

## Лекция 1

### ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ОБЩЕЙ ГЕОИНФОРМАТИКИ

*Введение. Понятие информационных технологий и информационных систем. Понятие геоинформатики и геоинформационных систем. Возникновение и первоначальные задачи ГИС. Источники данных и их типы.*

#### Введение

В последние годы в Казахстане все большее внимание уделяется детальной оценке природно-ресурсного потенциала и экологической ситуации в отдельно взятом регионе, городе, сельской местности. Исследования с учетом экологического аспекта в наши дни не только самое популярное, но и жизненно необходимое направление деятельности.

На этом этапе развития общества картографическая продукция приобретает все более важное значение. Карта не только самое наглядное средство представления информации, она еще и инструмент анализа, синтеза, оценки экологических данных. Геоэкологическое картографирование включает в круг своих интересов темы и сюжеты, охватывающие как явления природы и общества, так и всевозможные особенности и последствия их взаимодействия.

Последнее десятилетие с ростом экологических исследований могут соперничать лишь темпы развития компьютерных технологий. И то и другое, несомненно, самые актуальные области в науках о Земле.

Согласно закону РК «Об информатизации» (ст.4 п.1) важнейшей целью государственной политики является формирование и развитие информационной инфраструктуры Республики с учетом современного мирового уровня развития информационных технологий, а также информационное обеспечение социального и экономического развития страны.

На Западе давно признано, что человечество вступило в информационный этап своего развития. И этот этап, по оценкам специалистов, оказывает огромное влияние на изменение современного человеческого бытия.

Информационные технологии, включают в себе работу с огромными массивами информации, оперативность и доступность, широкое распространение и масштабируемость в разных условиях. Все это приводит к тому, что большое число специалистов и пользователей из различных направлений и областей деятельности, в той или иной мере их освоили или находятся на стадии освоения и внедрения в свою работу.

Широко практикуется использование мощного программного обеспечения для составления и обновления компьютерных карт и атласов экологической тематики, создания специализированных геоинформационных систем, призванных решать задачи управления территориями. Многие

специалисты-экологи переходят на новый безбумажный уровень получения и интерпретации экологических данных, базирующийся на электронном представлении информации.

### Понятие информационных технологий и информационных систем

Информация (information) – 1. совокупность знаний о фактических данных и зависимостях между ними; «сведения, являющиеся объектом некоторых операций: передачи, распределения, преобразования, хранения или непосредственного использования»; 2. в вычислительной технике: данные, подлежащие вводу в компьютер, обрабатываемые на нем и выдаваемые пользователю. Законы, методы и способы накопления, обработки и передачи информации с помощью компьютеров и иных технических устройств, изучаются информатикой, а в приложениях к проблематике ГИС – геоинформатикой.

Система - это группа взаимосвязанных элементов и процессов.

Информационная система - это система, выполняющая процедуры над данными для получения информации, полезной для принятия решений.

### Понятие геоинформатики и геоинформационных систем

Геоинформационная система - это информационная система, использующая географически координированные данные.

К географически координированным данным (geographically referenced data) относятся:

- Географические широта и долгота;
- Прямоугольные координаты X и Y;
- Почтовые адреса;
- Почтовые индексы и иные коды, идентифицирующие предварительно разграниченные участки территории;
- Местоположение, зафиксированное на карте.

А теперь постараемся дать строгое определение геоинформационной системы:

Географическая информационная система (geographic(al) information system, GIS, spatial information system) – это система аппаратно-программных средств и алгоритмических процедур, созданная для цифровой поддержки, пополнения, управления, манипулирования, анализа, математико-картографического моделирования и образного отображения географически координированных данных.

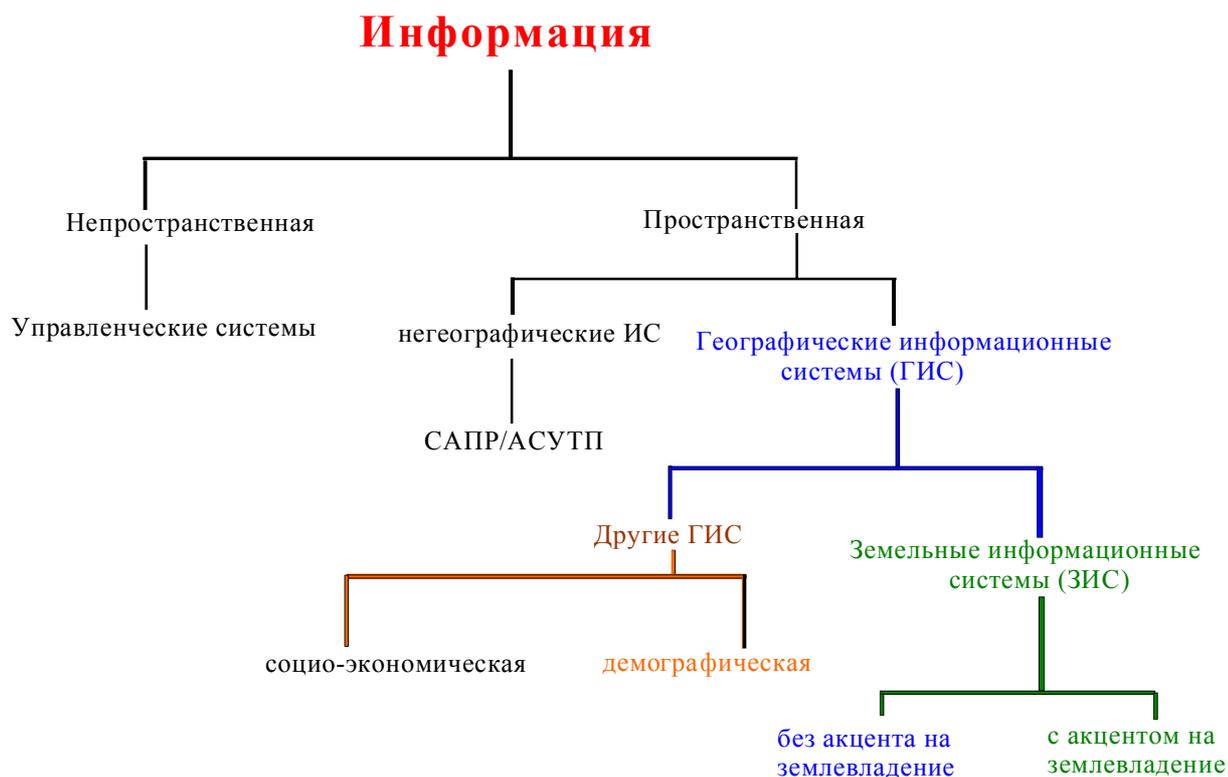


Рисунок 1 - Классификация информационных систем.

## Возникновение и первоначальные задачи ГИС

Что же подразумевают люди, когда они думают, что говорят о ГИС?  
На самом деле, очень разное.

Что это, например:

- Географическая информационная система (Geographical Information System - GIS)
- Пространственная информационная система (Spatial Information System - SIS)
- Земельная информационная система (Land Information System - LIS)
- Экологическая информационная система (Environment Information System - EIS)
- Автоматизированная картографическая система (Automated Mapping/Facilities Management - AM/FM)
- Геоинформатика (Geographic Information Science - GIS)
- Анализ географической информации (Geographic Information ANALYSIS - GIA)

Что безусловно отличает ГИС от иных информационных систем?

- 1) Обеспечивает взаимосвязь между любыми количественными и качественными характеристиками географических объектов и явлений,

представленных в базе данных в виде точек, линий, площадей и равномерных сеток;

2) Содержит алгоритмы анализа пространственно координированных данных;

3) Пространственно организованная и пространственно «мыслящая».

Почему о ГИС так много говорят и считают их столь важными?

Потому что ГИС:

1) интегрирует пространственную и любые иные типы информации;

2) предлагает единую концептуальную, методическую и технологическую основу для организации географически координированных данных;

3) позволяет рассматривать данные, основанные на признаках географического взаиморасположения объектов (близости/удаленности) в реальном окружающем нас мире;

4) предлагает новые, более близкие к аналоговым и потому легко воспринимаемые, способы манипулирования и отображения данных (посредством картографических образов).

Благодаря каким научным дисциплинам стало возможным появление и развитие ГИС?

- Геодезия
- География
- Дистанционное зондирование Земли
- Информатика
- Картография
- Математика
- Статистика
- Теория управления
- Топография
- Фотограмметрия

Каковы основные области приложения ГИС?

- Экология и природопользование
- Земельный кадастр и землеустройство
- Управление городским хозяйством
- Региональное планирование
- Демография и исследование трудовых ресурсов
- Управление дорожным движением
- Оперативное управление и планирование в чрезвычайных ситуациях

- Социология и политология

Чем занимаются специалисты, работающие в области ГИС и геоинформационных технологий?

- Накоплением первичных данных
- Проектированием баз данных
- Проектированием ГИС

- Планированием, управлением и администрированием геоинформационных проектов
- Разработкой и поддержкой ГИС
- Маркетингом и распространением ГИС-продукции и геоданных
- Профессиональным геоинформационным образованием и обучением ГИС-технологиям

#### Источники данных и их типы

Среди источников данных, широко используемых в геоинформатике, наиболее часто привлекаются картографические, статистические и аэрокосмические материалы. Помимо указанных материалов гораздо реже используются данные специально проводимых полевых исследований и съемок, а также текстовые источники. Важный признак используемых данных - в какой цифровой или нецифровой (аналоговой) форме получается, хранится и используется тот или иной тип данных, от чего зависят легкость, стоимость и точность ввода этих данных в цифровую среду ГИС.

Использование географических карт как источников исходных данных для формирования тематических структур баз данных удобно и эффективно по ряду причин. Сведения, считанные с карт, обладают следующими достоинствами:

- имеют четкую территориальную привязку,
- в них нет пропусков, “белых пятен” в пределах изображаемой территории,
- они в любой своей форме возможны для записи на машинные носители информации.

Картографические источники отличаются большим разнообразием, кроме общегеографических и топографических карт насчитываются десятки и даже сотни типов различных тематических карт.

Следует отметить особую роль серий карт и комплексных атласов, где сведения приводятся в единообразной, систематизированной, взаимосогласованной форме; по проекции, масштабу, степени генерализации, современности, достоверности и другим параметрам. Такие наборы карт особенно удобны для создания тематических баз данных. Прекрасным примером может служить трехмерный Атлас океанов, содержащий подробные сведения о природных условиях, физико-химических параметрах, биологических ресурсах Мирового океана, представленных на сериях карт разной тематики, разновременных и разновысотных (глубинных) срезов.

Одним из основных источников данных для ГИС являются материалы дистанционного зондирования. Они объединяют все типы данных, получаемых с носителей космического (пилотируемые орбитальные станции, корабли многоцелевого использования типа ”ШАТТЛ”, автономные спутниковые съемочные системы и т.п.) и авиационного базирования (самолеты, вертолеты и микроавиационные радиоуправляемые аппараты), и

составляют значительную часть дистанционных данных (remotely sensed data) как антонима контактных (прежде всего наземных) видов съемок, способов получения данных измерительными системами в условиях физического контакта с объектами съемки. К неконтактным (дистанционным) методам съемки помимо аэрокосмических относятся разнообразные измерительные системы морского (наводного) и наземного базирования, включая например фототеодолитную съемку, сейсмо -, электро - магниторазведку и иные методы геофизического зондирования недр, гидроакустические съемки рельефа морского дна с помощью гидролокаторов бокового обзора, иные способы, основанные на регистрации собственного или отраженного сигнала волновой природы.

Материалы аэрофотосъемки используются в основном для топографического картографирования, также широко применяется в геологии, в лесном хозяйстве, при инвентаризации земель. Космические снимки начали поступать с 60-х годов и к настоящему времени их фонд исчисляется десятками миллионов.

В последние годы в среде ГИС широко используются портативные приемники данных о координатах объектов с глобальной системы навигации (позиционированная) GPS, дающие возможность получать плановые и высотные координаты с точностью от нескольких метров до нескольких миллиметров, что в сочетании с портативными персональными ЭВМ и специализированным программным обеспечением обработки данных с системы GPS позволяет использовать их для полевых съемок в условиях необходимости их сверхоперативного выполнения (например, при ликвидации последствий стихийных бедствий и техногенных катастроф).

Обратившись к статистическим материалам, имеющим цифровую форму, можно сказать, что они удобны для непосредственного использования в ГИС, среди которых особое место занимает государственная статистика. Основное ее предназначение - дать представление об изменениях в народном хозяйстве, составе населения, уровне его жизни, развитии культуры, учете недвижимости, наличии материальных резервов и их использовании, соотношении в развитии различных отраслей хозяйства и др.

Для получения государственной статистики на территории страны обычно используется единая методика ее сбора.

## Термины и определения

*Источники пространственных данных (spatial data sources)* – аналоговые или цифровые данные, которые могут служить основой информационного обеспечения ГИС. Различают исходные, необработанные данные (raw data, primary data), обычно получаемые непосредственно от приемников, или сенсоров, данных в процессе сбора данных, например в

ходе дистанционного зондирования, и вторичные, обработанные, производные данные (secondary data). К четырем основным типам И.п.д. принадлежат: картографические источники, т.е. карты, планы, атласы и иные картографические изображения; данные дистанционного зондирования; данные режимных наблюдений на гидрометеопостах, океанографических станциях и т.п.; статистические данные ведомственной и государственной статистики и данные переписей. При оценке И.п.д. учитываются их пространственный охват, масштабы, разрешение, качество, форма существования (аналоговая – цифровая), периодичность съема или поступления, актуальность и обновляемость, условия и стоимость получения, приобретения и перевода в цифровую форму, доступность, форматы представления, соответствие стандартам.

*Карта (map, chart)* – математически определенное, уменьшенное, генерализованное изображение поверхности Земли, другого небесного тела, или космического пространства, показывающее расположенные, или спроецированные на них объекты в принятой системе условных знаков. По масштабу различают крупномасштабные карты (large scale maps) (1:100 000 и крупнее), среднемасштабные карты (medium scale maps) (1:200 000 – 1:1 000 000) и мелкомасштабные карты (smallscale maps) (мельче 1:1 000 000). В соответствии с содержанием различают следующие группы (виды) карт: общегеографические карты, тематические карты, в т.ч. карты природы, социально-экономические карты, карты взаимодействия природы и общества, а также специальные карты. Все они могут быть аналитическими, комплексными или синтетическими картами. По практической специализации различают: инвентаризационные карты, показывающие наличие и локализацию объектов; оценочные карты, характеризующие объекты по их пригодности для каких-либо видов хозяйственной деятельности; рекомендательные карты, показывающие размещение мероприятий, предлагаемых для охраны, улучшения природных условий и оптимального использования ресурсов; прогнозные карты, содержащие научное предвидение явлений, не существующих или неизвестных в настоящее время.

*Картографические проекции (map projections)* – математически определенный способ изображения поверхности Земного шара или эллипсоида (или другой планеты) на плоскости.

*Картограмма (cartogram, chorogram)* – 1. карта, показывающая распределение относительных показателей по определенным территориальным единицам, чаще всего – административным; 2. один из способов картографического изображения, применяемый для показа относительных статистических данных путем заполнения контуров территориального деления цветовыми заливками разного тона, штриховками разной плотности в соответствии с принятыми интервальными шкалами.

*Атлас (atlas, geographical atlas), географический атлас* – систематическое собрание карт, выполненных по единой программе и изданных в виде книги или набора листов. Атласы различают: по

пространственному охвату – Атласы планет, мира, континентов и океанов, групп государств, стран (национальный атлас), административных единиц или регионов (региональный атлас), городов, городских районов и т.п.; по содержанию – общегеографические атласы и тематические атласы, в т.ч. физико- и экономико-географические и комплексные; по назначению – научно-справочные атласы, краеведческие атласы, учебные атласы, школьные атласы, военные атласы, туристские атласы, дорожные атласы и т.п. По формату различают большие, или настольные атласы, атласы книжного формата и малые, или карманные атласы, а по способу создания – традиционные и компьютерные атласы в «бумажном» варианте или электронные атласы в «безбумажном» электронном виде.

