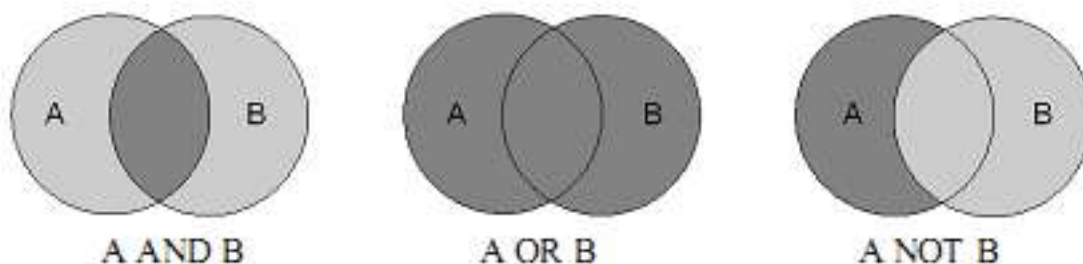


Рис. 45. Диаграммы Венна

Используя базовые логические операции можно описать сложные логические функции. Булева алгебра применяется в вычислении или моделировании новых объектов в топологической оверлейной обработке для систем, основанных на векторных и растровых моделях. Эти операции могут применяться ко всем типам данных - булевым, относительным, интервальным, порядковым или номинальным.

Векторные оверлейные операторы

Классификация векторных оверлейных операций

Топологические векторные оверлейные операции можно классифицировать по двум основаниям:

- 1) по элементам, которые содержатся в слоях для наложения (или по слоям, содержащим точечные, линейные или полигональные элементы),
- 2) по типу операции (например, генерирование выходного слоя операциями соединения, пересечения или другими булевыми операциями).

Классификация векторных оверлейных операций по типам элементов каждого слоя.

Векторные оверлейные операции включают наложение точечных, линейных или полигональных пространственных объектов одного слоя на полигональные пространственные объекты другого слоя.

Следующая таблица идентифицирует оверлейные опции для каждой возможной комбинации типов элементов, содержащихся в двух входных слоях.

Табл. 11

Классификация векторных оверлейных операций по типам элементов

Тип элементов	Точки	Линии	Полигоны
Точки	Наложение точек (Point-on-Point)	Точка на линии (Point-in-Line)	Точка в полигоне (Point-in-Polygon)
Линии	Точка на линии (Point-in-Line)	Наложение линий (Line-on-Line)	Линия в полигоне (Line-in-Polygon)
Полигоны	Точка в полигоне (Point-in-Polygon)	Линия в полигоне (Line-in-Polygon)	Наложение полигонов (Polygon-on-Polygon)

Классификация векторных оверлейных операций по типу операции. Тип оверлейной операции определяется комбинацией использования логических операторов. При этом каждая комбинация будет производить различный выходной слой. Разные программные продукты ГИС могут иметь свои названия операций. Например, ArcGIS9.x имеет инструменты оверлейных операций, приведенные в табл.12.

Табл. 12.

Инструменты оверлейных операций в ArcGIS9.x

Инструмент	Описание
Erase (Стирание)	Этот инструмент создает класс пространственных объектов из тех пространственных объектов или частей пространственных объектов, которые находятся вне стирающего класса пространственных объектов.
Identity (Идентичность)	Этот инструмент комбинирует части пространственных объектов, которые накладываются идентичными пространственными объектами для создания нового класса пространственных объектов.
Intersect (Пересечение)	Этот инструмент создает новый класс пространственных объектов из пересекающихся пространственных объектов общих в обоих классах пространственных объектов.
Spatial Join (Пространственное соединение)	Создает тип соединения таблиц, в котором поля из таблицы атрибутов одного слоя присоединены к таблице атрибутов другого слоя на основании относительного местоположения пространственных объектов в двух слоях.
Symmetrical Difference (Симметрическая разность)	Этот инструмент создает класс пространственных объектов из тех входных и оверлейных пространственных объектов или частей пространственных объектов, которые не накладываются.
Union (Объединение)	Этот инструмент создает новый класс пространственных объектов, комбинируя пространственные объекты и атрибуты каждого класса пространственных объектов.
Update (Обновление)	Этот инструмент обновляет атрибуты и геометрию входного класса пространственных объектов или слоя обновляющим классом пространственных объектов или слоем, которым они накладываются.

Алгоритмы векторных оверлейных операций

Из возможных комбинаций наложений точечных, линейных или полигональных пространственных объектов одного слоя на полигональные пространственные объекты другого слоя основными являются три следующих алгоритма обработки:

- "Точка в полигоне" (Point-in-Polygon),
- "Линия в полигоне" (Line-in-Polygon),
- "Полигон на полигоне" (Polygon-on-Polygon), иными словами "Оверлей полигонов" (Polygon Overlay).

Алгоритм операции "Точка в полигоне"

Операция "Точка в полигоне" (Point-in-Polygon) идентифицирует полигон, в который падает каждая точка. Результатом наложения "Точка в

полигоне" является множество точек с дополнительными атрибутами полигона, в пределах которого находятся точки.

Алгоритм операции "Точка в полигоне" следующий:

1) Вначале используется экстенс полигона (минимальный ограничительный прямоугольник). Если точка лежит вне экстенса полигона, тогда она также должна находиться вне полигона. В таком случае анализ закончен. (Пример на Рис. 46, а) Однако, если точка падает внутрь экстенса, требуется продолжение обработки.

2) В одном направлении от выбранной точки вычерчивается линия параллельно оси или X или Y, которая представляет собой направленный луч, называемый иногда "половиной линии".

3) Затем рассчитывается число пересечений этой "половины линии" с границей полигона. Если результат - четное число, то это указывает на то, что точка находится вне полигона. Если результат - нечетное число, то это указывает на то, что точка падает внутрь полигона.

Описанный алгоритм анализа "Точка в полигоне" работает также и для частных случаев: а) островных полигонов, б) полигонов с дырами, в) вогнутых полигонов. Примеры этих отдельных случаев показаны на рис. 46

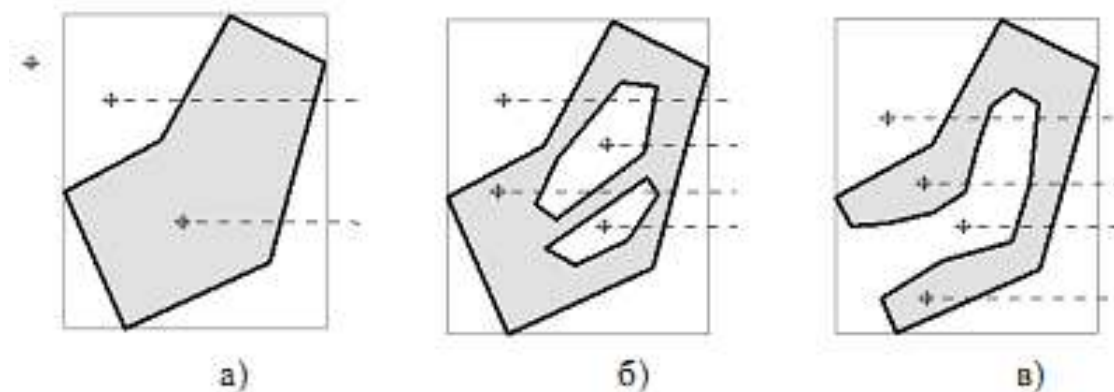


Рис. 46. Наложение «Точка в полигоне»

Проблемы возникают, если а) точка находится точно на границе, б) точка находится на узле или вершине, в) сегмент линии коллинеарный "половине линии". В этих случаях, индивидуальные пакеты ГИС используют их собственные правила решения.

Пример использования анализа "Точка в полигоне": определение числа правонарушений, зафиксированных в точечном слое, по милицейским участкам.