*Данные дистанционного зондирования, ДДЗ (remote sensing data, aerospace data), данные аэрокосмического зондирования* – данные о поверхности Земли, объектах, расположенных на ней или в ее недрах, полученные в процессе съемок любыми неконтактными, т.е. дистанционными методами.

*Аэрофотоснимок (aerial photograph)* – двумерное фотографическое изображение земной поверхности, полученное с воздушных летательных аппаратов и предназначенное для исследования видимых и скрытых объектов, явлений и процессов посредством дешифрирования и измерений.

*Дешифрирование (interpretation, decoding), интерпретация* – процесс изучения по аэро- и космическим изображениям территорий, акваторий и атмосферы, основанный на зависимости между свойствами дешифрируемых объектов и характером их воспроизведения на снимках.

*Спутниковые системы позиционирования, ССП (Global Positioning System, GPS, GPS-system)*, спутниковые, космические, навигационные, радионавигационные, среднеорбитальные радионавигационные, геодезические, навигационно-геодезического назначения, навигационно-геодезического назначения, навигационно-геодезические системы – технологические комплексы, предназначенные для позиционирования объектов. Известны ССП первого поколения, основными из которых являются NNSS (TRANSIT) – США и ЦИКАДА – СССР. К второму, современному поколению относятся системы GPS (NAVSTAR) – США и ГЛОНАСС – Россия. Выделяют три подсистемы (сегмента): подсистема наземного контроля и управления (control-segment) – сеть наземных станций, которая обеспечивает спутники точными координатами и другой информацией; подсистема созвездия спутников (space-segment), состоящая из 24 космических аппаратов, постоянно передающих сигналы, необходимые для позиционирования; подсистема аппаратуры пользователей (user-segment) включает приемники позиционирования с антеннами, накопителями результатов измерений и программным обеспечением обработки данных. Достоинства ССП – глобальность, оперативность, всепогодность, оптимальная точность, эффективность.

## Лекция 2

### КЛАССИФИКАЦИЯ ГИС

*Классификация ГИС. Структура ГИС. Организация информации в ГИС. Подсистема ввода данных. Подсистема хранения и редактирования. Подсистема анализа. Подсистема вывода. История развития ГИС. Основные черты развития геоинформатики в Казахстане.*

#### Классификация ГИС

ГИС системы разрабатываются с целью решения научных и прикладных задач по мониторингу экологических ситуаций, рациональному использованию природных ресурсов, а также для инфраструктурного проектирования, городского и регионального планирования, для принятия оперативных мер в условиях чрезвычайных ситуаций и др.

Множество задач, возникающих в жизни, привело к созданию различных ГИС, которые могут классифицироваться по следующим признакам:

По пространственному, или территориальному, охвату (в зависимости от размера геопространства и в связи с масштабным рядом цифровых картографических материалов, используемых для формирования базы данных ГИС):

- *глобальные, или планетарные, ГИС, global GIS* (соответствуют масштабам 1 : 4 500 000 и менее);
- *субконтинентальные ГИС;*
- *национальные (государственные) ГИС* (соответствуют масштабам 1 : 2 500 000 - 1 : 20 000 000);
- *региональные ГИС, regional GIS* (соответствуют масштабам 1 : 500 000 - 1 : 4 000 000);
- *субрегиональные ГИС;*
- *локальные, или местные, ГИС, local GIS* (соответствуют масштабам 1 : 50 000 - 1 : 1 000 000);
- *муниципальные ГИС* (соответствуют масштабу 1 : 50 000 и крупнее).

По предметной области информационного моделирования, или по проблемно-тематической ориентации (в зависимости от области применения):

- *городские, или муниципальные, ГИС, МГИС (urban GIS);*
- *общегеографические;*
- *природоохранные ГИС (environmental GIS);*
- *социально-экономические;*
- *геологические;*

- *чрезвычайных ситуаций;*
- *навигационные;*
- *транспортные;*
- *торгово-маркетинговые;*
- *археологические;*
- *земельные информационные системы (ЗИС).*

По назначению (в зависимости от целевого использования и характера решаемых задач):

- *многоцелевые;*
- *информационно-справочные;*
- *мониторинговые и инвентаризационные;*
- *исследовательские;*
- *принятия решений;*
- *учебные;*
- *издательские;*
- *иного назначения.*

По функциональным возможностям:

- *полнофункциональные ГИС общего назначения;*
- *специализированные ГИС (ориентированы на решение конкретной задачи в какой либо предметной области);*
- *информационно-справочные системы (для домашнего и информационно-справочного пользования).*

По расширяемости функциональных возможностей:

- *закрытые системы* - не имеют возможностей расширения, они способны выполнять только тот набор функций, который однозначно определен на момент покупки.

- *открытые системы* - отличаются легкостью приспособления, возможностями расширения, так как могут быть достроены самим пользователем при помощи специального аппарата (встроенных языков программирования).

По способу организации географических данных:

- *векторные;*
- *растровые;*
- *векторно-растровые;*
- *трехмерные ГИС.*

### Классификация программных средств ГИС-технологий:

	Ввод и формирование пространственных данных	Создание и ведение атрибутивных баз данных	Запросы к базам данных	Пространственный анализ
ГИС-конструкторы	да	да	да	да
ГИС-аналитики	ограничен	да	да	да
ГИС-зрители	нет	ограничен	да	ограничен

ГИС-конструкторы (инструментальные полнофункциональные ГИС) - системы с наиболее широкими возможностями, включающие ввод, редактирование, хранение (как пространственной, так и атрибутивной информации), а также сложные процедуры пространственного анализа и моделирования геоданных. Все это реализуется при помощи встроенного универсального инструментария или с помощью специальных языков для разработки приложений.

Отдельным классом сегодня выделилась группа ГИС-продуктов для анализа данных готовых проектов - настольные ГИС-аналитики, обладающие многими свойствами своих полнофункциональных прототипов, но при этом требующие минимальных вычислительных ресурсов. Главная задача этого класса программного обеспечения ясна уже из их названия - это анализ информации, содержащейся в базах данных (БД). ГИС-аналитики также как и ГИС-конструкторы могут включать язык программирования, существенно расширяющий их возможности. Практически все из них позволяют организовать высококачественный вывод карт и таблиц на твердый носитель.

Многие тяжелые инструментальные ГИС сопровождаются средствами для конечного пользователя - ГИС-зрителями. Они предназначены в основном для просмотра ранее введенной и структурированной по правам доступа информации. Во все ГИС-зрители включается инструментарий запросов к локальным и удаленным базам данных. Как правило, ГИС-зрители предоставляют пользователю (если предоставляют вообще) крайне ограниченные возможности пополнения баз данных и предназначены в основном для просмотра и поиска необходимой информации. Сегодня этот класс продуктов становится основным инструментом в геоинформационных WEB-технологиях, позволяя извлекать и визуализировать данные из удаленных информационных узлов сети INTERNET.

ГИС – конструкторы (полнофункциональные модульные ГИС, производственные картографические системы, промышленные СУБД)

ГИС – аналитики (полнофункциональные настольные ГИС, промышленные и настольные СУБД)

ГИС – зрители (настольные ГИС-зрители, сетевые ГИС-клиенты , Web-браузеры)

## Структура ГИС

При всем многообразии операций, целей, областей информационного моделирования, проблемной ориентации и иных атрибутов, характерных для создаваемых и действующих ГИС, логически и организационно в них можно выделить несколько конструктивных блоков, называемых также модулями или подсистемами, выполняющими более или менее четко определенные функции. Функции ГИС в свою очередь вытекают из четырех типов решаемых ею задач: сбор, обработка, моделирование и анализ.

Таким образом, ГИС имеют следующие подсистемы:

1. *Подсистема сбора данных*, которая собирает и проводит предварительную обработку данных из различных источников. Эта подсистема также в основном отвечает за преобразования различных типов пространственных данных (например, от изолиний топографической карты к модели рельефа ГИС).

2. *Подсистема хранения и выборки данных*, организующая пространственные данные с целью их выборки, обновления редактирования.

3. *Подсистема манипуляции* данными и анализа, которая, выполнив различные задачи на основе этих данных, группирует и разделяет их; устанавливает параметры и ограничения и выполняет моделирующие функции.

4. *Подсистема вывода*, которая отображает всю базу данных или часть ее в табличной, диаграммной или картографической форме.

В общем случае, несмотря на разные цели ГИС-обработки, различное качество исходных материалов и разных технологий их обработки, ГИС призвана обеспечить:

- единую систему сбора и ввода геопространственных данных, взятых из разных источников;

- создание, ведение, хранение баз данных на основе поступающих сведений;

- генерирование новой производной информации на основе анализа, моделирования и синтеза имеющихся данных;

- подготовку и выдачу пространственных решений с использованием современных геоинформационных технологий.

### Обобщенные функции ГИС-систем:

1. Ввод и редактирование данных;
2. Поддержка моделей пространственных данных;
3. Хранение информации;
4. Преобразование систем координат и трансформация картографических проекций;
5. Растрово-векторные операции;
6. Измерительные операции;

7. Полигональные операции;
8. Операции пространственного анализа;
9. Различные виды пространственного моделирования;
10. Цифровое моделирование рельефа и анализ поверхностей;
11. Вывод результатов в разных формах.

Сущность перечисленных функций будет рассмотрена в дальнейшем.

Исходя из этого, а также из вышерассмотренных базовых функций и основных функциональных возможностей ГИС, представим структуру типичной ГИС в виде следующих функциональных блоков обработки информации (рис. 1):

- ввода, восприятия и предварительной обработки информации;
- создания, ведения и хранения баз данных;
- обработки информации и моделирования;
- отображения и передачи информации.

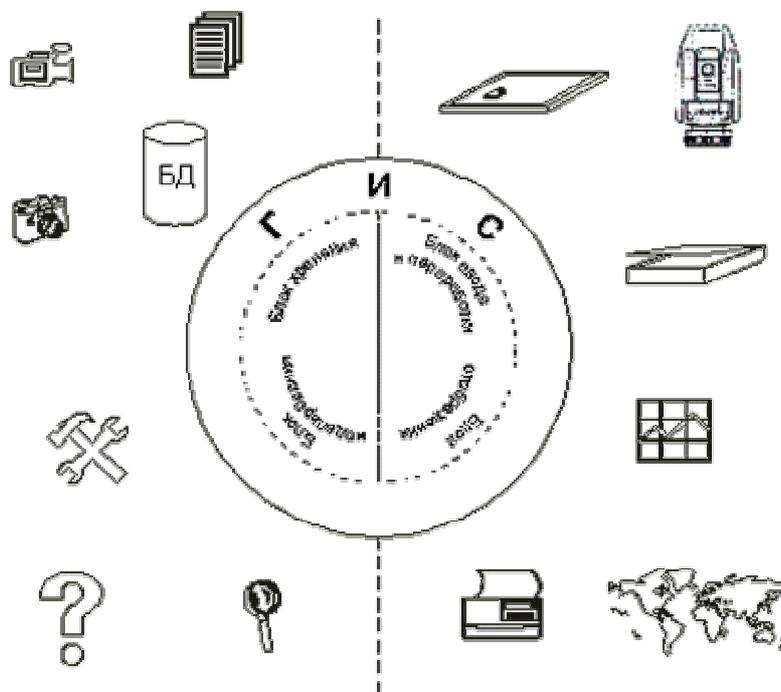


Рисунок 1 – Функциональные блоки ГИС

Дадим краткую характеристику каждого из приведенных блоков.

#### Подсистема ввода данных

Блок ввода, восприятия и предварительной обработки информации. Для реализации функции приема и предварительной обработки данных аппаратно-программные средства ГИС должны обеспечить ввод и восприятие данных со следующих устройств: дигитайзера с ручным обводом и автоматическим съемом координат; сканеров ввода графической и полутоновой информации, как с черно-белых, так и с цветных изображений и, естественно, со стандартных устройств ввода информации в компьютер.

Кроме того, должен обеспечиваться прием данных из электронных геодезических приборов и с цифровых фотограмметрических станций.

Программные средства для предварительной обработки данных, прежде всего, должны обеспечить возможность осуществлять векторизацию исходных графических данных, редактирование векторизованных данных, фильтрацию и сжатие исходной информации, конвертирование данных в требуемые форматы.

#### Подсистема хранения и редактирования

Блок создания, ведения и хранения баз данных. Для хранения геометрических (графических) данных очень важной характеристикой программных средств является набор поддерживаемых моделей представления этих данных. Модели представления геометрических данных определяют потенциальную возможность и характер операций пространственной обработки информации в ГИС.

Для хранения текстовых данных большинство программных средств применяет модели данных современных СУБД, среди которых выделяются иерархические, сетевые и реляционные модели. Среди перечисленных моделей, реляционная модель нашла особо широкое применение при разработке инструментальных средств ГИС. В последнее время ПО ГИС начали поддерживать так называемую объектно-реляционную модель данных, применяемую в большом проекте СУБД, например, ORACLE и DB2. Кроме хранения графической и текстовой (атрибутивной) информации, современные инструментальные ГИС предоставляют возможность хранения, а также связывания графических объектов на ЦКИ с визуальной (фото-, видео-) и звуковой информацией. Примером использования этой возможности может служить звуковой рассказ об объекте, представленный некоторым специалистом и записанный на винчестер с магнитофона. Таким образом, можно говорить об использовании в ГИС средств мультимедиа.

#### Подсистема анализа

Блок обработки информации и моделирования. Этот блок является главным модулем ГИС, который в основном и определяет целевую направленность обработки данных для конкретной пространственной задачи. Он состоит из пакетов прикладных программ и процедур, образующих предметное ГИС-приложение. Основными функциями этого блока являются функции пространственного анализа.

#### Подсистема вывода

Блок отображения и передачи информации. Программные средства ГИС должны обеспечить визуализацию пространственных и других графических и видеоданных, а также результатов выполнения различных

запросов. Кроме того, эти средства должны иметь возможности создания "твердых копий" для различных широкоформатных устройств, таких, как струйные плоттеры, просто принтеры или фотопечатные машины.

Приведенные схемы соответствуют современным полномасштабным многофункциональным и универсальным ГИС, хотя в конкретных реализациях возможно изменение баланса между их отдельными блоками или редуцирование отдельных подсистем (модулей).

## История развития ГИС

Одна из наиболее интересных черт раннего развития ГИС, особенно в шестидесятые годы, заключается в том, что первые инициативные проекты и исследования сами были географически распределены по многим точкам, причем эти работы осуществлялись независимо, часто без упоминания и даже с игнорированием себе подобных.

Возникновение и бурное развитие ГИС было предопределено богатейшим опытом топографического и, особенно, тематического картографирования, успешными попытками автоматизировать картосоставительский процесс, а также революционными достижениями в области компьютерных технологий, информатики и компьютерной графики.

Особо следует отметить идеи и опыт комплексного тематического картографирования, убедительно продемонстрировавшего эффект системного использования разнохарактерных данных для извлечения новых знаний о географических объектах. Комплексность и интегративность до сих пор остается важнейшим свойством ГИС, привлекающим пользователей.

Интересно, что один из первых удачных опытов использования принципа комплексирования (совмещения и наложения) пространственной данных с помощью согласованного набора карт датируется XVIII веком! Французский картограф Луи-Александр Бертье (Louis-Alexandre Berthier) использовал прозрачные слои, накладываемые на базовую карту для показа перемещения войск в сражении под Йорктауном (Yorktown).

В истории развития геоинформационных систем можно выделить четыре периода

<p><u>Пионерный период</u>          поздние 1950е          ранние 1970е гг.</p>	<p>Исследование принципиальных возможностей, пограничных областей знаний и технологий, наработка эмпирического опыта, первые крупные проекты и теоретические работы</p>
<p><u>Период государственных инициатив</u>          ранние 1970е          ранние 1980е гг.</p>	<p>Развитие крупных геоинформационных проектов поддерживаемых государством, формирование государственных институтов в области ГИС, снижение роли и влияния отдельных исследователей и небольших групп</p>

<p><u>Период коммерческого развития</u> ранние 1980е настоящее время</p>	<p>Широкий рынок разнообразных программных средств, развитие настольных ГИС, расширение области их применения за счет интеграции с базами непространственных данных, появление сетевых приложений, появление значительного числа непрофессиональных пользователей, системы, поддерживающие индивидуальные наборы данных на отдельных компьютерах, открывают путь системам, поддерживающим корпоративные и распределенные базы геоданных</p>
<p><u>Пользовательский период</u> поздние 1980е настоящее время</p>	<p>Повышенная конкуренция среди коммерческих производителей геоинформационных технологий услуг дает преимущества пользователям ГИС, доступность и "открытость" программных средств позволяет использовать и даже модифицировать программы, появление пользовательских "клубов", телеконференций, территориально разобщенных, но связанных единой тематикой пользовательских групп, возросшая потребность в геоданных, начало формирования мировой геоинформационной инфраструктуры</p>

Первый период развивался на фоне успехов компьютерных технологий: появление электронных вычислительных машин (ЭВМ) в 50-х годах, цифрователей, плоттеров, графических дисплеев и других периферийных устройств в 60-х при одновременном, часто независимом друг от друга, создании программных алгоритмов и процедур графического отображения информации на дисплеях и с помощью плоттеров, формальных методов пространственного анализа, программных средств управления базами данных.

Большое влияние в этот период оказывают теоретические работы в области географии и пространственных взаимосвязей, а также становление количественных методов в географии в США, Канаде, Англии, Швеции (работы У.Гаррисона (William Garrison), Т.Хагерстранда (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

60-х годах, эта крупномасштабная ГИС поддерживается и развивается по сей день.

"Отцом" ГИС Канады считается Роджер Томлинсон (Roger Tomlinson), под руководством которого были разработаны и 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, которые бы использовались 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.

Что же принципиально нового внесли создатели ГИС Канады в становление и развитие ГИС-технологий? Использование сканирования для автоматизации процесса ввода геоданных. Расчленение картографической информации на тематические слои и разработка концептуального решения о "таблицах атрибутивных данных", что позволило разделить файлы плановой (геометрической) геоинформации о местоположении объектов и файлы, содержащие тематическую (содержательную) информацию об этих объектах.

Функции и алгоритмы оверлейных операций с полигонами, подсчет площадей и других картометрических показателей и многое другое...

Большое воздействие на развитие ГИС оказала Гарвардская лаборатория компьютерной графики и пространственного анализа (Harvard Laboratory for Computer Graphics & Spatial Analysis) Массачусетского технологического института. Ее основал в середине 60-х годов Говард Фишер (Howard Fisher) с целью разработки программных средств многофункционального компьютерного картографирования, которые стали существенным шагом в алгоритмическом совершенствовании ГИС и оставались ими вплоть до начала 80-х годов. В настоящее время эти исследования продолжают в более меньших масштабах.

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, PMAP, aMAP.

Одним из производных программных продуктов, свободно распространяемых в сети Internet, является OSU-MAP, созданный в Университете штата Огайо выходцами из Гарвардской лаборатории.

Благодаря работам 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.

Наиболее известными программными продуктами Гарвардской лаборатории являются:

SYMAP (система многоцелевого картографирования)

CALFORM (программа вывода картографического изображения на плоттер)

SYMVU (просмотр перспективных (трехмерных) изображений)

ODYSSEY (предшественник знаменитого ARC/INFO)

В конце 60х годов в США сформировалось мнение о необходимости использования ГИС-технологий для обработки и представления данных Национальных Переписей Населения (US Census Data).

Потребовалась методика, обеспечивающая корректную географическую "привязку" данных переписи. Основной проблемой стала 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) разработало комплексный подход к "географии переписей" и 1970 год - год очередной Национальной Переписи США, проводимой раз в десять лет - впервые стал годом "географически локализованной переписи".

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: автоматизированные системы навигации, системы вывоза городских отходов и мусора, движение транспортных средств в чрезвычайных ситуациях и т.д.

Одновременно на основе этой информации была создана серия атласов крупных городов, содержащих результаты Переписи 1970 года, а также большое количество упрощенных компьютерных карт для маркетинга, планирования розничной торговли и т.д.

Остановимся лишь на двух исторических примерах третьего периода.

Еще в 1969 году Джек Денджермонд (Jack Dangermond) организовал Исследовательский институт экологических систем (Environmental Systems Research Institute, ESRI, Inc.), деятельность которого основывалась на методах, технологиях и идеях, разработанных в Гарвардской лаборатории и других организациях.

В НАЧАЛЕ 1980-Х ГОДОВ БЫЛ РЕАЛИЗОВАН ЗНАМЕНИТЫЙ ARC/INFO.

ARC/INFO был и остается наиболее успешным воплощением идей ГИС Канады о раздельном внутреннем представлении геометрической (графической) и атрибутивной информации. Причем для хранения и работы с атрибутивной информацией в виде таблиц (INFO) был успешно применен 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 стал первым программным пакетом ГИС, который эффективно использовал 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 аппаратно-программных средств для ГИС стал и до сих пор является Intergraph, Corp.

Эта фирма была организована в 1969 году, 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 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 этот период (4) пример нового отношения к пользователям показали разработчики и владельцы геоинформационного программного продукта GRASS (Geographic Resources Analysis Support System) для рабочих станций,

созданного американскими военными специалистами (Army Corps of Engineers) для задач планирования природопользования и землеустройства.

Они открыли GRASS для бесплатного пользования (public-domain), включая снятие авторских прав на исходные тексты программ. В результате, пользователи и программисты могут создавать собственные приложения, интегрируя GRASS с другими программными продуктами.

В настоящее время GRASS Version 4.1, созданная в 1993 году, включая исходные тексты программ, системную и справочную документацию, учебное пособие для пользователей, ряд наборов данных в качестве примеров, открыто распространяется в сетях Internet.

Примеру Army Corps of Engineers последовал ESRI, Inc., открывший в 1994 году для неограниченного бесплатного пользования свой программный продукт ArcView 1 for Windows, который также доступен в сетях Internet.

Насыщение рынка программных средств для ГИС, в особенности, предназначенных для персональных компьютеров (Desktop GIS) резко увеличило область применения ГИС-технологий.

Это потребовало существенных наборов цифровых геоданных, а также необходимости формирования системы профессиональной подготовки и обучения специалистов по ГИС.

В наиболее развитых в геоинформационном отношении странах эти проблемы решаются в настоящее время путем формирования государственных национальных и международных инициатив по разработке и созданию т.н. Инфраструктур Геопространственных Данных, включающих вопросы ГИС-технологии, телекоммуникации, стандартизации данных и профессиональной подготовки.

Так, например, 19 октября 1990 года в США, был опубликован Циркуляр А-16, направленный на "максимальное развитие национальных цифровых ресурсов пространственной информации, с привлечением к этой деятельности федеральных, региональных и местных органов управления, а также частного сектора. Эти национальные информационные ресурсы, взаимосвязанные с помощью единых критериев и стандартов, обеспечат распространение и эффективный обмен пространственными данными между производителями и пользователями". Для этих целей был создан Федеральный Комитет Пространственных Данных.

В развитие Циркуляра А-16, 11 Апреля 1994 Президент Клинтон издал Правительственное распоряжение под названием "Координация в области получения и доступа к данным: Национальная Инфраструктура Пространственных данных".

К сожалению, Казахстан и бывший СССР не участвовали в мировом процессе развития геоинформационных технологий вплоть до середины 1980-х годов. Тем не менее, наша страна имеет свой опыт развития геоинформационных систем и технологий.

## Основные черты развития геоинформатики в Казахстане.

Геоинформационные системы в Республике Казахстан, как и на всем постсоветском пространстве, в последнее десятилетие развивались хаотически. Возможности ГИС в той или иной мере включались в пилотные проекты различных министерств, ведомств и учреждений, но, как правило, на локальном уровне. А программное обеспечение использовалось зачастую пиратское. Концепций построения таких систем также не было. Все это приводило к безрезультатному топтанию на месте. В целом, полноценное внедрение ГИС, как одного из мощных аналитических инструментов поддержки развития экономики государства, находилось в зачаточном состоянии.

### Первая попытка

В 1998-99 годах Казахстан предпринял беспрецедентную акцию. По Пилотному проекту

регистрации недвижимости через Министерство юстиции было закуплено 147 лицензий

ArcView и 5 ArcInfo, обучено достаточное количество специалистов. Подразумевалось, что ГИС будет активно внедряться в систему регистрации недвижимости. Но... Лицензии были благополучно развезены по местам, специалисты вернулись в родные учреждения и стали заниматься текущими делами. В целом, проект решил задачу создания самой структуры по регистрации недвижимости. А ГИС, являвшаяся частью проекта, была благополучно отодвинута на задний план, это направление не получило дальнейшего развития. Но время пришло, и начинания, заложенные проектом, неожиданно дали свои результаты в другом учреждении, в организации, имеющей прямую заинтересованность в геоинформационных системах, Агентстве Республики Казахстан по управлению земельными ресурсами, которое также было участником Пилотного проекта по регистрации недвижимости, но как партнер без права решающего голоса.

### Время учения

Город Астана (бывший Целиноград, бывший Акмола), став в новейшей истории Казахстана столицей государства, стал и центром распространения продуктов ESRI.

В 2001 г. в государственном предприятии «АстанагорНПЦзем», принадлежащем Агентству по управлению земельными ресурсами, открывается Отдел современных геотехнологий. За громким названием стояли 3 человека. Задача, по тем временам, перед Отделом стояла грандиозная – создать автоматизированную систему земельного кадастра (АС ЗК) г. Астаны. Тут и пригодились знания, программные продукты, компьютерная техника, современное геодезическое оборудование – наследство Пилотного проекта по регистрации недвижимости. Вспоминая учебные курсы, разыскивая информацию в Интернете, отдел создал множество модулей, которые объединялись в единое целое – АС ЗК Астаны.

Предприятием, осуществляющим услуги по оформлению земельно-кадастровых документов, является «АстанагорНПЦзем», оно входит в систему ГосНПЦземов (научно\_производственные центры по землеустройству и земельному кадастру).

При создании системы использовались следующие программные продукты: РСУБД Oracle 8, ArcView 3.1, ArcInfo 7.1. Для каждого модуля системы программировался свой интерфейс для ввода данных.

#### Перемены

Весной 2002 г. результаты Пилотного проекта по регистрации недвижимости опять проявили себя. С помощью фирмы ДАТА+ был проведен апгрейд 8 лицензий ArcView 3.1 на ArcView 8.1 по технической поддержке, оплаченной еще в 1998 г. С того времени ГИС земельного кадастра получила новый импульс развития. Все данные по городу Астана были преобразованы и отображены в новом формате базы геоданных.

Параллельно начались работы по оформлению отвода земель для Казахстанской железной дороги. По заданию заказчиков топографическую основу и отводимые участки необходимо было представить в электронном виде, который в дальнейшем будет основой ГИС железной дороги. По трем областям Республики (Акмолинской, Павлодарской и Костанайской) были проведены полевые работы с использованием GPS и электронных тахеометров, создана векторная топографическая основа масштабов 10 000 и 2000. ArcGIS 8 обеспечила качественное представление и распечатку графических отчетов.

Еще одной хорошей новостью 2002 года было известие о том, что компания ESRI предоставила грант Республике Казахстан в виде своих программных продуктов и бесплатного обучения в США, что несомненно указывает на признание профессионализма казахстанских специалистов.

К концу 2001 г. штат Отдела современных технологий вырос до 8 человек. С началом разработки подсистем АИС ГЗК он получил статус ГИС Лаборатории, в которой к осени 2002 г. работало уже 35 специалистов. Накопленный опыт и изучение подобных разработок сопредельных стран помогли определить две основополагающие программные среды, в которых далее разрабатывались подсистемы: Oracle, как промышленная база данных, и ArcObject, как среда разработки интерфейсов и процедур представления как графики, так и атрибутов.

#### 2003г.

Соединенные штаты. Сан-Диего. Конвеншн Центр. Конференция пользователей программных продуктов ESRI. Среди множества флагов разных стран с разных континентов впервые в истории появляется изображение желтого орла под солнцем на небесном фоне. Казахстанская компания удостоена чести получить награду за развитие ГИС. Агентство по управлению земельными ресурсами официально признается первой организацией по внедрению ГИС в Казахстане.

#### Настоящее время

Геоинформационные технологии внедряются и в других министерствах и ведомствах. Долгосрочные перспективы концептуально определены. Все они в той или иной мере связаны с общей политикой государства в сфере информатизации – высокотехнологичность, направленная на увеличение добавленной стоимости продукции, электронное правительство, оказание государственных услуг с использованием Интернета.

## Лекция 3

### ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

*Точечные объекты. Линейные объекты. Площадные объекты. Поверхности. Тела. Атрибуты пространственных элементов. Шкалы измерения атрибутов. Связь графических элементов с атрибутами.*

#### Пространственные элементы

Все реальные объекты отображаются на картах какими либо условными знаками, точками, линиями, полигонами или поверхностями. Кроме того, немаловажным фактором является цветовая градация объектов, например изображение ландшафта или распределение плотности населения. Примеры картографического представления объектов реального мира основными типами графических примитивов можно увидеть на рисунке 1.

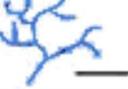
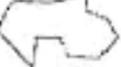
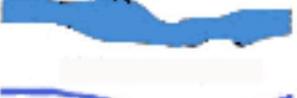
Картографическое представление				
		точечное	линейное	площадное
Объекты реального мира	точечные	 - дерево	 Цепь валунов	 животные  ареал
	линейные	 →  аэропорт	 железная дорога	 речная сеть  бассейн реки
	площадные	 →  пятно загрязнения      хим.	 водохранилище	 земельный участок
	объемные	 →  карьер	 долина реки	 →  ирригационный сток

Рисунок 1 - Объекты реального мира и картографическое представление

*Пространственный объект (feature, spatial feature), географический объект* – цифровое представление объекта реальности – цифровая модель объекта местности, содержащая его местоположение и набор свойств, характеристик, атрибутов (позиционных и непозиционных пространственных данных соответственно) или сам этот объект.

Некоторое множество цифровых данных о пространственных объектах образует пространственные данные. Они состоят из двух взаимосвязанных частей: позиционной (тополого-геометрической) и непозиционной (атрибутивной) составляющих, которые образуют описание пространственного положения и тематического содержания данных.

Выделяют четыре основных типа пространственных объектов: точечные (точки), линейные (линии), площадные, или полигональные, контурные (полигоны) и поверхности (рельефы), нуль-, одно-, дву- и трехмерные соответственно, а также тела.

Точки, линии и полигоны объединяет понятие плоских, или планиметрических, объектов, поверхности и тела относят к типу трехмерных, или объемных объектов. Совокупности простых пространственных объектов могут объединяться в составной пространственный объект. Полный набор однотипных объектов одного класса в пределах данной территории образует слой. Перечисленные элементарные пространственные объекты иногда называются примитивами, в том числе геометрическими примитивами и топологическими примитивами по аналогии с графическими примитивами в компьютерной графике.

Точки, линии, области и поверхности вместе могут представлять большинство природных и социальных феноменов, которые мы встречаем каждый день. В рамках ГИС объекты реального мира явно представляются тремя типами объектов из указанных. Точки, линии и области могут представляться соответствующими символами, поверхности же представляются чаще всего либо высотами точек, либо другими компьютерными средствами. Феномены непространственные по своей природе не могут непосредственно исследоваться в ГИС, если только им не присвоить некоторые представляющие их пространственные характеристики. Рассмотрим пространственные объекты более подробно.

### Точечные объекты

*Точка, точечный объект (point, point feature)* – нульмерный объект, один из четырех основных типов пространственных объектов, характеризуемый координатами и ассоциированными с ними атрибутами; совокупность точечных объектов образует точечный слой.