Алгоритм операции "Линия в полигоне"

Полигональные пространственные объекты одного входного слоя могут быть наложены на линии (дуги) другого входного слоя. Линия может

состоять из многих сегментов. Анализ "Линия в полигоне" идентифицирует полигон, который содержит каждую линию или сегменты линии. Результатом наложения "Линия в полигоне" является новый слой, содержащий линии с дополнительными атрибутами полигонов, в которые падают линии.

Поскольку линии и полигоны составлены из сегментов, анализ "Линия в полигоне" требует определения: пересекается ли любой из этих сегментов с накладываемой линией. Задача определения, пересекаются ли два сегмента линии, решается по ранее приведенным математическим зависимостям.

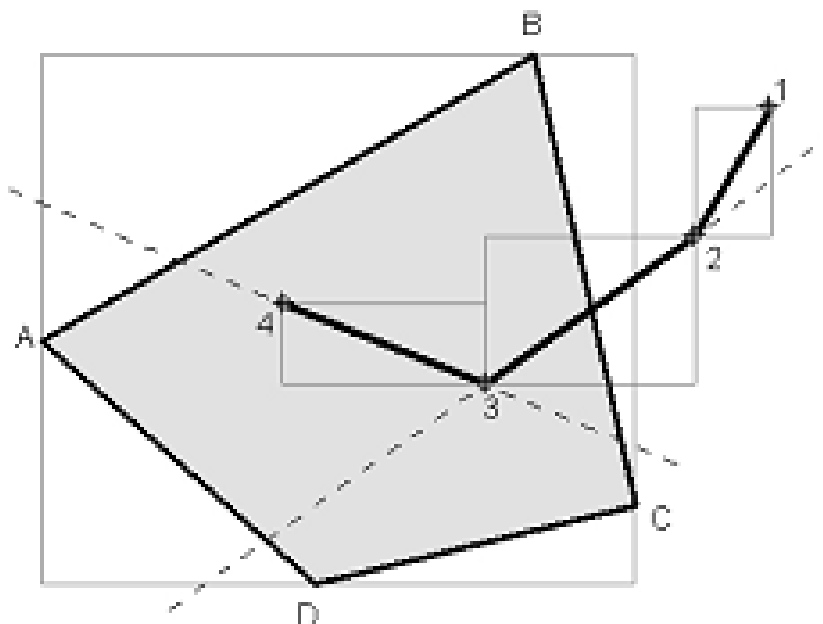


Рис. 47. Наложение «Линия в полигоне»

Геоинформационные системы используют следующий алгоритм.

1) Чтобы уменьшить число требуемых вычислений используются экстенды элементов. Если экстенд линии полностью находится вне экстенда полигона, линия определенно находится вне пределов полигона, и на этом анализ заканчивается. В противном случае требуется продолжение обработки.

2) Поскольку линия может быть составлена из многих линейных сегментов, каждый сегмент линии должен быть испытан на пересечение или вложение в пределах полигона.

3) Полигоны могут иметь вогнутости или дыры внутри них, поэтому недостаточно определить, лежат ли оба конца сегмента линии в пределах полигона. Чтобы решить эту задачу, оба и полигон и сегмент линии поворачивают так, чтобы сегмент линии стал параллельным к одной оси.

4) Чтобы определить, находится ли каждый конец сегмента внутри или вне полигона, от каждого конца сегмента вычерчивается линия параллельно оси или X или Y, которая представляет собой направленный луч. Затем используется критерий "половины линии" (описанный в анализе "Точка в полигоне") относительно количества точек пересечения луча с границей полигона. Следует заметить, что точки пересечения "половины линии" не обязательно могут быть точками пересечения сегмента.

5) Если результат тестирования посредством "половины линии" показывает, что обе точки сегмента находятся внутри полигона и нет пересечений сегмента, то вся линия находится внутри полигона. Иначе, если начальная точка сегмента расположена вне полигона и первая часть сегмента линии находится вне полигона до первой точки пересечения сегмента, вторая часть сегмента линии расположена внутри полигона до следующей точки пересечения сегмента, и так далее.

6) Эта процедура применяется для каждого из сегментов линии, формирующих линию, которая анализируется. Пример использования анализа "Линия в полигоне": определение локализации трубопроводов в пределах кварталов города.

Алгоритм операции "Полигон на полигоне"

Процесс "Полигон на полигоне" совместно обрабатывает накладываемые полигоны от двух входных слоев, чтобы создать новые полигоны в выходном слое. Результатом анализа "Полигон на полигоне" является выходной слой, содержащий новые полигоны с атрибутами от каждого из двух оверлейных полигонов.

Поскольку границы полигонов образованы из сегментов линий, анализ "Полигон на полигоне" требует определения того, пересекаются ли эти сегменты оверлейных линий. Обработка для анализа "Полигон на полигоне" является по существу той же самой, что анализ "Линия в полигоне".

Базовые оверлейные операций векторных моделей

Векторная оверлейная обработка использует предварительно упомянутые булевы логические операции AND, OR, и NOT, чтобы определить пересечение (Intersection) или объединение (Union) двух слоев, и дополнение (Complement) одного слоя в систему.

Векторная оверлейная обработка также использует булевы отношения включения (Inclusion (обозначение C)) и исключения (Exclusion (обо-

значение $\emptyset$)), чтобы определить, которая часть слоя или содержится или не содержится в пределах другого слоя в системе.

Например, рассмотрим два слоя А, В в ГИС:

- Операция " $A \subset B$ " определяет часть слоя А, которая содержится в слое В.

- Операция " $A \not\subset B$ " определяет часть слоя А, которая не содержится в слое В. Существуют многочисленные векторные оверлейные операции, однако все они являются производными от четырех базовых операций: Union, Intersection, Inclusion, Exclusion.

Объединение

Объединение (Union) аналогично булеву логическому оператору OR (ИЛИ), где все элементы от обоих входных слоев будут присутствовать в выходном слое. Этот инструмент строит новый класс пространственных объектов комбинированием пространственных объектов и атрибутов каждого класса пространственных объектов. Объекты входного слоя разбиваются пересекающимися их объектами оверлейного слоя. Атрибуты объектов входного слоя содержат атрибуты объектов входного и оверлейного слоя.

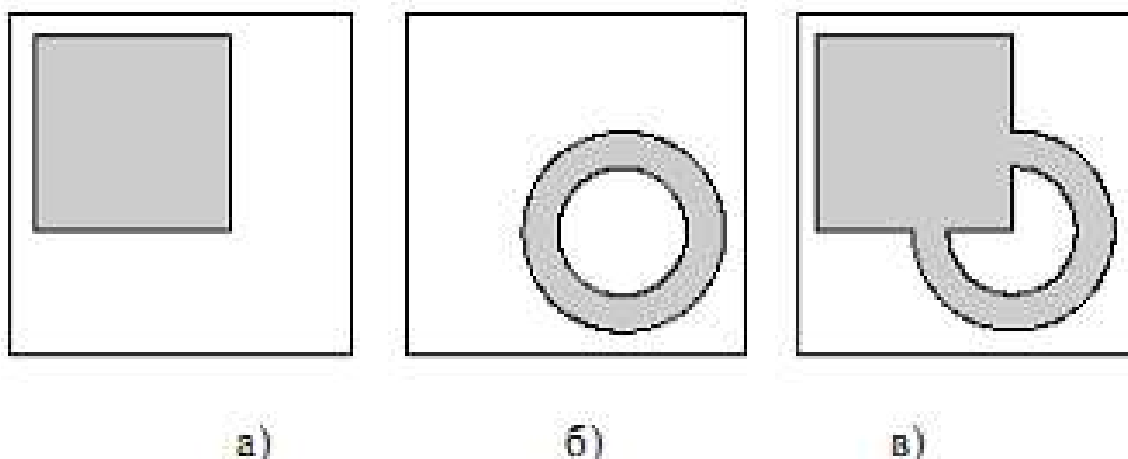


Рис. 48. Объединение полигональных объектов двух слоев
а) входной слой 1, б) оверлейный слой 2, в) выходной слой 3

Операция объединения двух слоев может быть представлена в булевой алгебраической форме:

$$\text{Слой 1} \cup \text{Слой 2} = \text{Слой 3}$$

Пересечение

Пересечение (Intersection) аналогично булеву логическому оператору AND (И), вычисляет геометрическое пересечение входных и оверлейных объектов. Объекты или части объектов, общие для всех слоев и/или классов

объектов, будут записаны в результирующий класс. Объекты входной карты, которые не покрыты объектами оверлейной карты, игнорируются. Атрибуты полигонов выходной карты содержат атрибуты полигонов входной и оверлейной карт.

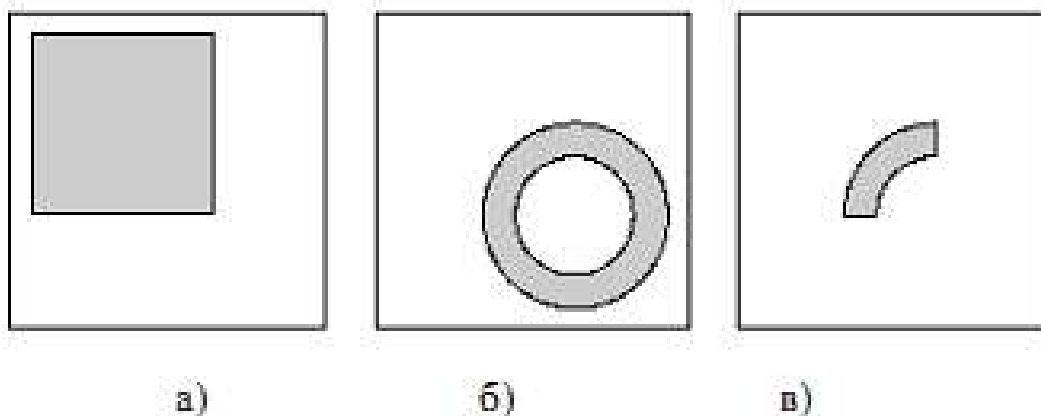


Рис. 49. Пересечение полигональных объектов двух слоев
а) входной слой 1, б) оверлейный слой 2, в) выходной слой 3

Операция пересечения двух слоев двух полигональных слоев может быть представлена в булевой алгебраической форме:

$$\text{Слой 1} \cap \text{Слой 2} = \text{Слой 3}$$

Включение

Операция включения (Inclusion) определяет часть оверлейного слоя, который содержится во входном слое. Выходной слой будет содержать все элементы первого входного слоя, а также все элементы второго входного слоя, существующие в географическом пространстве первого входного слоя. Включение использует входной слой как шаблон, в котором объекты оверлейного слоя отсекаются по ребрам и объединяются

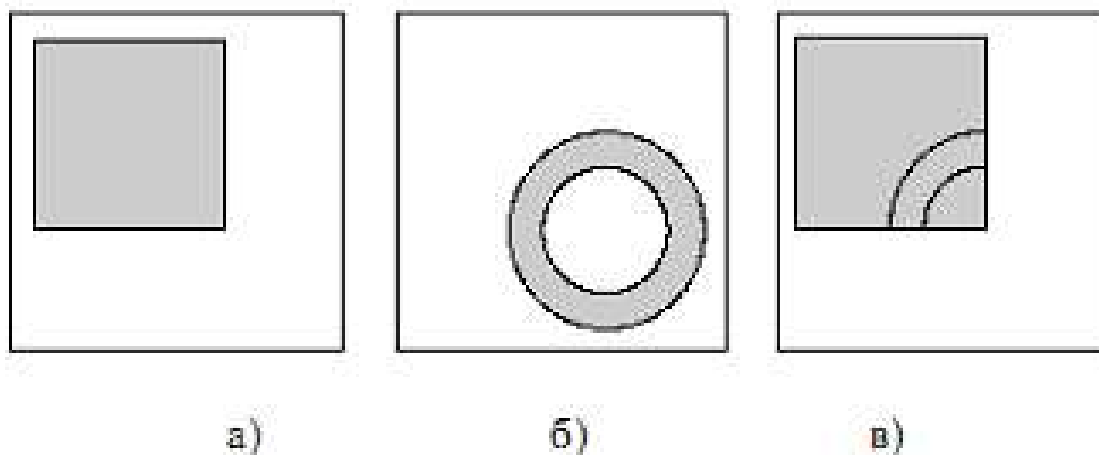


Рис. 50. Включение полигональных объектов двух слоев
а) входной слой 1, б) оверлейный слой 2, в) выходной слой 3

Операция включения двух слоев двух полигональных слоев может быть представлена в булевой алгебраической форме:

$$(\text{Слой } 2 \subset \text{Слой } 1) \cup \text{Слой } 1 = \text{Слой } 3$$

Исключение

Операция исключения (Exclusion) “ $A \not\subset B$ ” определяет часть входного слоя, которая не содержится в оверлейном слое. Выходной слой будет содержать только те элементы первого входного слоя, которые не являются географическим пространством второго входного слоя.

Исключение использует оверлейный слой как шаблон, которым объекты входного слоя отсекаются по его ребрам.

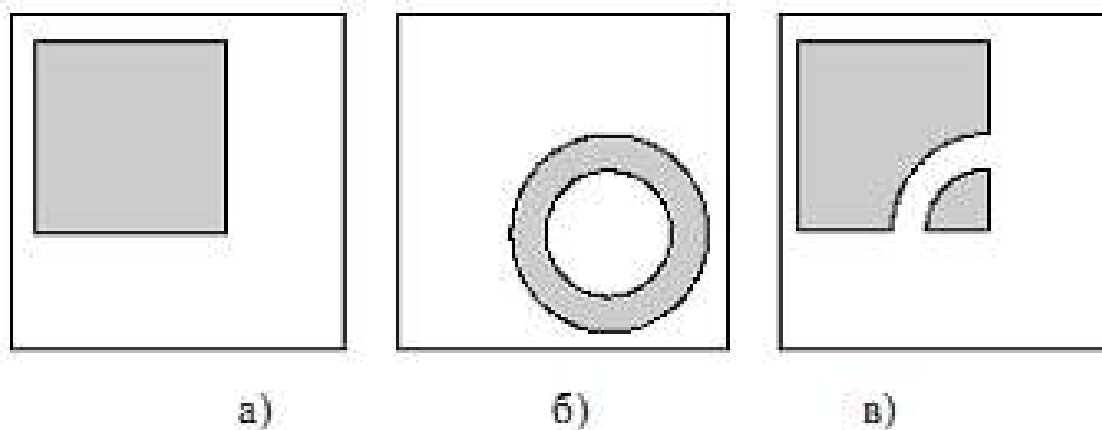


Рис. 51. Исключение полигональных объектов двух слоев
а) входной слой 1, б) оверлейный слой 2, в) выходной слой 3

Операция исключения двух слоев двух полигональных слоев может быть представлена в булевой алгебраической форме:

$$\text{Слой } 1 \not\subset \text{Слой } 2 = \text{Слой } 3$$

Растровые оверлейные операторы

Векторные оверлейные операторы приводят к большей точности результата, но они геометрически сложные, и это иногда может быть следствием относительно медленной работы оператора. Оверлейные программы с растрами (Raster overlay operators) не имеют этого недостатка, так как большинство их выполняют вычисления "ячейки на ячейке", и поэтому они

быстрые. Руководящим принципом является сравнение или комбинирование значений характеристик местоположения, получаемых из двух слоев.

Обработка растров выполняется посредством языка представления операций на растрах. Такой язык используется в калькуляторе растров (Raster Calculator). Он позволяет вычислить новые растры на основании существующих, используя ряд функций и операторов. К сожалению, исчисления растра проходят скрытыми под различными названиями, и не все предлагают ту же функциональность. Исчисления растров опирается на алгебру карт. При производстве нового растра нужно обеспечить имя для него и определить выражение вычисления.