*Точечные объекты* - это такие объекты, каждый из которых расположен только в одной точке пространства. Примером таких объектов могут быть деревья, дома, перекрестки дорог, и многие другие. О таких объектах говорят, что они дискретные, 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. В действительности, все точечные объекты имеют некоторую пространственную протяженность, пусть самую малую, иначе мы просто не смогли бы их увидеть. Принимаем отсутствие длины и ширины так, что, например, при измерениях атмосферного давления, характеризуемых потенциально бесконечным числом точек, сами точки всегда занимают определенные местоположения без каких-либо перекрытий. Масштаб, при котором мы наблюдаем эти объекты, задает рамки, определяющие представление этих объектов как точек. Например, если вы смотрите на дом с расстояния нескольких метров, то сооружение выглядит внушительным и имеет существенные длину и ширину. Но это представление меняется, когда вы начинаете отдаляться: чем дальше, - тем меньше дом выглядит как площадный объект, тем больше — как точечный.

### Линейные объекты

*Линия, линейный объект (line, line feature)* – 1.одномерный объект, один из четырех основных типов пространственных объектов, образованный последовательностью не менее двух точек с известными плановыми координатами (линейных сегментов или дуг); совокупность линий образует линейный слой. 2. обобщенное наименование линейных графических и пространственных объектов и примитивов: линий в указанном выше смысле, сегментов и дуг, границ полигона.

Полное множество терминов, соответствующих линейным элементам векторно-топологического представления пространственных объектов с учетом их геометрической и топологической составляющих, закреплено, например, в стандарте SDTS: «line – одномерный объект; line segment – одномерный объект, представляющий собой прямую между двумя точками; link – одномерный объект, непосредственно соединяющий два узла (иначе – edge); directed link – «линк» со специфицированным направлением; string – последовательность линейных сегментов; chain – направленная последовательность непересекающихся линейных сегментов с узлами на их концах; факультативно могут быть указаны левый и правый идентификатор; arc – геометрическое место точек, образующих кривую, описанную некоторой математической функцией; ring – замкнутая последовательность непересекающихся chains, strings или arcs, образующая замкнутую границу, но без включения ее внутренней области (иначе – граница полигона)».

*Линейные объекты* представляются как одномерные в нашем координатном пространстве. Такими "одномерными" объектами могут быть дороги, реки, границы, изгороди, любые другие объекты, у которых один из геометрических параметров существенно больше другого. Масштаб, при котором мы наблюдаем эти объекты, опять же, обуславливает порог, при

пересечении которого мы можем считать эти объекты не имеющими ширины. Как вы знаете, реки, дороги, изгороди имеют два измерения при близком рассмотрении. Но чем дальше мы от них, тем более тонкими они становятся. Постепенно они становятся такими тонкими, что оказывается возможным представить их себе как линейные объекты. 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.

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. Опираясь на геометрию, мы можем также определять формы и ориентации линейных объектов.

### Площадные объекты

*Полигон (polygon, area, area feature, region, face), многоугольник, полигональный объект, контур, контурный объект, область* - двумерный (площадной) объект, один из четырех основных типов пространственных объектов, внутренняя область, образованная замкнутой последовательностью дуг в векторно-топологических представлениях или сегментов в модели «спагетти» и идентифицируемая внутренней точкой (меткой) и ассоциированными с нею значениями атрибутов.

Различают простой полигон (simple polygon), не содержащий внутренних полигонов (inner polygon), и составной полигон (complex polygon), содержащий внутренние полигоны, называемые также «островами» (island) и анклавами (hole).

Совокупность полигонов образует полигональный слой, который обязательно включает особо идентифицируемый полигон, внешний по отношению ко всем другим полигонам слоя, называемый, например, универсальным полигоном (universe face) в стандарте VPF или внешней областью (outside) за границей представляемой территории.

Перечисленные англоязычные эквиваленты в конкретных системах, форматах и стандартах могут иметь различные толкования, например, стандарт VPF различает контурные объекты (area feature), описывающие регион (region), и «фасеты» (face) – внутренние области, ограниченные одной или несколькими дугами; последний тип объекта связан топологическими отношениями с соседями и ограничивающими дугами; подобная ситуация с полигональными и иными пространственными объектами характерна для стандарта SDTS.

Объекты, рассматриваемые с достаточно близкого расстояния, чтобы иметь и длину и ширину, называются областями или *площадными*

*объектами*. Примеры областей, или "двухмерных" объектов, включают территории, занимаемые двором, городом или целым континентом. При 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.

## Поверхности

*Поверхность (surface, relief), рельеф* – трехмерный объект (3-D feature), один из четырех основных типов пространственных объектов, определяемый не только плановыми координатами, но и аппликацией  $Z$  ( $Z$ -value), т.е. тройкой, триплетом координат; оболочка тела.

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.

Поверхности состоят из бесконечного числа точек со значениями высот. Мы говорим, что они непрерывны, поскольку эти точки распределены без разрывов по всей поверхности, что показано на рисунке 2. 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.

## Тела

*Тело (body, solid object, solid body)* – объемный пространственный объект (volumetric feature). Растровые трехмерные представления тела основаны на конструкциях, известных под наименованием «вокселей», векторные – на трехмерных расширениях модели TIN. В отличие от остальных типов представлений пространственных объектов, представления тела, за редким исключением, не поддерживаются коммерческими программными средствами ГИС, оставаясь в стадии экспериментов;

аналогичные им графические представления широко используются, однако, в трехмерной компьютерной графике.

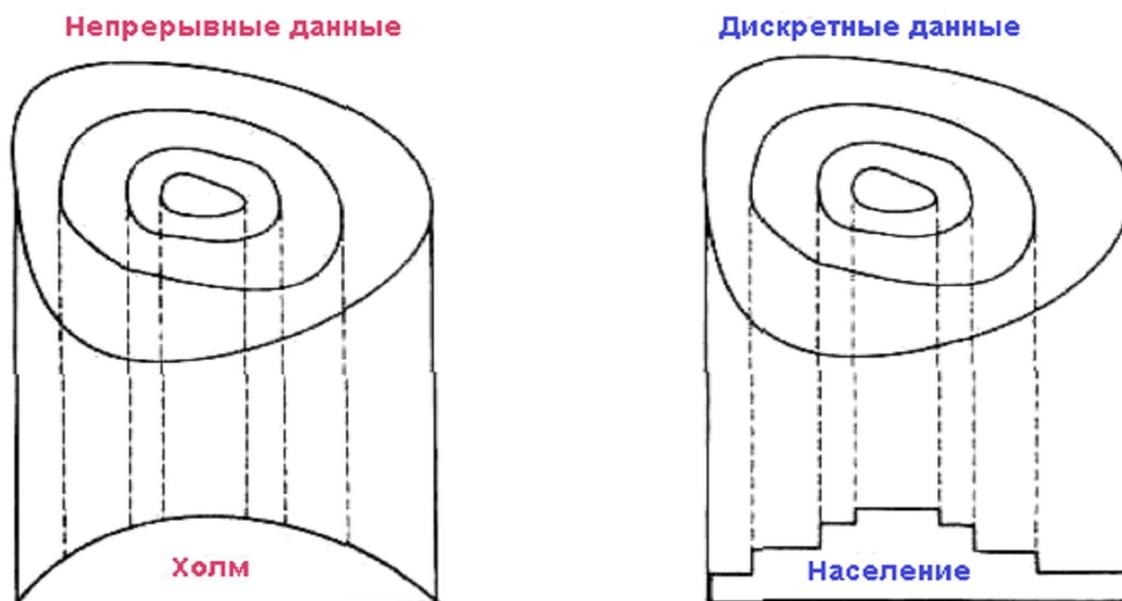


Рисунок 2 - Непрерывные и дискретные поверхности

#### Атрибуты пространственных элементов

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. Дополнительная непространственная информация, помогающая нам описывать объекты, наблюдаемые в пространстве, образует набор атрибутов объектов.

*Атрибут (attribute), реквизит* – свойство, качественный или количественный признак, характеризующий пространственный объект (но не связанный с его местоположением) и ассоциированный с его уникальным номером, или идентификатором.

Атрибуты объекта приписываются ему в цифровом виде пользователем, могут быть получены в ходе обработки данных или генерируются системой автоматически (к последнему типу атрибутов принадлежат, например, значения площадей и периметров полигональных объектов).

Существует расширенное толкование понятия атрибута; последнему могут быть поставлены в соответствие любые типы данных: текст, цифровое

изображение, видео- или аудиозапись, графика (включая карту), что, по существу, реализуется на практике в мультимедийных электронных атласах.

Наборы значений атрибутов обычно представляются в форме таблиц средствами реляционных систем управления базами данных (СУБД); классу атрибутов при этом соответствует имя колонки, или столбца, или поля таблицы. Для упорядочения, хранения и манипулирования атрибутивными данными используются средства систем управления базами данных, как правило реляционного типа.

## Шкалы измерения атрибутов

Атрибуты объектов можно распределять по категориям, а затем классифицировать. Это делается для того, чтобы можно было сказать, 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.

Существует устоявшаяся основа для измерения практически всех видов данных, в том числе и географических. Эти так называемые *шкалы измерения данных* простираются от простого именования объектов, до высокоточных измерений, позволяющих нам непосредственно сравнивать качества различных объектов. Используемая шкала измерений будет определяться отчасти типом классификации, отчасти необходимой информацией, и отчасти возможностями производить измерения при заданном масштабе наблюдения.

Существует огромное количество шкал, приведем некоторые из них. Номинальная шкала, из названия которой следует, что объекты различаются по именам. Эта система позволяет говорить о том, как называется объект, но не позволяет делать прямого сравнения объектов.

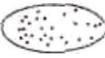
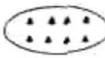
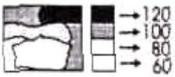
Шкала	Примеры измерений характеристик объектов		
	Точки	Линии	Области
Номинальная (наименований)	<ul style="list-style-type: none"> <li> город</li> <li> шахта</li> <li> вершина горы</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> дорога</li> <li> граница</li> <li> река</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> болото</li> <li> пустыня</li> <li> лес</li> </ul>
Порядковая (ранговая)	<ul style="list-style-type: none"> <li> Город: большой</li> <li> средний</li> <li> малый</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> Шоссе: федеральное</li> <li> региональное</li> <li> местная дорога</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Загрязненность территории: <ul style="list-style-type: none"> <li> большая</li> <li> умеренная</li> <li> малая</li> </ul> </li> </ul>
Интервалов/ отношений	<ul style="list-style-type: none"> <li>Дебит скважины <ul style="list-style-type: none"> <li> 10,000 &gt;</li> <li> 5,000 - 9,999</li> <li> 1 - 4,999</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Отметка горизонтали </li> <li>Грузопоток </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Плотность населения </li> <li>Интервалы высот </li> </ul>

Рисунок 3 - Шкалы измерений картографических объектов

Если необходимо провести более тонкое сравнение объектов, то следует выбрать более высокую шкалу измерений. Таковой является порядковая шкала, позволяющая проводить качественное сравнение от лучшего к худшему для данного конкретного вопроса. Если необходима более высокая точность в измерениях, то нужно воспользоваться интервальной шкалой измерения, в которой измеряемым величинам приписываются численные значения. Как и в случае порядковой шкалы, здесь тоже можно сравнивать объекты, но сравнения могут делаться с более точной оценкой различий. Хорошим примером пространственных данных, измеряемых в интервальной шкале, является температура почвы на некоторой исследуемой площади с различными типами почв. Последняя и наиболее "количественная" шкала измерений – это шкала отношений.

### Связь графических элементов с атрибутами

Общее цифровое описание пространственного объекта включает:

- наименование;
- указание местоположения;
- набор свойств;
- отношения с иными объектами;
- пространственное «поведение».

Наименованием объекта служит его географическое наименование, его условный код и/или идентификатор, присваиваемый пользователем или назначаемый системой.

В зависимости от типа объекта его местоположение определяется парой (триплетом) координат или набором координат, организованным определенным образом в рамках некоторой модели данных. Это геометрическая часть описания данных, геометрия (метрика) описываемых пространственных объектов, отличная от их семантики (непозиционных свойств).

Под отношениями понимают прежде всего топологические отношения (топологию). К топологическим свойствам пространственных объектов принято относить его размерность; замкнутость; связность; простоту; нахождение на границе, внутри или вне полигона и т.д.

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

Таким образом, в самом общем виде в пространственных данных следует различать и выделять три составные части: топологическую, геометрическую и атрибутивную – «геометрию», «топологию» и «атрибутику» цифровой модели пространственного объекта.

Четкое разделение позиционных и непозиционных данных – историческая традиция, имеющая определенные технологические корни. Управление атрибутивной частью данных обычно возлагается на средства СУБД, встроенных в программные средства ГИС или внешних по отношению к ним. В наиболее яркой форме оно реализовано в рассмотренной ниже векторной модели данных, атрибуты которой представлены таблицей, хранятся и управляются СУБД, поддерживающей реляционную модель данных, а их позиционная часть, связанная с атрибутивной через идентификаторы пространственных объектов, управляется другими средствами. Модели пространственных данных такого типа получили широкое распространение и наименование геореляционных.

## Лекция 4

### КАРТА – МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕАЛЬНОСТИ

*Введение. Характеристики карты: масштаб, разрешение, точность, экстенд. Картографические проекции.*

#### *Введение*

Карта является основным языком географии. Следовательно, она является и основным языком компьютеризованной географии. Эта графическая форма представления пространственных данных состоит из различных координатных систем, проекций, наборов символов, методов упрощения и генерализации.

Исследование земли посредством ГИС основывается на нашей способности мыслить пространственно. Пространственное мышление требует от нас умения выбирать, наблюдать, измерять, записывать и характеризовать то, что нам встречается. Реальная ценность объектов в картографической форме представления зависит от решаемых задач, от того, пытаемся ли мы лишь изобразить карту или анализировать ее в ГИС. Чем больше мы знаем о возможных сочетаниях графических элементов и о том, как с ними обходятся на картографических документах, тем яснее наш географический язык. Более развитый уровень понимания графических приемов пригодится во всех четырех подсистемах ГИС. При вводе существующих карт в геоинформационную систему необходимо знать о влиянии различных уровней генерализации, масштабов, проекций, символизации и т.п. на то, что вводится, и как это вводится. Для анализа данных необходимо знать о возможности ошибок в некоторых покрытиях, созданных из мелкомасштабных карт. При выводе возникает проблема отображения результатов анализа при решении которой необходимы знания о картографических методах и критериях дизайна.

Карта является моделью пространственных явлений, абстракцией. Однако, необходимо признать, что отображение всех деталей и объектов невозможно. Есть пределы тому, что мы можем изображать на картах. Главной причиной нашей переоценки возможностей карт в отображении реальности является то, что они - среди наиболее удачных графических инструментов, созданных для передачи пространственной информации. Карты существуют тысячи лет, и все мы больше или меньше привыкли их видеть.

Карты бывают разных видов и на разные темы. Два основных типа - это карты общегеографические и тематические. Наиболее часто в ГИС нам придется иметь дело с тематическими картами, хотя общегеографические и топографические карты тоже используются для ввода в ГИС, главным образом для того, чтобы обеспечить общегеографическую основу для сложных тематических карт.

Карты, как изображения мира показывают как положения объектов в пространстве и их форму, так и качественные, и количественные их характеристики. Эти взаимосвязанные геометрические объекты и атрибуты необходимы для картографического документа. Но независимо от того, какие объекты реального мира представляются этими точками, линиями, площадями или поверхностями они не могут выступать в качестве миниатюризации действительности из-за ограничений масштаба. Вместо этого они должны храниться в памяти компьютера, а затем, при отображении, используется какой-либо набор символов для их представления. Символы, в свою очередь, должны иметь ключ к их пониманию, называемый легендой карты. Легенда тактически соединяет геометрические объекты с их атрибутами, после чего каждый из них может быть воспринят в качестве представления реального объекта с его количественными характеристиками. Таким образом, может представить себе, что же в действительности наблюдалось при сборе исходных данных.

Характеристики карты: масштаб, разрешение, точность, экстенд.

Главная цель любой тематической карты - показать важные сведения для большого региона без отвлечения внимания на неуместные или избыточные подробности. Степень упрощения определяется уровнем детализации, который требуется для исследования области. При рассмотрении очень маленькой области, такой как одно поле (скажем, 20 га), не требуется упрощения реальности в такой же степени, как и для области в 1000 км<sup>2</sup>.

Масштаб - термин, часто используемый для обозначения степени уменьшения на картах. Наиболее легко он может быть выражен как отношение длины некоторого отрезка на карте к длине того же отрезка на земле. Например, легенда карты может сообщать, что одному сантиметру на карте соответствуют 500 м на земле. Масштаб, выраженный словами " в одном сантиметре 500 метров" называется вербальным масштабом. Этот распространенный способ выражения масштаба имеет преимущество легкого понимания большинством пользователей карт.

Другим распространенным представлением является численный масштаб, когда расстояние на карте и расстояние на земле даются в одних единицах измерения, как дробь, устраняя тем самым необходимость упоминать единицы измерения. Численный масштаб обычно предпочитаем опытными пользователями карт, поскольку он устраняет путаницу с единицами измерения. Специалисту по ГИС особо следует помнить о необходимости устанавливать, какой из этих двух способов выражения масштаба используется.

Линейный масштаб - еще один из основных методов выражения масштаба. Здесь действительные расстояния на земле показываются прямо на карте. На карте могут быть показаны и реальные площади, но это встречается гораздо реже. Манипуляции с картами в ГИС с большой вероятностью

влекут за собой многие изменения масштаба выходных документов, в зависимости от требований пользователя. Во время ввода карты на нее может быть помещена масштабная линейка, и при изменении масштаба на выходе будет изменяться и сама линейка.

Начав работать с ГИС, вы обнаружите, что большинство программ очень легко выполняют изменения масштаба. И конечно, масштаб входных данных может отличаться от масштаба отображения результатов. Способность программного обеспечения как угодно преобразовывать масштаб карты может привести к чрезмерному доверию к карте, что может в дальнейшем вызвать некоторые проблемы. Достоверность результатов анализа существенно зависит от качества данных, вводимых в систему. Эта надежность, в свою очередь, зависит в большой степени от масштаба вводимых карт.

### Картографические проекции

Земля - это трехмерное тело, имеющее неправильную форму, которая лучше всего аппроксимируется эллипсоидом с небольшим параметром сжатия. Для картографического отображения Земли на плоскости нужно преобразовать ее трехмерную поверхность в плоское изображение на карте. Это преобразование, выполняемое по математическим законам, называется картографическим проектированием.

Надо заметить, что, хотя форма Земли лучше отображается сфероидом (эллипсоидом), иногда в качестве аппроксимирующей поверхности используют правильную сферу, что облегчает проведение математических вычислений. Допущение, что Земля является сферой, возможно для мелкомасштабных карт (для карт, масштаб которых мельче 1:5000000) - в этом масштабе разница между сферой и эллипсоидом не различима по карте. Для получения точности на крупномасштабных картах (крупнее масштаба 1:1000000) необходимо пользоваться приближением эллипсоида. Для карт, масштаб которых лежит в диапазоне между двумя упомянутыми масштабами, использование сферы или сфероида для описания формы Земли зависит от назначения карты и требуемой точности данных [Кеннеди М., Копп С., 1998].

Рассмотрим сначала, как описывается положение объекта на поверхности Земли в географической системе координат, а затем перейдем к проблеме проектирования трехмерной поверхности на плоскость. В географической системе координат используют координатную сетку, образованную параллелями и меридианами:



Рисунок 1 – Линии широты и долготы, образующие картографическую сетку

Параллели - это линии, получившиеся в результате сечения поверхности эллипсоида плоскостями, проходящими перпендикулярно полярной оси (оси, соединяющей два полюса). Заметим, что при сечении получаются окружности разного диаметра. Параллели иначе называют линиями широты.

Меридианы образуются сечением поверхности эллипсоида плоскостями, проходящими через полярную ось. Другое название меридианов - линии долготы.

Для измерения координат в описанной системе необходимо назначить точку отсчета или, иначе говоря, определить линии нулевой широты и долготы. Соглашение состоит в следующем: нулевой линией широты считается параллель, расположенная посередине между полюсами (экватор), а нулевым меридианом назначен тот, что проходит через обсерваторию г. Гринвич в Великобритании. На предыдущем рисунке они показаны более жирными линиями. Начальная точка географической системы координат (0,0) определяется местом пересечения экватора и нулевого меридиана. Положение объекта на поверхности Земли в рассматриваемой системе координат описывается двумя угловыми координатами - широтой и долготой. Следующий рисунок наглядно показывает, как измеряются угловые координаты.

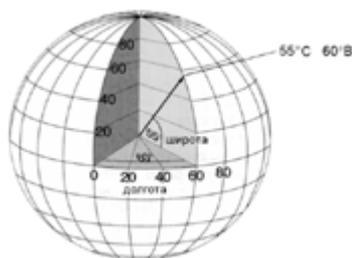
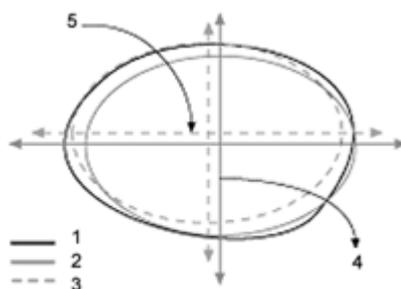


Рисунок 2 – Измерение широты и долготы для точки на поверхности Земли с координатами  $55^{\circ}$  с. ш. и  $60^{\circ}$  в. д.

Итак, положение объекта на поверхности Земли определяется угловыми координатами на сфероиде (эллипсоиде), который выбран для описания формы Земли. Однако, поскольку форма Земли неправильная и

может быть лишь приблизительно описана единым эллипсоидом, часто для максимально точного описания отдельных областей земной поверхности используют локальные эллипсоиды, поверхность которых хорошо ложится на реальную поверхность Земли в конкретной области, а центр не совпадает с центром масс Земли (см. рисунок ниже). Набор параметров и контрольных точек, который определяет положение эллипсоида по отношению к центру Земли, называется датумом.



*Рисунок 3 – Расположение разных датумов по отношению к центру Земли. 1 - поверхность Земли, 2 - геоцентрический датум WGS84, 3 - локальный датум NAD27, 4 - геоцентрическая система координат датума WGS84, 5 - локальная система координат датума NAD27.*

Широко используется геоцентрический датум, центр которого совпадает с центром масс Земли. Наиболее поздней его версией является Геодезическая система мира 1984 года (WGS84 - World Geodetic System of 1984). Локальные датумы разработаны для Северной Америки, Европы, Австралии, Новой Зеландии, Аляски и других областей. Датум обеспечивает относительную систему для измерения параметров местоположений на поверхности Земли, он задает начало отсчета и ориентацию для линий широты и долготы.

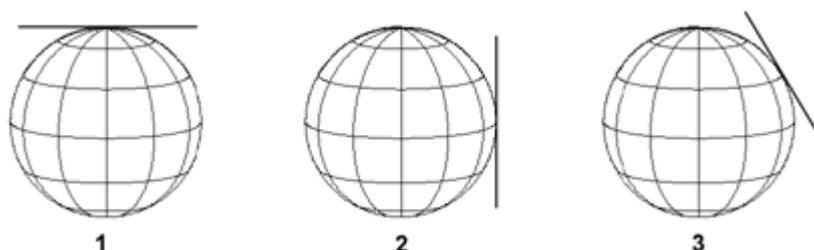
Возвращаясь к проблеме изображения трехмерной земной поверхности на плоскости, заметим, что мы рассмотрели первый этап решения этой проблемы, а именно представление неправильной физической поверхности Земли (причем не обязательно всей поверхности целиком) математически правильной поверхностью - сфероидом. Второй этап решения проблемы состоит в отображении сфероида на плоскость с использованием тех или иных математических преобразований, причем способ отображения определяет картографическую проекцию.

При отображении Земной поверхности в двумерном пространстве искажается форма объектов, их площадь, расстояния или направления, причем разные проекции имеют разные типы искажений. По наличию искажений, а точнее - по их отсутствию, картографические проекции подразделяются на:

- равноугольные проекции, которые сохраняют без искажений малые локальные формы;

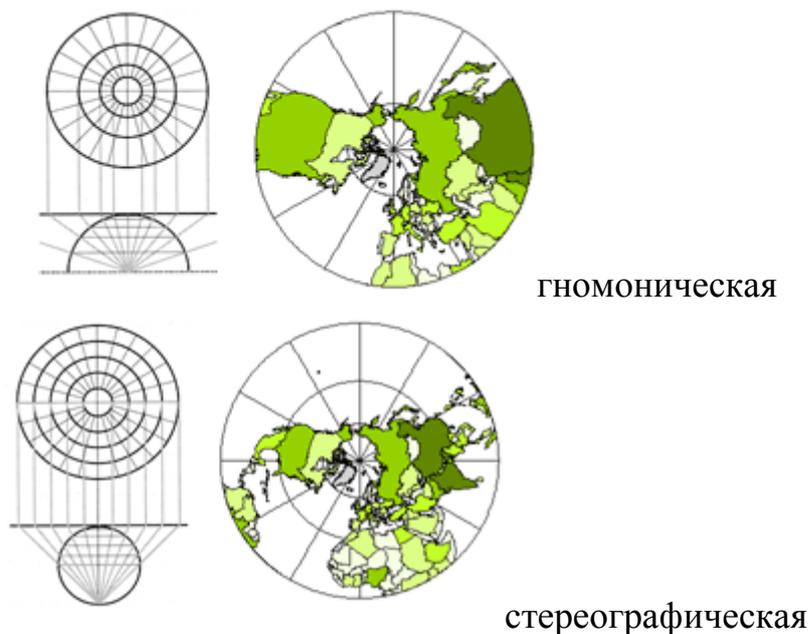
- равновеликие проекции, сохраняющие площадь отображаемых объектов;
- равнопромежуточные проекции, сохраняющие расстояния между определенными точками;
- проекции истинного направления или азимутальные проекции, которые отражают правильные азимутальные направления на все точки на карте относительно центра.

Поскольку карты должны быть плоскими, простейшим решением проблемы перевода трехмерной сферической поверхности на плоскость является проецирование картографических данных на плоскую поверхность, касающуюся глобуса (см. следующий рисунок ).



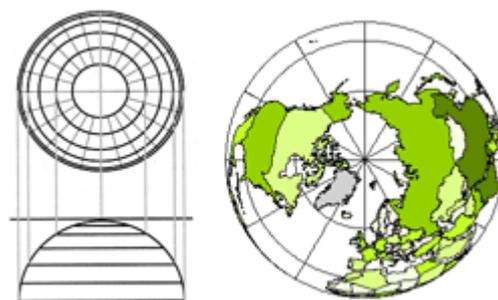
*Рисунок 4* - Проекции на плоскость (азимутальные проекции) различаются расположением плоской поверхности: 1 - полярная, 2 - экваториальная, 3 - косая.

Проекции на плоскость известны как азимутальные проекции. Плоскость, на которую идет проецирование, может касаться поверхности Земного шара в точке полюса (полярная проекция), в точке экватора (экваториальная) или в любой точке Земли (косая).



ГНОМОНИЧЕСКАЯ

СТЕРЕОГРАФИЧЕСКАЯ



ортографическая

Рисунок 5 – Полярные проекции на плоскость: гномоническая, стереографическая и ортографическая

Проекции на плоскость используются чаще всего для картографирования полярных территорий. Результат проектирования зависит от точки перспективы или, иначе говоря, точки, с которой как бы рассматривается глобус. Различные положения точки перспективы, схемы проектирования и результаты проектирования географической информации для полярных проекций на плоскость приведены на рисунке. Первой показана гномоническая проекция (1), в которой поверхность глобуса рассматривается от центра Земли. На схеме проектирования внизу показана половинка Земного шара, плоскость, на которую идет проектирование и лучи проектирования, идущие из центра Земли, а наверху схематически представлен результат. Рядом показана карта северного полушария в этой проекции. На ней параллели представлены концентрическими окружностями, а меридианы отходят от полюса прямыми линиями. Из-за особенностей проектирования на карту не попадают области, значительно удаленные от полюса.

Далее приведена схема проектирования для стереографической проекции (2) - в этом случае поверхность Земли рассматривается от противоположного полюса. На схеме показан Земной шар целиком и лучи проектирования. Карта полушария в стереографической проекции отличается от предыдущей тем, что отображается все полушарие. В ортографической проекции (3) Земля рассматривается с бесконечно удаленной точки, поэтому на схеме лучи проектирования параллельны друг другу. Хотя в этом случае, как и в стереографической проекции, на карту попадает все полушарие, области, расположенные близко к экватору, оказываются сжатыми.

Другие простые картографические проекции строятся с использованием вспомогательных поверхностей, которые можно, развернув, привести к плоскому состоянию. Типичными примерами развертываемых поверхностей являются цилиндры и конусы, соответственно проекции, построенные с использованием этих поверхностей, будут называться цилиндрическими и коническими.

Обе проекции могут быть как касательными, так и секущими. На рисунке показан вариант касательных поверхностей, параллели, по которым происходит касание, выделены. В случае секущих поверхностей они

рассекают глобус по двум окружностям. Ясно, что линии касания или линии сечений перейдут на плоскость без искажений.

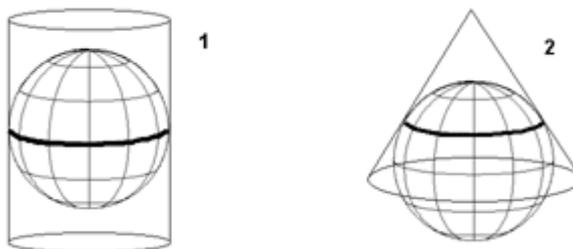


Рисунок 6 – Вспомогательные поверхности при построении цилиндрической (1) и конической (2) проекций

Пример цилиндрической проекции показан на следующем рисунке. Там слева показан глобус, а справа результат представления географической информации в равнопромежуточной цилиндрической проекции Plate Carree. Это простая, очень популярная в прошлом, проекция, которая преобразует сетку широт и долгот в сетку из равных прямоугольников.

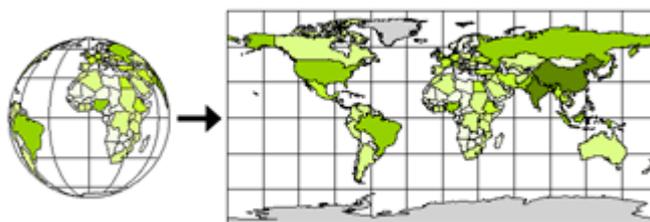


Рисунок 7 – Цилиндрическая проекция Plate Carree

На следующем рисунке показана равнопромежуточная коническая проекция. Приведенная проекция построена с использованием секущей конической поверхности (секущие параллели: 20-я и 60-я). Конические проекции используют обычно для средних широт. Ясно, что секущая проекция дает меньшие искажения, чем касательная проекция.

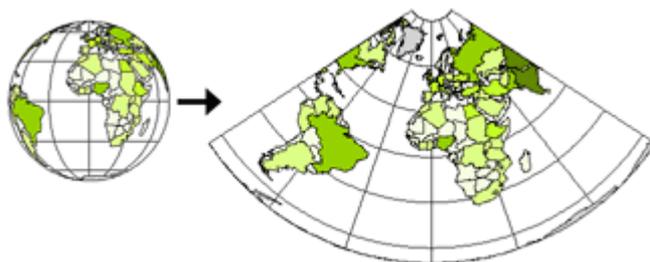


Рисунок 8 – Равнопромежуточная коническая проекция

## Лекция 5

### БАЗЫ ДАННЫХ И СУБД

Понятие БД и СУБД. Виды СУБД: иерархическая, сетевая, реляционная, объектно-ориентированная.

#### Понятие БД и СУБД

Эффективное использование цифровых данных предполагает наличие программных средств, обеспечивающих функции их хранения, описания, обновления и т.д. В зависимости от типов и форматов их представления, от уровня программных средств ГИС и некоторых характеристик среды и условий их использования могут быть предложены различные варианты организации хранения и доступа к пространственным данным, причем способы организации различаются для позиционной (графической) и семантической их части.