Это делается в назначении оператора следующего формата:

`Output_raster_name := Raster_calculus_expression`

(Имя выходного растра : = Выражение вычисления растра)

Выражение справа оценивается программой и растром, в котором затем хранятся результаты, называется именем с левой стороны. Выражение может содержать ссылки на существующие растры, операторы и функции. Имена растра и константы, которые используются в выражении, называются его операндами. Когда выражение создано, программа будет вычислять наложения "ячейки на ячейке", начиная от первой ячейки в первом ряду, и продолжая до последней ячейки в последнем ряду.

Программы ГИС имеют широкий диапазон операторов и функций, которые могут использоваться в исчислении растров.

Арифметические операторы

Выражение вычисления растра может включать арифметические операторы (Arithmetic operators) $+$, $-$, $*$, $/$. Например, вычисление растра на рис. выполняется на основании следующего выражения $C := A + B$.

1	1	4		7	6	5		8	8	9
1	3	2		7	4	3		8	7	5
4	2	1	+	6	2	4	=	10	4	5
A				C				B		

Рис. 52. Сумма двух растров

Выражение вычисления растра может также включать тригонометрические операторы $\sin$, $\cos$, $\tan$, $\arcsin$, $\arccos$, $\arctan$.

Выражение вычисления растра может включать несколько арифметических операторов.

Операторы сравнения и логические

Калькулятор растров может использовать операторы сравнения (Comparison operators) <, <=, =, >=, >, <> и логические операторы (Logical operators) AND, OR, NOT, XOR. Выражение A XOR B верно, если верно или A или B, но не оба. Пример применения оператора сравнения:

C := A <> B.

Операторы сравнения и логические вычисляют растры на истинностных значениях "истина" (true) и "ложь" (false).

Условные выражения

Условные выражения (Conditional expressions) в калькуляторе растров позволяют определить, где выполняется условие. Общий формат выражения:

Output raster := IFF (condition, then expression, else expression)

(Выходной растр := Условная функция (условие; выражение, где условие выполняется; выражение, где условие не выполняется))

Например: IFF (4 = 5, "land", "lake")

Комплексные выражения

Обработка растров может выполняться комплексными выражениями, включающими арифметические операторы, операторы сравнения и логические, на основании их табличных данных (Overlays using a decision table).

Функции окрестности

Определение окрестности

Под окрестностью (Neighborhood) географического объекта понимается окружающее его пространство. Во многих случаях пригодность некоторого местоположения для определенных целей зависит не только от того, что находится в нем, но и от того, что есть возле него. Поэтому, геоинформационные системы должны предоставить возможность оценить пространство, прилегающее к определенному месту, выполнить анализ близости (Proximity).

Функции окрестности (Neighborhood functions) определяют характеристики близости в окрестностях местоположения. Чтобы выполнить анализ окрестности, необходимо:

- 1) установить, какое целевое местоположение представляет интерес и какая его пространственная протяженность;

- 2) решить, как определить окрестность для каждой цели;
- 3) определить, какие характеристики должны вычисляться для каждой окрестности.

Например:

- целью может быть торговый центр;
- его окрестность может быть определена как:
 - о область в радиусе 2 км.,
 - о область в пределах 10 минут езды по дорогам,
 - о совокупность жилых зданий, для которых торговый центр самый близкий;
- характеристиками могут быть:
 - о пространственное удаление,
 - о количество людей, проживающих в окрестности торгового центра,
 - о количество торговых объектов в окрестности.

В естественных средах возникают различные случаи расположений, окрестностей и особенностей соседства.

Современные программные продукты ГИС позволяют выполнить анализ окрестности, как на векторных моделях, так и на растровых моделях.

Операции окрестности в векторных моделях

Вычисления близости используют геометрическую дистанцию для определения окрестности одного или более географических объектов.

Наиболее общим и полезным методом является генерирование буферных зон (Buffer Zone Generation). Другим методом, базирующимся на геометрической дистанции, является генерирование полигонов Тиссена (Thiessen Polygon Generation).

Генерирование буферных зон

Буфер (Buffer) – это зона точно установленной ширины вокруг точечного, линейного или полигонального пространственного объекта.

В результате генерирования буфера создается новый полигональный объект - буферная зона. Задача построения буферных зон требует определения геометрического места точек плоскости, удалённых от множества объектов не более чем на заданное расстояние.

Пространственный буфер может быть сгенерирован для анализа близости. Его используют для того, чтобы определить области и объекты, которые находятся или внутри или вне определенной буферной зоны.

Буферизация точечных пространственных объектов

Буферизация точечных пространственных объектов - самая простая форма буферизации, поскольку процесс включает создание круглого полигона относительно каждой точки, радиус которого равен ширине буфера b .

Имеются два метода назначения ширины буфера. Первый использует фиксированную ширину буфера для всех точек слоя.

Второй - каждой точке назначается индивидуальная ширина буфера, основанная на атрибутах этого слоя, хранящихся в таблице (то-есть взвешенная ширина).

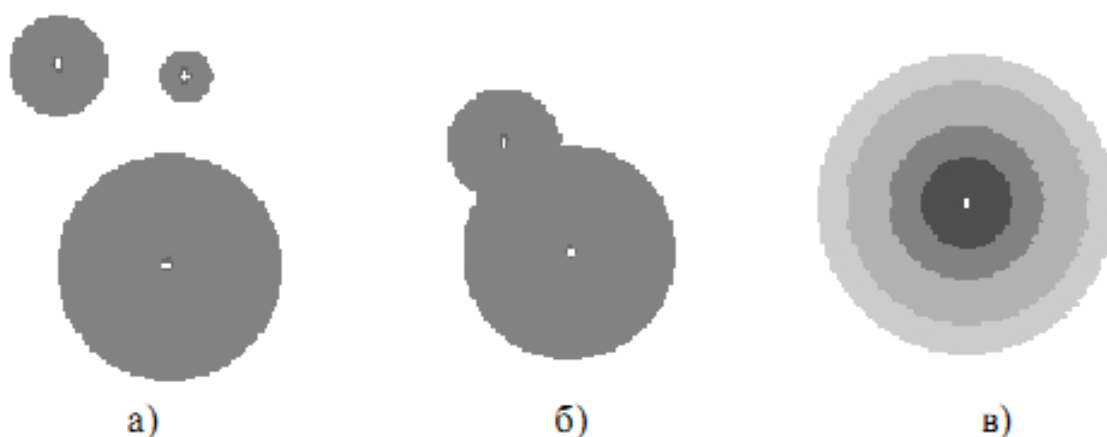


Рис. 53. Буферизация точечных пространственных объектов:

- а) буферные зоны индивидуальной ширины,
- б) слитые буферные зоны,
- в) концентрические буферные зоны.

Если имеются множество точек в слое, подлежащем буферизации, то система должна проверить перекрытия буфера каждой точки.

Любые накладывающиеся части должны быть удалены. Поэтому результатом операции являются полигоны, представляющие области, покрытые всеми накладывающимися буферами. Этот процесс включает две дополнительные операции: пересечение буферов и растворение общих границ буферов.

Буферизация линейных пространственных объектов

Алгоритм для буферизации линейных пространственных объектов более сложный, чем для буферизации точечных данных, так как линии могут быть составлены из множественных сегментов. Процесс для буферизации линейного пространственного объекта следующий.

1. Каждому сегменту полилинии назначают соответствующую ширину буфера (который может быть фиксированным для всех линий или взвешенным). Ширину буфера называют "буферным" расстоянием - b .

2. Каждый сегмент полилинии имеет начальную вершину (X_1, Y_1) и конечную вершину (X_2, Y_2). Используя эти координаты, вычисляют разности координат Δx и Δy между этими двумя конечными точками.