В достаточно простых программных средствах ГИС, отсутствуют специфические средства организации хранения, доступа к данным и манипулирования или эти функции реализуются средствами операционной системы в рамках ее файловой организации.

Большинство же существующих программных средств ГИС используют для этих целей достаточно изощренные и эффективные подходы, основанные на организации данных в виде баз данных (БД), управляемых программными средствами, получившими название *систем управления базами данных* (СУБД). Под базой данных принято понимать “совокупность данных, организованных по определенным правилам, предусматривающим общие принципы описания, хранения и манипулирования данными, независимую от прикладных программ”, а под СУБД - “комплекс программ и языковых средств, предназначенных для создания, ведения и использования баз данных”.

Современные коммерческие СУБД, в том числе те, что использованы в программном обеспечении ГИС, различаются по типам поддерживаемых моделей данных, среди которых выделяются иерархические, сетевые и реляционные и соответствующие им программные средства СУБД. Особое широкое применение при разработке программного обеспечения ГИС получили реляционные СУБД.

*Виды СУБД: иерархическая, сетевая, реляционная, объектно-ориентированная*

Модель данных – это форматы данных и состав операции выполняемых над этими данными. В настоящее время существуют следующие модели данных:

1. сетевые;

2. иерархические;
3. реляционные;
4. объектно-ориентированные.

Иерархическая модель. Представляет собой взаимосвязанный набор иерархий, т.е. расположение данных в определенной последовательности и зависимости. Пример - организационная структура предприятия.

Особенность иерархической модели заключается в однонаправленном движении по иерархии.

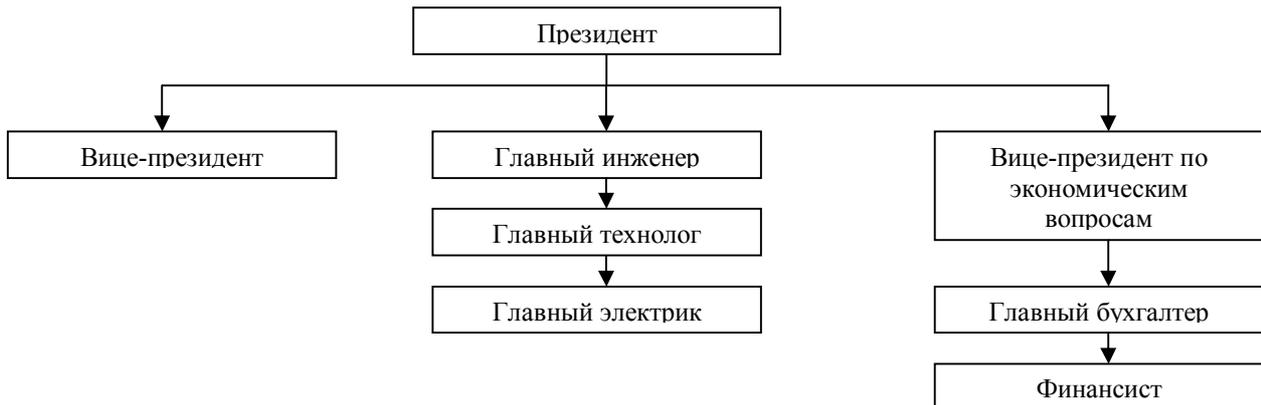


Рисунок 1 – Иерархическая модель данных

Сетевая модель. Позволяет сохранять концептуальную простоту иерархического подхода и добавляет ему гибкость, позволяя ему работать со многими иерархиями одновременно. На практике примером этой модели служит модель графика строительства объекта, (движения транспорта, изготовления изделия и т.п.): выбрать котлован — заложить фундамент — поставить стены - заложить перекрытия.

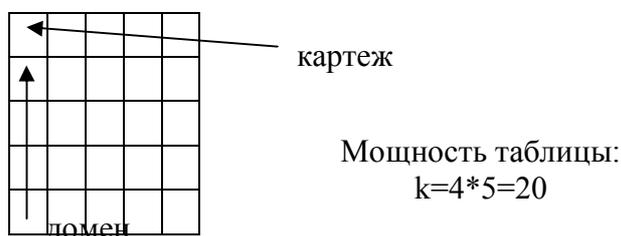
В иерархической модели каждое данное находится на определенном уровне, взаимосвязь можно представить в виде диаграммы. В сетевой модели допускается одновременное наличие однотипных данных на различных уровнях. Здесь каждая запись может быть связана с любой другой.

Реляционная модель. В реляционной модели достигается гораздо более высокий уровень абстракции данных, чем в иерархической или сетевой. Она облегчает установление связей, дает возможность легко и быстро установить новую связь, позволяет оптимальным образом осуществить доступ к данным любого уровня. Все СУБД, работающие на ПК, поддерживают эту модель.

Преимущества модели:

- гибкость модели объясняется наличием математического аппарата нормализации отношений;
- наличие внешних ключей;
- использование языка структурированных запросов.

В основу реляционной модели положен теоретико-множественный подход, базирующийся на понятии отношения - это подмножество декартова произведения доменов (домен – некоторое множество элементов). В основе отношения – двумерная таблица или плоский файл.



Таблица, представляющая k-арное отношение, обладает следующими свойствами:

- каждая строка- это кортеж из k- значений, принадлежащих k- столбцам;
- порядок следования столбцов фиксирован: 1,2, ..., k
- порядок строк безразличен;
- любые две строки различаются хотя бы одним элементом, не должно быть дублированных строк;
- строки в столбцах могут обрабатываться в любой последовательности.

Атрибут – это столбцы отношений; имеют имена.

Атрибут, значение которого однозначно идентифицирует кортежи, называется ключевым (или просто ключом). Если кортежи идентифицируются только сцеплением значений нескольких атрибутов, то говорят, что отношение имеет составной ключ.

СУБД реляционного типа позволяют представить данные о пространственных объектах (точках, линиях и полигонах) и их характеристиках (атрибутах) в виде отношения или таблицы, строки которой - индексированные записи - соответствуют набору значений атрибутов объекта, а колонки (столбцы) обычно устанавливают тип атрибута, его размер и имя атрибута. В число атрибутов не входят геометрические атрибуты, описывающие их геометрию и топологию. Векторные записи координат объектов упорядочиваются и организуются с использованием особых средств. Связь между геометрическим описанием объектов и их семантикой в реляционной таблице устанавливается через уникальные номера - идентификаторы.

Удобство манипулирования данными в БД существенно зависит от языковых средств СУБД. Широкие возможности предоставляются пользователю СУБД, в которых реализован язык обработки запросов SQL, и его расширения, адаптированные к описанию пространственных запросов к БД ГИС и содержащие конструкции, включающие пространственные переменные и условия.

Одним из главных мотивов, определяющих необходимость использования технологии баз данных при создании ГИС в настоящее время, является поддержка современными СУБД сетевых возможностей хранения и использования технологий локальных сетей (LAN) и удаленных сетей в так называемых распределенных БД. Тем самым достигается оптимальное использование вычислительных ресурсов и возможность коллективного доступа пользователей к запрашиваемым БД.

Объектно-ориентированная модель данных. Термин "объект" в программной индустрии впервые был введен в языке Simula (1967 г.) и означал какой-либо аспект моделируемой реальности. Сейчас под объектом понимается "нечто, имеющее четко определенные границы" (определение известного американского специалиста Г.Буча). Объекты, обладающие одинаковыми свойствами, составляют классы (например, курица, пингвин и чайка - объекты класса "птицы"). Обычно класс описывается как новый тип данных, а объекты (экземпляры класса) - определенные на его основе переменных.

Сразу же необходимо заметить, что общепринятого определения "объектно-ориентированной модели данных" не существует. Сейчас можно говорить лишь о некоем "объектном" подходе к логическому представлению данных и о различных объектно-ориентированных способах его реализации.

Для работы с атрибутивной (семантической) информацией в ГИС используются внутренние или внешние реляционные БД. Как правило, внутренние БД используют настольные ГИС-аналитики и ГИС-зрители, обладающие более узким набором возможностей. Для мощных систем (полнофункциональных, инструментальных ГИС) характерно наличие специальных программных средств для связи с мощными серверами реляционных баз данных универсальных СУБД типа ORACLE, MS SQL-Server, SyBase и которые видят ГИС в качестве своих клиентов.

Атрибутивные внешние базы данных это те, с которыми ГИС взаимодействует не напрямую, а через некоторые промежуточные интерфейсы. Для внешних БД важны те же критерии, что и для внутренних, однако нужно обратить особое внимание на то, какие именно из «больших» баз данных поддерживаются, и как именно. Принципиально есть два пути поддержки: или ГИС сама «знает», с кем имеет дело, то есть заранее поддерживает только несколько определенных СУБД, или же система обращается к некоему интегратору баз данных типа ODBC (Open DataBase Connectivity), перекладывая на него свои проблемы. В первом случае, как правило, у ГИС есть свой набор промежуточных драйверов для нескольких СУБД (почти всегда Oracle, чуть реже Informix, SyBase, Ingris). Такая технология употребительна на UNIX-платформах. Во втором случае драйвера связи требуются уже для ODBC; почти все WINDOWS-системы действуют так же. Надо отметить, что в последнее время заметно сближение Oracle и ГИС-технологии; ряд систем базируются на этой СУБД, и поддерживают ее персонально. Более того, сегодня существуют технологии хранения пространственных объектов

совместно с атрибутивными данными в больших корпоративных СУБД (технологии SDO-компании ESRI, SDE – от ORACLE и др).

Классификация РСУБД в зависимости от объема поддерживаемых БД и количества пользователей

*Высший уровень.*

Эти продукты поддерживают крупные БД (сотни и тысячи Гбайт и более), тысячи пользователей. В крупных корпорациях. Представители: ORACLE.

*Средний уровень.*

Эти продукты поддерживают БД до нескольких сот Гбайт, сотни пользователей. В небольших корпорациях и подразделениях крупных фирм. Представители: InterBase, Microsoft SQL Server.

*Нижний уровень.*

Эти продукты поддерживают БД до 1 Гбайт, менее 100 пользователей. В небольших подразделениях. Представители: NetWare SQL, Gupta SQL-Base Server.

*Настольные СУБД.*

Для одного пользователя, используется для ведения настольной БД или как клиент для подключения к серверу БД. *Visual FoxPro*.

## Лекция 6

### ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТОВ И ИХ АТТРИБУТОВ

*Введение. Растровые модели данных. Методы сжатия растровых данных. Регулярно-ячеистая модель данных. Квадратомическая модель данных. Векторные модели данных. Спагетти-модель. Топологические модели.*

#### Введение

Модели пространственных данных – логические правила для формализованного цифрового описания пространственных объектов.

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

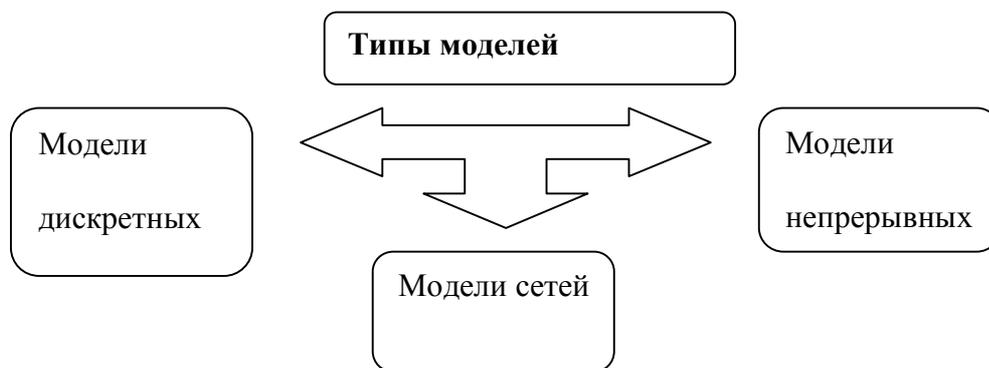


Рисунок 1 – Модели пространственных данных

Для хранения и отображения картографической информации в цифровом виде могут использоваться два принципиально различных метода представления графических изображений: растровый (точечный) и векторный.

#### Растровые модели данных

Растровое изображение представляет собой матрицу элементов - пикселей. Каждый пиксел характеризуется размером, тоновым значением, глубиной цвета и позицией. Редактирование растровых изображений заключается в изменении цвета определенной группы пикселей, тем самым достигается изменение формы объектов.

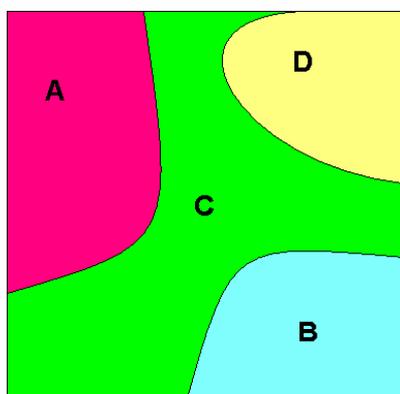
Наиболее часто растровые изображения получаются путем сканирования оригиналов (фотографий, слайдов, рисунков) и используются затем в оформлении картографических произведений. Основными достоинствами растровой графики является легкость автоматизации ввода

изобразительной информации и фотореалистичность. Недостатками - большие объемы файлов, невозможность увеличения размеров изображения без потери информации.

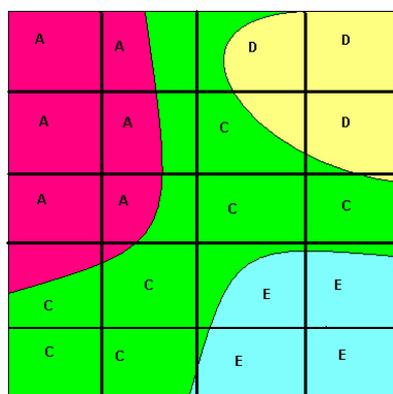
В картографии широко используются растровые копии картографических материалов (отсканированные бумажные карты), такие изображения служат картографической основой для ведения составительско-оформительских работ, являющихся по сути своей преобразованием растровых данных в векторные - векторизацией.

*Растровая модель данных* в ГИС предполагает разбиение пространства (координатной плоскости) с вмещающими ее пространственными объектами на аналогичные пикселям дискретные элементы, упорядоченные в виде прямоугольной матрицы.

Для цифрового описания (позиционирования) точечного объекта при этом будет достаточно указать его принадлежность к тому или иному элементу дискретизации, учитывая, что его положение однозначно определено номерами столбца и строки матрицы. Пикселу присваивается цифровое значение, определяющее имя или семантику (атрибут) объекта. Аналогичным образом описываются линейные и полигональные объекты: каждый элемент матрицы получает значение, соответствующее принадлежности или непринадлежности к нему того или иного объект



**ИСХОДНАЯ КАРТА  
КОНТУРОВ**



**ФОРМАТ С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯЧЕЕК  
СЕТКИ**

Рисунок 2 – Растровая модель данных

Полученная матрица образует растровый слой с однотипными объектами; множество разнотипных объектов образует набор слоев, составляющих полное цифровое описание моделируемой предметной области. С каждым кодом пиксела, кроме того, может быть связан неограниченный по длине набор (таблица) атрибутов, каждый из которых может быть развернут в производный слой с размерностью исходной матрицы.

### Методы сжатия растровых данных

Главная особенность растровых данных – значительные затраты машинной памяти, требуемой для их хранения. Существуют способы сжатия (компрессии, упаковки) растровых данных. Простейший и достаточно популярный из них – групповое кодирование. Групповой код преобразует исходный растровый слой в ряд пар целых (обычно двухбайтовых) чисел, нечетные позиции которого отводятся для указания числа повторяющихся пикселов (групп) со значениями, занимающими четные позиции ряда, образуя счетчик и значение группы соответственно.

### Регулярно-ячеистая модель данных

Если атомарной единицей данных при их описании служит элемент «разбиения» территории – регулярная пространственная ячейка (территориальная ячейка) правильной геометрической формы – речь идет о другой, отличной от растровой, хотя и формально с нею схожей, *регулярно-ячеистой модели данных*. Формальное сходство абсолютно в случае квадратной формы ячеек, хотя известны примеры регулярных сетей с ячейками правильной треугольной, гексагональной или трапециевидной формы. Представление данных на основе регулярных пространственных сетей образует основу глобальных цифровых моделей рельефа (ЦМР) Земли.

### Квадротомическая модель данных

Главный мотив использования этой модели – компактность по сравнению с растровой моделью. Основана на подходе, известном как квадратотомическое дерево (квадродерево). В его основе лежит разбиение территории или изображения на вложенные друг в друга пикселы или регулярные ячейки с образованием иерархической древовидной структуры – декомпозиции пространства на квадратные участки, каждый из которых делится рекурсивно на четыре вложенных до достижения некоторого уровня пространственного разрешения.

## КВАДРОТОМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДАННЫХ



Рисунок 3 – Квадротомическая модель данных

### Векторные модели данных

В векторном представлении изображения строятся с помощью математических описаний объектов (так называемых примитивов), в качестве которых могут выступать линии, дуги, окружности, кривые Безье, текст и т.п. Векторную графику называют также "объектно-ориентированной", так как файл изображения формируется из дискретных, не связанных между собой элементов изображения, размеры, форма и цвет которых могут быть независимо друг от друга изменены быстро и без потери качества.

Практическими преимуществами векторного представления являются сравнительно небольшой объем файлов, независимость от разрешения устройства вывода и удобство редактирования.

Следует отметить, что каждый векторный редактор сохраняет данные в своем внутреннем формате, поэтому изображение, созданное в одном векторном редакторе, как правило, не конвертируется в формат другой программы без погрешностей.

В структуре компьютерных карт преобладает векторная форма представления изображений, на основе векторных объектов создаются все

элементы карты (за исключением полутоновых иллюстраций и отмывки рельефа).

*Векторное представление (vector data structure, vector data model), векторная модель данных* – цифровое представление точечных, линейных и полигональных пространственных объектов в виде набора координатных пар с описанием только геометрии объектов, что соответствует нетопологическому векторному представлению линейных и полигональных объектов, или геометрии и топологических отношений (топологии) в виде векторно-топологического представления.

Существует несколько способов объединения векторных структур данных в векторную модель данных, позволяющую исследовать взаимосвязи между объектами одного слоя или между объектами разных слоев.

### Спагетти-модель

Простейшей векторной моделью данных является «спагетти»- модель (рис.1). В этом случае переводится «один в один» графическое изображение карты.

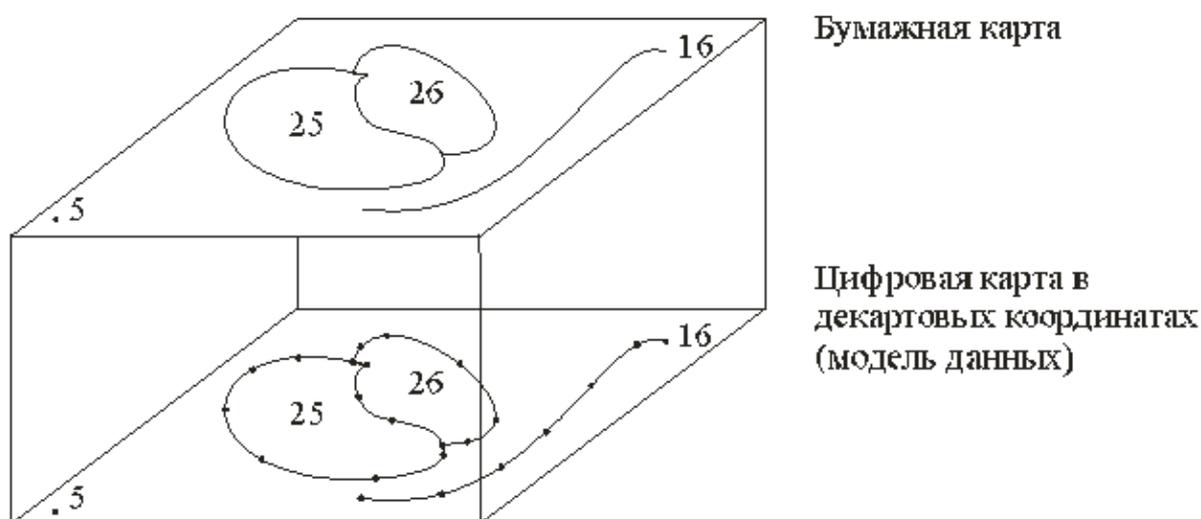


Рисунок 4 – «Спагетти»-модель

В этой модели не содержится описания отношений между объектами, каждый геометрический объект хранится отдельно и не связан с другими, например общая граница объектов 25 и 26 записывается дважды, хотя с помощью одинакового набора координат. Все отношения между объектами должны вычисляться независимо, что затрудняет анализ данных и увеличивает объем хранимой информации.

## Топологические модели

Векторные топологические модели (рис. 2) содержат сведения о соседстве, близости объектов и другие характеристики взаимного расположения векторных объектов.

Топологическая информация описывается набором узлов и дуг. Узел - это пересечение двух или более дуг, и его номер используется для ссылки на любую дугу, которой он принадлежит. Каждая дуга начинается и заканчивается либо в точке пересечения с другой дугой, либо в узле, не принадлежащем другим дугам. Дуги образуются последовательностью отрезков, соединённых промежуточными точками. В этом случае каждая линия имеет два набора чисел: пары координат промежуточных точек и номера узлов. Кроме того, каждая дуга имеет свой идентификационный номер, который используется для указания того, какие узлы представляют её начало и конец.

Разработаны и другие модификации векторных моделей, в частности, существуют специальные векторные модели для представления моделей поверхностей, которые будут рассмотрены далее.



Рисунок 5 – Векторная топологическая модель данных

## Лекция 7

### ПОДСИСТЕМА ВВОДА

*Устройства ввода. Дигитайзеры. Сканеры. Средства распознавания и векторизации. Пространственная привязка данных.*

#### Устройства ввода

Цифровые карты в векторном формате создают по технологии цифрования с помощью дигитайзера с ручным обводом или сканированием оригиналов с последующей векторизацией, используя программные средства - векторизаторы.

Собственно процесс аналого-цифрового преобразования данных - это сложная комплексная процедура, состоящая из трех крупных блоков:

- цифрование;
- обеспечение качества оцифрованных материалов;
- интеграция разнородных цифровых материалов.

Наиболее распространенная технология цифрования - перевод исходных картографических материалов на твердой основе (бумага, лавсан, пластик и т.д.) в цифровую форму. Такой перевод обычно осуществляется двумя способами: путем векторизации раstra или дигитайзерным вводом. Следует отметить, что в настоящее время все большее распространение получают «безбумажные» технологии получения цифровых моделей карт. В рамках таких технологий цифровая карта (ЦК) создается в компьютере непосредственно по материалам полевых съемок, минуя использование промежуточных «твердых» носителей информации.

#### Дигитайзеры

*Дигитайзер (digitizer, tablet, graphic tablet), цифрователь, графический планшет, графическое устройство ввода данных, графоповторитель, жарг. сколка, таблетка* – 1. устройство для аналого-цифрового преобразования сигналов, источников и данных; 2. в геоинформатике, компьютерной графике и картографии: устройство для ручного цифрования картографической и графической документации в виде множества или последовательности точек, положение которых описывается прямоугольными декартовыми координатами плоскости дигитайзера.

Дигитайзер состоит из плоского стола и съемника информации. Большеформатные столы могут крепиться на подставке дигитайзера. Рабочее поле стола может быть выполнено из прозрачного материала и иметь подсветку. Комплектуется съемниками двух типов: курсором для высокоточного или пером для низкоточного съема координат.

Курсор представляет собой подобие графического манипулятора – мыши, имеет визир, нанесенный на прозрачную пластинку, с помощью

которого оператор выполняет точное наведение на отдельные элементы карты. На курсоре помещены кнопки, которые позволяют фиксировать начало и конец линии или границы области, число кнопок зависит от уровня сложности дигитайзера.

С помощью дигитайзерного ввода основная масса ЦК создавалась до середины 90-х годов, затем дигитайзеры уступили место цифрованию по растру. В настоящее время при создании ЦК дигитайзеры имеют ограниченную область использования.

Преимущества дигитайзерного ввода:

- возможность обзора всего листа карты или участка карты, окружающего цифруемую территорию. Этот способ позволяет разобраться в ситуации при низком качестве графики исходных материалов;

- возможность оцифровки исходных материалов практически любого качества. Это имеет решающее значение, если используемый сканер по своим техническим возможностям не позволяет оцифровывать карты (планы) на жесткой основе (алюминий, дерево), ветхие картографические материалы или картографические материалы с локальными участками неравномерной толщины (в качестве таких материалов часто выступают бумажные планы, оперативное редактирование которых происходит путем срезания бритвой устаревших объектов и наклеивания актуализированных участков поверх устаревших).

При дигитайзерном вводе основной объем работ по вводу цифровых карт выполняется оператором в ручном режиме, т. е. для ввода объекта оператор наводит курсор на каждую выбранную точку и нажимает кнопку. Существует еще полуавтоматический режим ввода, когда фиксируется пара координат  $X$ ,  $Y$  через заданный интервал времени или через определенное расстояние. Полуавтоматический режим, возможно, экономит время, но для точного ввода не годится, и далее будет рассматриваться только ручной режим. Точность ввода при цифровании в огромной степени зависит от квалификации оператора. Если при создании традиционных карт пером (рапидографом, гравировальной тележкой или иным ручным инструментом) очень сложно прорисовывать линии и передавать форму объектов, то что говорить о цифровании, где непрерывную кривую надо аппроксимировать отрезками без потери формы. Большое влияние оказывают и индивидуальные качества оператора.

### Сканеры, технология сканирования

Сканеры являются устройствами ввода информации и в этом качестве находят свое применение на этапе подготовки исходных картографических материалов для последующего составления. При этом полностью исключаются многочисленные фото- и копировальные работы, свойственные традиционной технологии картосоставления. Сканеры также используются для преобразования в цифровую форму разнообразных оригиналов (слайдов, фотоотпечатков, рисованных оригиналов и т. п.), необходимых для

художественного оформления картографических произведений. Ведущими производителями сканеров являются зарубежные фирмы: AGFA, Heidelberg, Umax, Hewlett Packard, Microtek, Vidar, Contex и др.

В картографическом производстве могут применяться 3 типа сканеров: планшетные, барабанные и протяжные.

Выбор типа сканера определяется типом исходного оригинала и требованиями к качеству результирующего цифрового изображения.

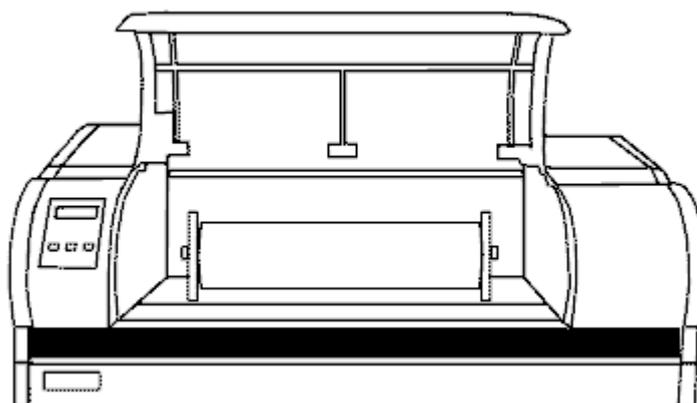


Рисунок 3 – Барабанный сканер

В барабанных сканерах оригинал монтируется на поверхности прозрачного вращающегося барабана. Существенным недостатком барабанных сканеров является необходимость монтажа оригиналов на поверхность цилиндра; также накладываются ограничения на гибкость и массу оригиналов.

Сканеры барабанного типа целесообразно применять в картоиздании для сканирования оригиналов с очень высоким качеством (обычно для последующего многократного увеличения). Такие работы, как правило, выполняются с привлечением оборудования сторонних организаций. Это объясняется высокой стоимостью барабанных сканеров, окупаемой только при больших объемах сканирования и высокими требованиями к квалификации оператора.

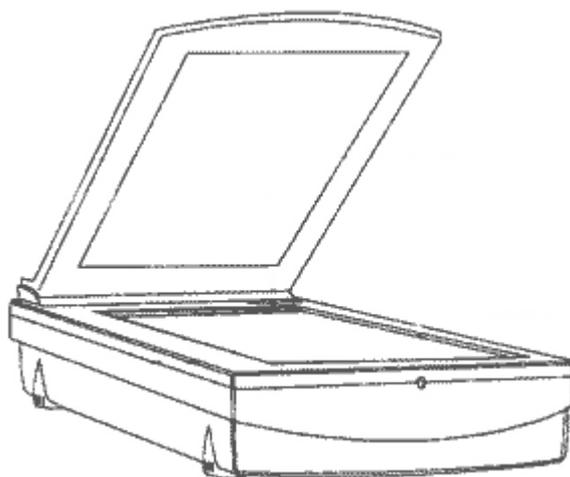


Рисунок 4 – Планшетный сканер

*В планшетном сканере оригиналы размещаются в горизонтальной плоскости.*

Преимуществами планшетных сканеров являются возможность работы с оригиналами на жесткой основе, удобство монтажа оригиналов в рабочей зоне сканера и сравнительно низкая стоимость. Главным их недостатком является малый формат, что ведет к необходимости сшивки растровой основы из фрагментов.

Для сканирования прозрачных оригиналов в планшетных сканерах используются специальные адаптеры - слайд-модули. Однако для качественного сканирования прозрачных материалов используют специальные сканеры для обработки пленок и диапозитивов - слайд-сканеры, позволяющие получить качество сканирования, приближающееся к барабанной технологии.

Сканеры протяжного типа (ролевые сканеры) отличаются большим форматом и могут иметь ширину сканируемой области до 965 мм (длина не ограничена).

Таким образом, протяжные сканеры могут успешно применяться в картографии для сканирования самых разнообразных оригиналов, в том числе большеформатных. По стоимости протяжные сканеры располагаются между сканерами планшетного и барабанного типа

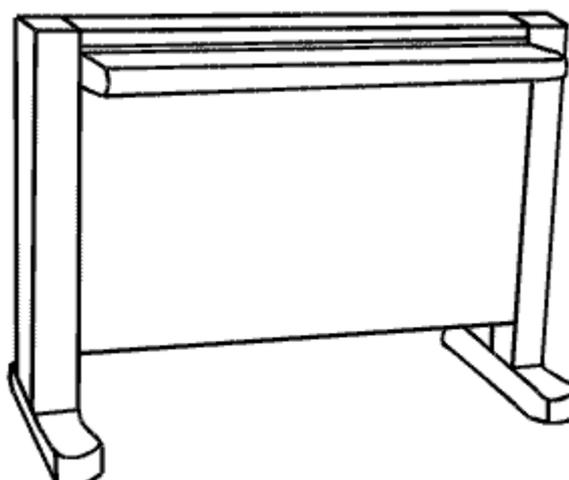


Рисунок 5 – Протяжной сканер

### Управление параметрами сканирования

Как уже отмечалось выше, качество сканирования зависит от типа и размера сканируемого оригинала, технических характеристик сканера, квалификации оператора, технологии сканирования и цифровой обработки оригинала. Управление параметрами сканирования следует выполнять непосредственно перед самим процессом сканирования в специальной программе, которая обычно поставляется со сканером. Это позволяет получить цифровое изображение с максимально возможным качеством для сочетания "сканер + оригинал". Для упрощения технологии сканирования финальную обработку изображения можно производить в программе обработки растровой графики Adobe Photoshop (данный подход малоприменим для сканирования высокохудожественных оригиналов). Подобная технология обладает сравнительно высокой производительностью и широко используется при подготовке сканов картографических материалов.

### *Средства распознавания и векторизации*

*Цифрование (digitizing, digitising, digitalization)* – синонимы: оцифровка, дигитализация, отцифровка; жаргон: сколка, скалывание.

1. процесс аналого-цифрового преобразования данных, то есть перевод аналоговых данных в цифровую форму, доступную для существования в цифровой машинной среде (computer-readable form, machine-readable form) или хранения на машино-читаемых средствах (computer-readable media) с помощью цифрователей (дигитайзеров) различного типа.