3. Определяются координаты конечных точек для параллельных буферных линий каждого сегмента линии с обеих сторон сегмента на перпендикуляре длиной b по формулам:

$$\begin{aligned}x_1 &= X_1 \pm b * \cos [\arctg (\Delta y / \Delta x)] \\y_1 &= Y_1 \pm b * \sin [\arctg (\Delta y / \Delta x)] \\ \text{и} \\x_2 &= X_2 \pm b * \cos [\arctg (\Delta y / \Delta x)] \\y_2 &= Y_2 \pm b * \sin [\arctg (\Delta y / \Delta x)]\end{aligned}$$

4. По полученным координатам определяются уравнения граничных линий буфера.

5. Рассчитываются пересечения граничных линий буфера для смежных сегментов, и назначаются координаты точек пересечения.

6. В каждой вершине линии граничные прямые линии буфера сопрягаются круговыми кривыми; в начальной и конечной точках полилинии граничные прямые линии сопрягают полукругом.

7. Отдельные части буфера полилинии сливаются в один буферный полигон

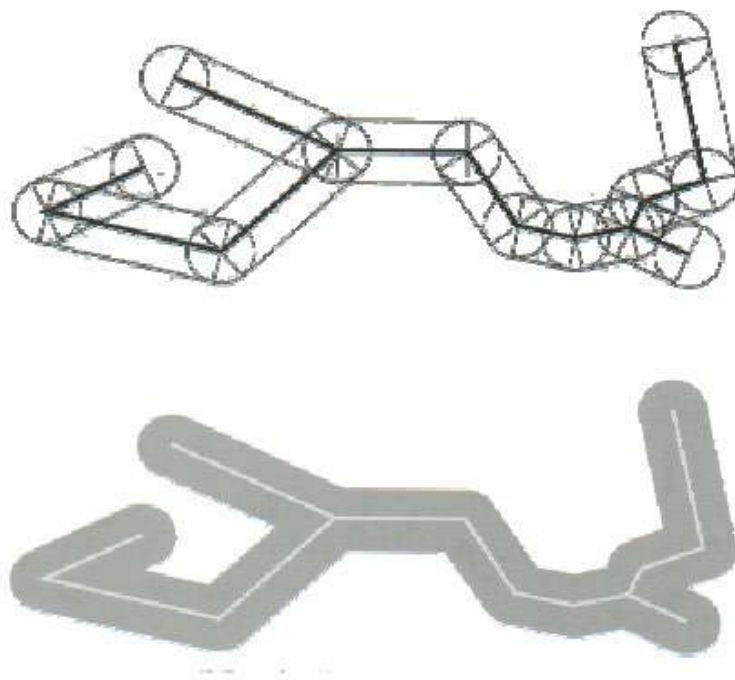


Рис. 54. Буферизация линейных пространственных объектов

Различные пакеты программного обеспечения ГИС могут определять концы буфера разными методами:

1. Сопряжение начальной точки и конечной точки линии с "полу-круговыми" полигонами буфера радиуса b .
2. Простое отсечение параллельных буферных концов.
3. Сужение параллельных буферных концов, чтобы сблизить конечные точки.

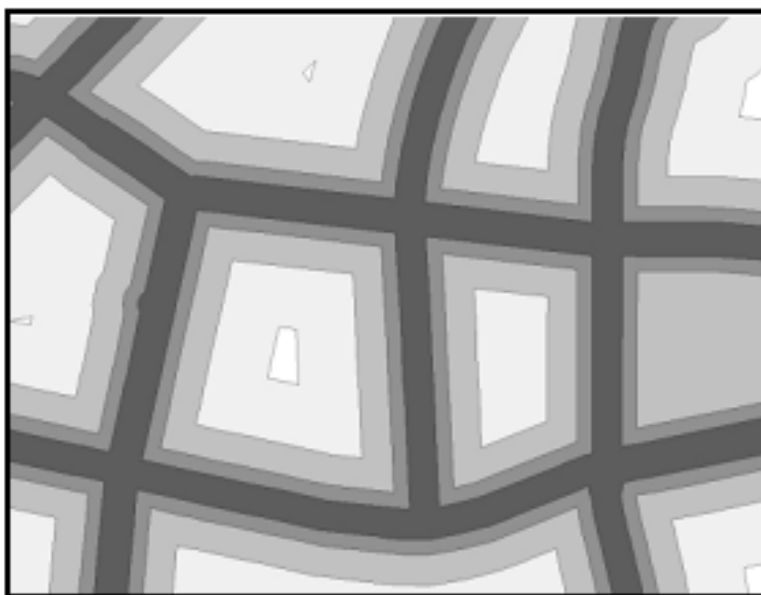


Рис. 55. Зоны уличной дорожной сети

Если имеется множество линий в исходном слое, то система должна проверить перекрытия буферов для каждой линии. Любые накладываются сечения должны быть удалены так, чтобы результатом операции были полигоны, представляющие область, покрытую всеми буферами. Этот процесс включает две дополнительные операции: пересечение буферов и растворение общих границ буферов.

Процесс буферизации приводит к новому слою в системе, состоящему из полигональных данных, которые представляют буферные зоны. Таблица результирующего полигона будет иметь идентификаторы для каждого полигона, созданного в процессе буферизации, и дополнительные атрибуты: ширина буфера и указания, находится ли полигон внутри буферной зоны или вне буферной зоны.

Буферизация полигональных пространственных объектов

Алгоритм буферизации полигональных пространственных объектов использует тот же самый процесс, как алгоритм буферизации линий, с одним небольшим отличием - буферный полигон создан только на одной стороне линии, которая определяет полигон. По умолчанию метод состоит в том, чтобы создать буфер вне полигона, который окружает границу полигона. Некоторые пакеты программного обеспечения ГИС предоставляют также опции, чтобы создать буфер, который находится внутри границы полигона. На рис. представлен пример возможных исходов буферизации полигона.

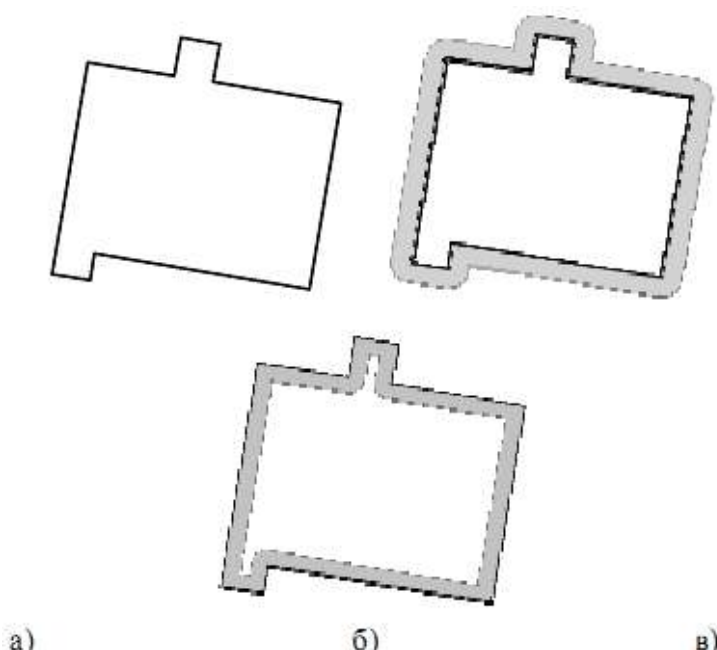


Рис. 56. Буферизация площадных пространственных объектов: а) исходный полигон, б) внешний буфер, в) внутренний буфер

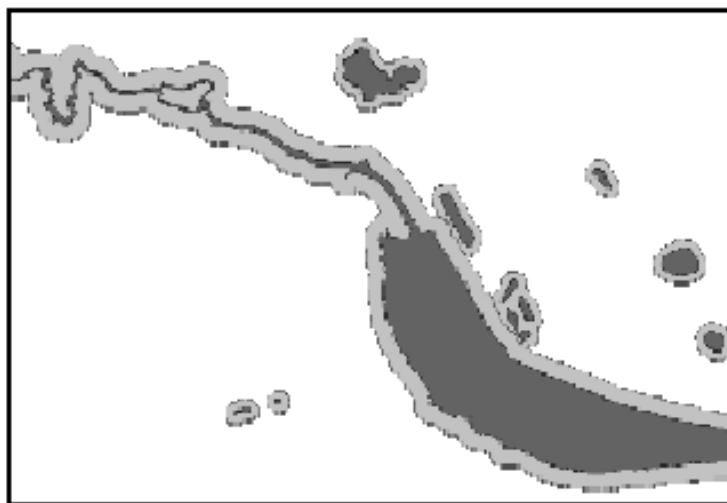


Рис. 57. Прибрежные защитные полосы водных объектов

После построения буферов выполняются операции выбора объектов, находящихся в буферных зонах, и анализа их атрибутов.

Генерирование полигонов Тиссена

Другой метод использования геометрического расстояния для определения окрестности пространственно-распределенных точек заключается в генерировании полигонов Тиссена (Thiessen Polygon Generation).

Полигоны Тиссена (Thiessen (1912)) - Вороного (Voronoi (1909)) – Дрихле (Dirichlet (1850)) - это полигональные области, образуемые на заданном множестве точек таким образом, что расстояние от любой точки области до данной точки меньше, чем для любой другой точки множества. Задача построения зон близости требует определения всех точек плоскости, для которых расстояние до объектов множества является минимальным.

Границами полигонов Тиссена являются отрезки перпендикуляров, восстановленных к серединам сторон треугольников в триангуляции Делоне, которая построена относительно того же точечного множества. Полигонам присваиваются атрибуты точечных объектов.

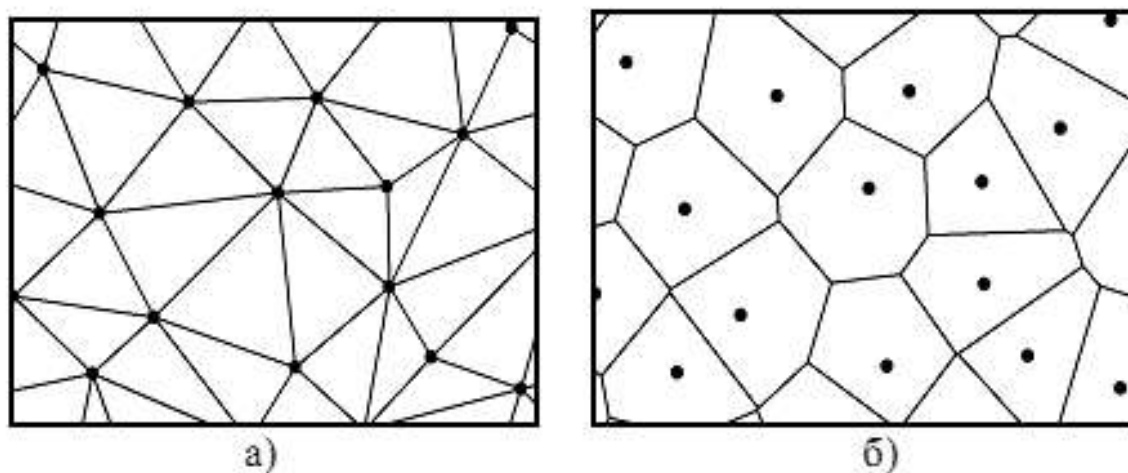


Рис. 58. Генерирование полигонов Тиссена:
а) триангуляция Делоне, б) полигоны Тиссена.

Полигоны Тиссена разделяют территорию на области близости к заданным точкам, и поэтому могут рассматриваться в качестве окрестностей этих точек.

Операции окрестности в растровых моделях

Операции окрестности в растровых моделях становятся особенно важным средством, когда ситуация требует в большей мере анализа зависимостей между локализациями, чем интерпретации характеристик в индивидуальных локализациях.

Функции фокальной статистики

Функции фокальной статистики (Focal Statistics) вычисляют статистические характеристики растровых данных в выделенной окрестности.

Сканированная ячейка и сканированная окрестность

В методе сканирования окрестности операции окрестности на растровых моделях обычно называются "фокальными функциями", поскольку каждая выполненная операция генерирует значение для "фокуса" окрестности. Фокус окрестности вообще называют сканированной ячейкой, а ее окружающие соседние ячейки называют сканированной окрестностью. Сканированная окрестность может иметь различные размеры и формы, которые определяются выбором соответствующей опции в ГИС-пакете. Наиболее общие формы окрестности: квадрат, круг, кольцо, клин (рис. 59).

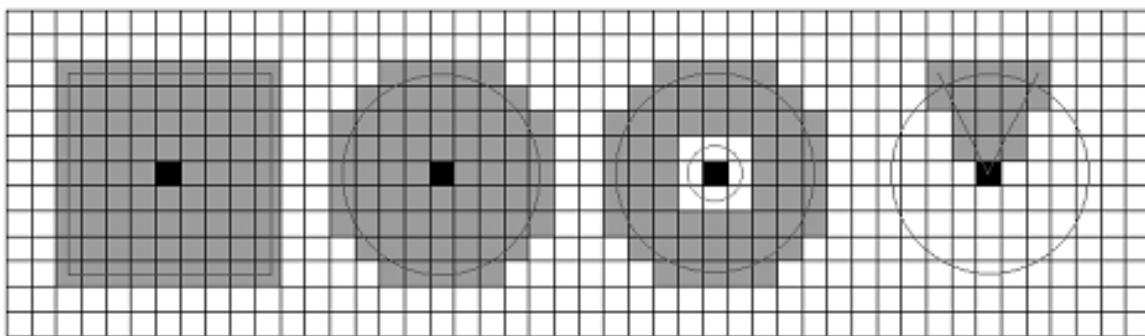


Рис. 59. Сканированные окрестности: квадрат, круг, кольцо, клин

В приведенных примерах на рис. 59 сканированная ячейка заштрихована темно-серым цветом, а ячейки окрестности светло-серым цветом. Сканированная окрестность для каждой из этих форм окрестности включает сканированную ячейку, за исключением островной окрестности.

Пользователь ГИС может определять любую форму и размер для окрестности, в зависимости от задачи.

Процесс сканирования окрестности

Операции окрестности работают, перемещаясь по растровой карте по одной ячейке. Как только ячейка посещена, она становится сканированной ячейкой. Для этой ячейки вычисляется новое значение как функция ее сканированной окрестности. Все вычисленные значения затем помещаются в соответствующие ячейки выходной карты.

Статистический анализ окрестности

Для анализа могут использоваться различные статистические характеристики, чтобы характеризовать окрестность сканированной ячейки. Статистика, которая используется в операциях окрестности, будет зависеть от того, какие типы данных изучаются:

- данные отношений (Ratio),
- интервальные данные (Interval),
- порядковые данные (Ordinal),
- номинальные данные (Nominal).

Модуль статистического анализа окрестности выполняет девять операций.

1) Сумма (Sum). Эта операция складывает значения сканированной ячейки и ее соседей (то есть, ячейки в ее сканированной окрестности), и хранит эту сумму в выходной теме. Данные входной карты могут быть отношением или интервалом.

2) Среднее (Average). Эта статистическая операция вычисляет среднюю величину данных, существующих в сканированной окрестности. Данные входной карты могут быть отношением или интервалом.

3) Максимум (Maximum). Эта операция присваивает значение ячейке сканированной окрестности, которое имеет наибольшее значение. Данные входной карты могут быть отношением, или интервалом, или порядковым номером.

4) Минимум (Minimum). Эта операция присваивает значение ячейки в сканированной окрестности с самым низким значением. Данные входной карты могут быть отношением, или интервалом, или порядковым номером.

5) Медиана (Median). Эта операция присваивает срединное значение сканированных значений окрестности. Данные входной карты могут быть отношением, или интервалом, или порядковым номером.

6) Большая часть (Majority). Эта операция присваивает значение, которое повторяется наиболее часто в сканированной окрестности. Данные входной карты могут быть отношением, или интервалом, или порядковым номером или номиналом.

7) Меньшая часть (Minority). Эта операция присваивает значение, которое повторяется наименее часто в сканированной окрестности. Данные входной карты могут быть отношением, или интервалом, или порядковым номером, или номиналом.

8) Разнообразие (Diversity). Эта операция присваивает значение, равное числу различных значений в сканированной окрестности. Данные входной карты могут быть отношением, или интервалом, или порядковым номером, или номиналом.

9) Амплитуда (Range). Эта операция присваивает значение, равное числу различных значений в сканированной окрестности. Данные входной карты могут быть отношением или интервалом или порядковым номером или номиналом.

Пример сканированной окрестности представлен на рис. 60

3	7	16
7	16	11
11	16	25

Рис. 60. Сканированная окрестность

Для этого примера статистические операции над сканированной ячейкой и ее окрестностью представлены результатами:

Сумма = 112

Среднее = 12,44 (112 / 9)

Максимум = 25

Минимум = 3

Медиана = 11 (3,7,7,11,11,16,16,16,25)

Большая часть = 16

Меньшая часть = 25

Разнообразие = 5 (3,7,11,16,25)

Амплитуда = 22 (25 – 3)

Функции распространения

Определение окрестности одного или большего количества целевых мест (источников) может зависеть не только от расстояния, но и также от направления и отличий местности в различных направлениях. Обычно целевое местоположение содержит "исходный материал", который распространяется через какое-то время. Этот "исходный материал" может быть воздухом, водой или загрязнением земли, выходящими пассажирами поезда, весенними водами, радиоволнами от ретрансляционной станции. Продвинутое методы анализа окрестности заключаются в вычислении распространения (Spread computations). Функции распространения основаны на предположении, что явление распространяется во всех направлениях, хотя не обязательно одинаково во всех направлениях. Поэтому, они используют локальные особенности местности, чтобы вычислить локальное сопротивление распространению. Локальные факторы местности влияют на

распространение, делая его легким или более сложным. Многие ГИС-программы обеспечивают поддержку этого вида вычисления распространения.

В ArcGIS 9.x этот вид анализа окрестности обеспечивают функции затратного расстояния (Cost distance functions). Здесь под термином "затраты" (Cost) в геопространственном анализе понимается любой вид прямых или относительных издержек на перемещение, выраженных в выбранных единицах - стоимости, длины, времени, энергии, сопротивления, импеданса и тому подобное.

Растр затрат

Растр затрат (Cost raster) определяет затраты на перемещения через каждую ячейку. Вычисление распространения включает одно или несколько целевых мест, которые являются расположениями источника любого распространения. Источник представляет расположение объекта интереса.

В общем случае растр затрат создается на основании нескольких критериев. Например, для создания растра затрат территории для строительства дороги исходными данными могут быть: А – растр типов грунтов, значения ячеек которого являются кодами типов грунтов, В – растр уклонов рельефа, значения ячеек которого выражены в процентах крутизны ската.

Исходные наборы данных могут быть в разных системах измерения. Поэтому для совместного использования их необходимо привести к общей шкале. Один из методов приведения к общей шкале есть переклассификация (Reclassifying) наборов данных. Например, для строительства дороги растр использования земель и растр уклонов рельефа могут быть переклассифицированы по шкале 1–10. При этом метод переклассификации для каждого растра определяется влиянием значения атрибута на относительные затраты в строительстве дороги. Следующий шаг в создании растра затрат - есть объединение приведенных к общей шкале растров. При равном влиянии исходных наборов данных на результат выполняют простое сложение двух растров. При разном влиянии исходных наборов данных на результат выполняют взвешенное сложение двух растров. Например, для строительства дороги итоговый растр затрат может быть получен выражением:

$$C := A * pA + B * pB$$

где pA , pB – веса растров

Функция «Затратное расстояние»

Функция Затратное расстояние (Cost distance) создает выходной растр расстояний в единицах накопленных затрат, в котором каждой ячейке присваивается значение, представляющее наименьшие накопленные затраты на перемещение от этой ячейки до ближайшего источника. При этом окрестность задается максимальным расстоянием от источника. Для вычисления выходного растра расстояний в единицах накопленных затрат требуются растр с источником и растр затрат.

Алгоритм вычисления использует представление ячейки узел/связь. В представлении узел/связь каждый центр ячейки считается узел, а каждый узел соединен с соседними узлами связями. При переходе от ячейки к одной из четырех соседней ячейки затраты на перемещения по связям с соседними узлами получаются по формуле:

$$a1 = (cost1 + cost2) / 2$$

где cost1 есть затраты ячейки 1, cost2 есть затраты ячейки 2 и a1 есть общие затраты связи из ячейки 1 в ячейку 2.

Если перемещение происходит по диагонали путь увеличивается в $1.414214 = \sqrt{2}$ раза, поэтому затраты перемещения по связи получаются по формуле:

$$a1 = 1,414214 (cost1 + cost2) / 2$$

Алгоритм использует итеративный процесс, который начинается с исходных ячеек. В первой итерации ячейкам источника назначается ноль, поскольку нет накопленных затрат на возвращение к себе. Далее, все соседи ячеек - источников активизируются, и затраты назначаются связям между узлами ячеек - источников и узлами соседних ячеек с использованием указанных выше формул. В последующей итерации список активных соседних ячеек расширяется с использованием ячейки самых низких затрат.

Накопленные затраты (Accumulative cost) вдоль пути наименьших затрат вычисляются как простая сумма затрат на перемещения по связям от попарных ячеек окрестности:

$$Accum_cost = a1 + a2 + \dots$$

Полученное значение присваивается ячейке, соответствующей началу перемещения до ближайшего источника. Результатом этого процесса является растр накопленных затрат или взвешенного расстояния.

1	1	1	2	8	14.50	14.95	15.95	17.45	22.45
4	4	5	4	9	12.00	12.45	14.61	16.66	21.44
4	3	3	2	10	8.00	8.95	11.95	13.66	19.66
4	5	6	8	8	4.00	6.36	8.00	10.00	11.00
4	2	1	1	1	0.00	3.00	4.50	5.50	6.50

Рис. 61. Вычисление распространения

Функция Затратное расстояние находит широкое применение при определении пути наименьших затрат во многих приложениях, например, при проектировании трассы дороги или магистрального трубопровода.

Функция «Направления наименьших затрат»

В поисковых вычислениях (Seek computations) предполагается, что для возврата к источнику феномен выберет путь наименьших накопленных затрат, а не распространение во всех направлениях. Примером могут быть потоки дождевых осадков. Это требует вычисления предпочитаемого локального направления распространения. Функция Направления наименьших затрат (Cost Back Link) в ArcGIS 9.x для каждой ячейки растра накопленных затрат вычисляет смежную ячейку с наименьшими накопленными затратами. Каждой ячейке присваивает код направления на смежную ячейку с наименьшими накопленными затратами в соответствии с системой кодирования на рис. 62.

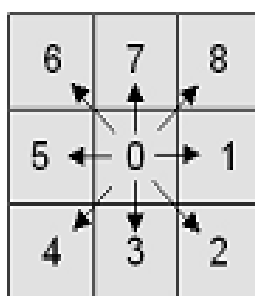


Рис. 62. Схема кодирования направлений

Иллюстрация функции направления наименьших затрат представлена на рис. 63

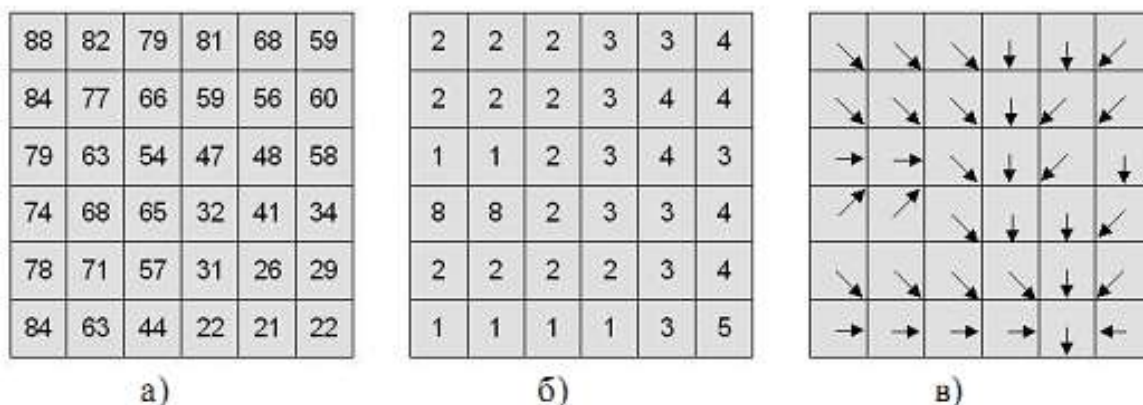


Рис. 63 – Иллюстрация функции направления наименьших затрат:
а) растр накопленных затрат, б) растр кодов направлений, в) растр направлений

Функции распределения Функция «Распределение»

Функция Распределение (Allocation function) создает выходной растр, в котором каждой ячейке присвоено значение ближайшей к ней ячейки - источника. Функция Распределение позволяет определить, какие ячейки, к какому источнику относятся, на основании значения по прямой.

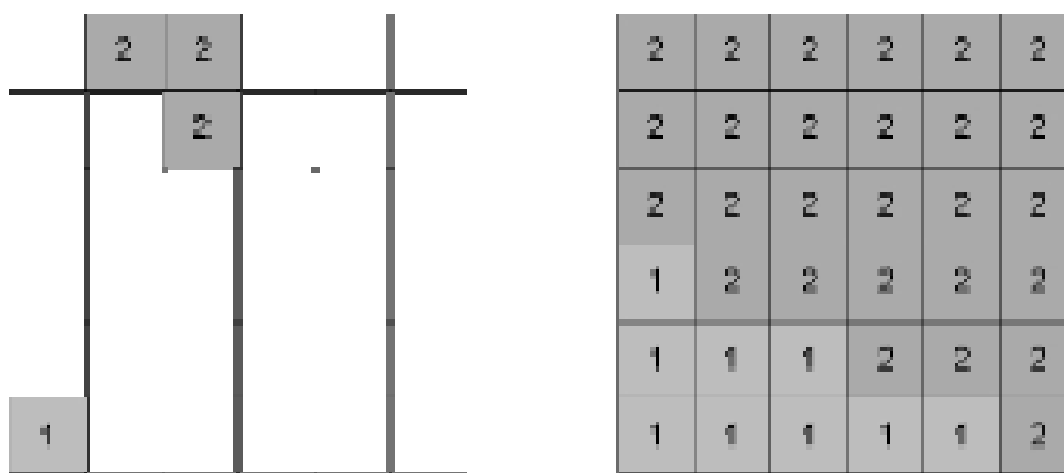


Рис. 64. Иллюстрация функции распределения:
а) растр источник, б) растр распределения.

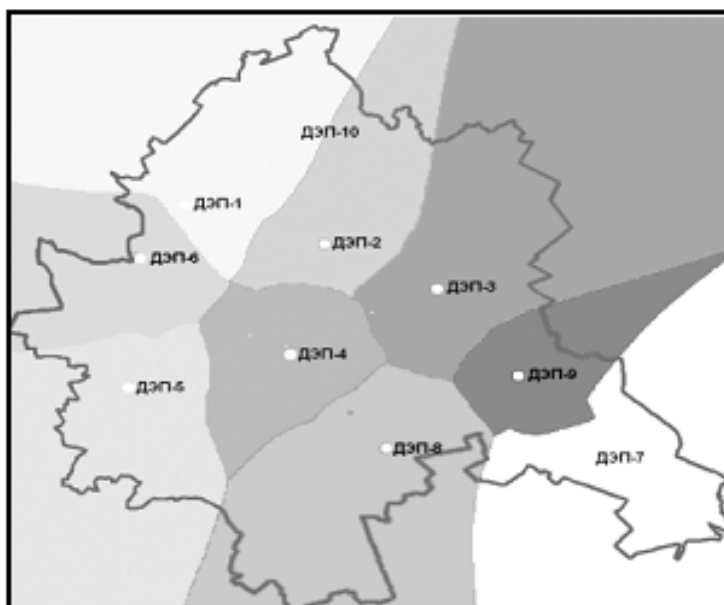


Рис. 65. Пример распределения зон обслуживания уличной дорожной сети

Функция Распределение используется для определения ближайших объектов к объекту - источнику. Например, а) ближайших пожарных гидрантов к объекту пожаротушения, б) он обслуживания уличной дорожной сети к техническим базам дорожно-эксплуатационных управлений города (рис. 65).

Функция «Затратное распределение»

Функция Затратное распределение (Cost Allocation) вычисляет для каждой ячейки ее ближайший источник по наименьшим накопленным затратам раstra накопленных затрат.

	2	2					1	3	4	4	3	2	2	2	2	2	2	2
		2					7	3	2	6	4	6	2	2	2	2	2	2
							5	6	7	5	6	6	1	2	2	2	2	1
							1	4	5		5	1	1	1	2		1	1
							4	7	5		2	6	1	1	1		1	1
1							1	2	2	1	3	4	1	1	1	1	1	1

Рис. 66. Иллюстрация функции затратного распределения:
а) растр источник, б) растр затрат, в) растр распределения.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Основные понятия. Определение ГИС. Назначение ГИС.....	3
История развития аппаратно-программных средств ГИС.....	6
Функциональные возможности ГИС.....	10
2. Графическое представление данных.....	11
Шкалы измерений.....	18
3. Топографические планы и карты.....	21
Картографические проекции.....	23
Разграфка и номенклатура топографических карт и планов.....	27
Условные знаки топографических карт и планов.....	31
Изображение рельефа.....	32
Системы координат для картографии.....	36
Картографический процесс.....	40
Картографические символы.....	41
4. Геоинформационные структуры данных.....	46
Представление пространственных данных.....	46
Основные структуры компьютерных файлов.....	47
Структура баз данных для управления файлами.....	49
Объектно-ориентированная модель данных.....	53
5. Концепция растровых моделей географических объектов.....	55
Определение растровых моделей.....	55
Источники растровых данных.....	56
Представление дискретных географических объектов.....	57
Представление непрерывных явлений регулярными моделями.....	58
Растровое представление поверхности.....	59
Сеточное представление поверхности.....	59
Характеристики растровых моделей.....	61
Таблица атрибутов растра.....	63
Растровые слои.....	65
Форматы растровых данных.....	66
Файл геопривязки растровых данных.....	68
6. Векторные модели географических объектов.....	68
Базовые понятия картографического представления географических объектов.....	68
Простые векторные модели географических объектов.....	69
Топологические векторные модели географических объектов....	72

Сравнение векторных моделей географических объектов.....	80
7. Исходные данные ГИС.....	84
Сбор и предварительная обработка географических данных.....	84
Источники географических данных.....	84
Топографические карты и планы аналоговые.....	85
Топографические карты и планы цифровые.....	86
Данные топографических съемок, измерений электронными тахеометрами и приемниками глобальной системы позиционирования.....	87
Материалы дистанционного зондирования Земли.....	88
Базовые наборы геопространственных данных.....	91
Интернет-источники цифровых пространственных данных.....	91
Общегеографические и тематические карты.....	92
Документация землеустройства.....	92
Градостроительная документация.....	93
Характеристики данных.....	94
Системный подход к предварительной обработке исходных данных.....	96
8. Общая характеристика геопространственного анализа.....	102
Задачи геопространственного анализа.....	103
Методология геопространственного анализа.....	104
Классификации аналитических средств ГИС.....	107
Функции классификации.....	115
9. Оверлейные функции.....	118
Векторные оверлейные операторы.....	121
Растровые оверлейные операторы.....	128
Функции окрестности.....	130