2. в геоинформатике, компьютерной графике и картографии: преобразование аналоговых графических и картографических документов (оригиналов) в форму цифровых записей, соответствующих векторным представлениям пространственных объектов.

По методу цифрования различают:

1) цифрование с помощью дигитайзера с ручным обводом (tablet-based digitizing);

2) цифрование с использованием сканирующих устройств (сканеров) с последующей векторизацией растровых копий оригиналов (automatic vectorization of raster files);

3) ручное цифрование манипулятором типа "мышь" по растровой картографической подложке (map background) или полуавтоматическое видеоэкранное цифрование (on-screen digitizing), а также гибридные методы.

По степени автоматизации различают ручное (manual), полуавтоматическое (semi-automated) и автоматическое (automatic) цифрование.

Цифрование линий может выполняться в различных режимах: с поточечным вводом (point mode) или потоковым вводом (stream mode, dynamic mode), когда генерируется поток координатных пар через равные промежутки времени (time mode) или интервалы пространства (distance mode).

Под термином "цифрование" чаще всего понимается именно цифрование при помощи дигитайзера (цифрователя) с ручным обводом (tablet digitizing) в отличие от цифрования, основанного на сканерном вводе оригиналов, "цифрования сканированием" (scan digitizing).

Процесс цифрования обслуживается программными средствами, называемыми графическими векторными редакторами, в функции которых обычно входит назначение режима цифрования, добавление, перемещение и удаление оцифрованных объектов, их аннотирование, атрибутирование и маркировка, замыкание линий в узлах, контроль качества цифрования (поиск, индикация и коррекция тополого-геометрических ошибок и дефектов цифрования, в том числе незамкнутости полигонов, псевдоузлов, висячих линий или сегментов, неузлового их пересечения, складок, нарушающих планарность, удаление дубликатов и т.д.).

## Лекция 8

### НЕТРАДИЦИОННЫЙ КАРТОГРАФИЧЕСКИЙ ВЫВОД

*Графические модели мира. Плоские, объемные, динамические геоизображения. Система геоизображений. Гипергеоизображения. Геоиконика. Геоизображения в Интернете. Атласные информационные системы. Некартографический вывод. Интерактивный вывод.*

#### Графические модели мира

Человечество изобрело карты задолго до того, как появилась письменность. Примитивные картографические рисунки наносили на стены пещер и бивни мамонтов, глиняные таблички, раковины и бересту, а позднее на пергамент, шелк, медные вазы.

Прошедшие тысячелетия изменили облик карты: наскальные рисунки сменились рукописными бумажными картами, потом печатными гравюрами, многокрасочными полиграфическими оттисками, а теперь электронными видеоизображениями и их цветными копиями.

Для обозначения всего множества карт, снимков и других подобных моделей предлагаются термин "геоизображения" и следующее его определение: геоизображение — любая пространственно-временная, масштабная, генерализованная модель земных (планетных) объектов или процессов, представленная в графической образной форме. В этой формулировке обозначены главные свойства, присущие всем геоизображениям (масштаб, генерализованность, наличие графических образов), и отмечена их специфика — это изображения Земли и планет.

Выделяются три класса геоизображений, различающихся прежде всего метрическими свойствами, методами получения, статичностью/динамичностью и, конечно, назначением:

- 1) плоские или двумерные геоизображения,
- 2) объемные или трехмерные геоизображения,
- 3) динамические трех- и четырехмерные геоизображения.

#### Плоские геоизображения

К этому классу относятся карты и планы, знаковые, генерализованные модели, построенные в картографических проекциях: топографические, тематические карты самых разных масштабов, назначения и содержания, а также всевозможные производные картографические модели. Таковы, например, анаморфированные карты — изображения, искажающие реальные пространственные формы ради более наглядной передачи особенностей размещения картографируемых явлений (рис. 1).

Аэро- и космические снимки, фотографии морского дна, телевизионные, радиолокационные, гидролокационные, сканерные

изображения и т.п. также относятся к плоским геоизображениям. Они регистрируют собственное или отраженное излучение объектов, причем съемка может быть покадровой, построчной или поэлементной — от этого зависят геометрические свойства и разрешение снимков. А кроме того, съемку ведут в разных диапазонах электромагнитного спектра, то есть в видимой, инфракрасной, микроволновой зонах, и это еще более расширяет изобразительные возможности снимков.

Комбинации геометрических и спектральных свойств снимков настолько разнообразны, что все их даже затруднительно перечислить. Самое же главное свойство всех снимков — это копия (иконическая) передача объектов, их реальной формы и вида с той степенью разрешения (подробности), которую обеспечивает съемочная аппаратура. В этом состоит принципиальное отличие снимков от карт — условно-знаковых изображений, созданных руками и мыслью картографов и отражающих уровень современных знаний об объекте.

Еще одна группа плоских геоизображений — компьютерные (электронные) карты, высвечиваемые на экранах в растровом и векторном форматах, либо построенные на высокоточных цветных печатающих устройствах (принтерах). На электронных картах можно использовать особые мигающие знаки, меняющиеся расцветки, добавлять на карты новую информацию (в том числе и фотоизображение), менять их масштаб и проекции, выполнять другие трансформации. Можно "перелистывать" карты прямо на экране, совмещать их друг с другом — словом, работать с электронными картами в интерактивном режиме.

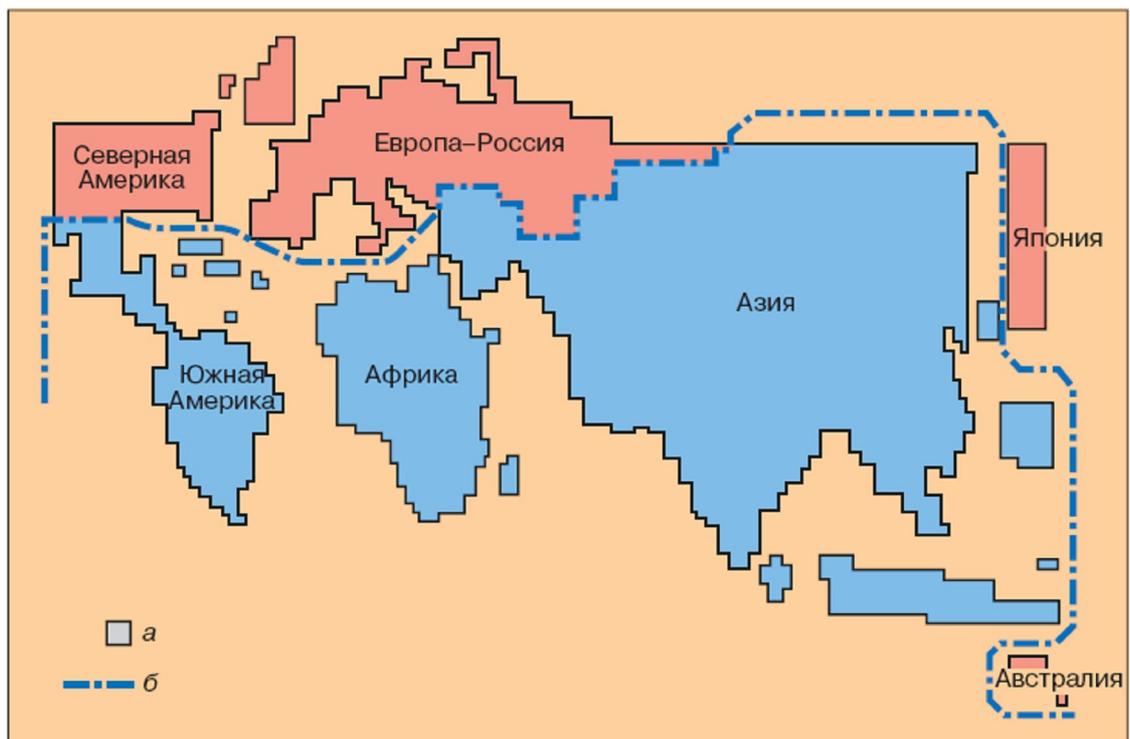


Рисунок 1 - Анаморфированное изображение с измененными формами территорий: их размеры пропорциональны не реальной площади, а количеству населения: а - 10 млн жителей, б - граница север-юг (по Вилли Брандту), отражающая резкие различия в численности населения между промышленно развитыми и развивающимися странами

### Объемные геоизображения

Второй класс геоизображений объединяет трехмерные графические модели, зрительно воспроизводящие объемность реального мира. К ним относятся блок-диаграммы — трехмерные рисунки местности, стереоскопические модели — результат разглядывания стереопар снимков сквозь специальные стереофотограмметрические приборы, физиографические панорамы — модели, сочетающие наглядность и картинность художественных пейзажей с точностью карт, и др. Такие панорамы и пейзажи конструируют теперь на экранах компьютеров, они чрезвычайно удобны для планирования архитектуры ландшафта, размещения на нем зданий и сооружений.

К объемным геоизображениям принадлежат рельефные карты и глобусы, которые еще недавно лепили вручную из папье-маше, а теперь формуют из пластика термовакуумным способом, и, наконец, объемные голограммы. Сегодня голографические карты и снимки местности существуют в единичных экспериментальных экземплярах, но прогресс этой технологии столь стремителен, что, возможно, скоро они станут не менее привычными, чем электронные карты.

## Динамические геоизображения

Движущиеся геоизображения передают изменения объектов не только в пространстве, но и во времени, то есть как бы в четвертом измерении. Это плоские или стереоскопические картографические фильмы и мультипликации, получившие название анимаций. С их появлением картография преодолела свою извечную статичность, стали говорить даже об особой анимационной картографии, в которой традиционная статичная картография выглядит как частный случай.

По динамическим геоизображениям легко, например, следить за разрастающимися пятнами нефтяного загрязнения на поверхности океана, за путями перемещения очагов эпидемий, изменениями температурных полей на суше и в океане (рис. 2), за движениями ледников и т.п. Новейшие компьютерные технологии позволяют перемещать картографическое изображение по экрану, менять скорость демонстрации, возвращаться к нужному кадру или двигаться в обратной последовательности. Отдельные знаки могут мигать, а фоновые окраски — пульсировать, как бы предупреждая об опасности, можно также выполнять панорамирование, изменять ракурс, поворачивать все изображение и даже создавать эффект движения над картой, словно совершая "облет" территории, причем с разной скоростью.

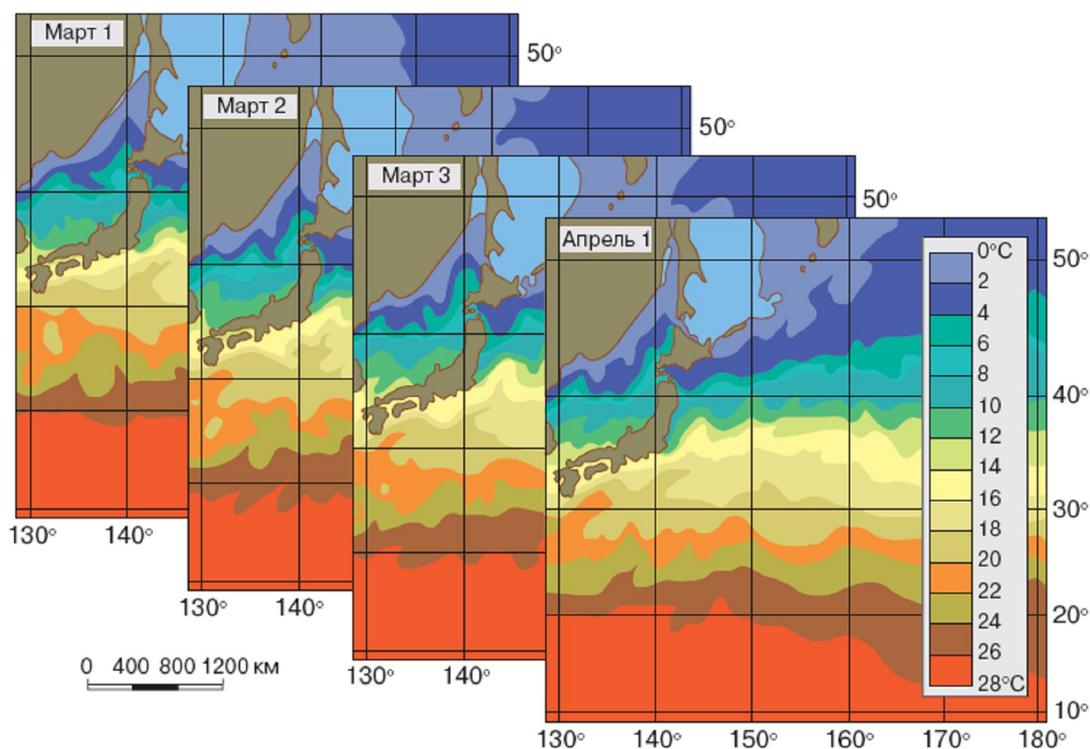


Рисунок 2 - Фрагмент компьютерной анимации: последовательность карт-кадров, отражающих изменения температурного поля фронтальной зоны течения Куроcио в северо-западной части Тихого океана. Каждый кадр характеризует состояние на декаду (1, 2, 3-я декады марта и 1-я декада

апреля). Абсолютные значения температура (в °С) показаны в виде вертикальной колонки цифр на правом кадре

### Система геоизображений

Классификация геоизображений может быть выполнена по разным основаниям: по технологии изготовления, способам визуализации, уровню генерализации, оперативности и др. В табл. 1 приводится одна из классификаций по двум признакам: статичности—динамичности и размерности. Классификация, конечно же, не является исчерпывающей ввиду многообразия геоизображений.

Кроме геоизображений, входящих в рассмотренные три класса, есть много комбинированных моделей, сочетающих в себе разные свойства. Таковы, например, широко распространенные космофотокарты (иконокарты), на которых знаковая картографическая нагрузка напечатана поверх фотоизображения, так что читатель одновременно видит и генерализованную карту и детальный снимок одной и той же местности. В других случаях фотоизображение как бы натягивается на трехмерную модель рельефа (рис. 3), в результате чего получаются фотоблок-диаграммы, обладающие большой наглядностью. К комбинированным геоизображениям относятся фототелевизионные и синтезированные многоспектральные снимки.

Изучая все множество геоизображений, можно обнаружить, что между разными их видами часто нет резких границ. Например, нет принципиальных различий между обычными и электронными картами, хотя на последних имеются движущиеся знаки и изменяющиеся цвета. А от электронных карт уже один шаг до анимаций. Точно так же существует плавный переход от карт к фотокартам, затем к иконокартам и далее к снимкам. При этом постепенно ослабевают свойства знаковости и нарастают свойства копийности или снимковости. А при переходе от снимков к стереомоделям, фотоблок-диаграммам и потом к рельефным картам нарастает трехмерность, объемность изображений.

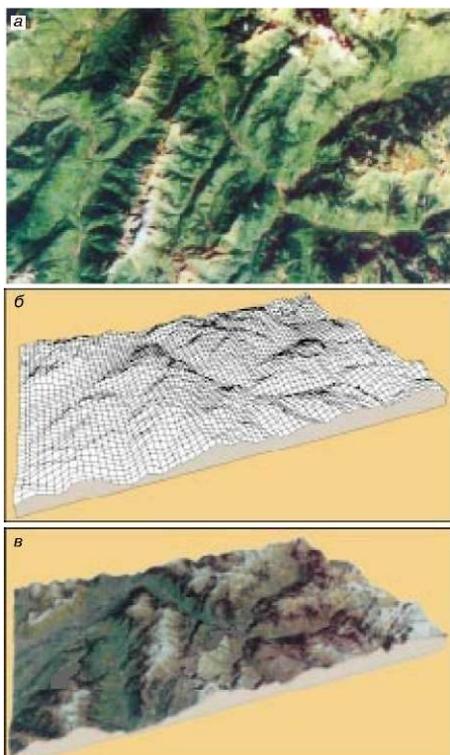


Рисунок 3 - Построение фотоблок-диаграммы: а - космический снимок с французского спутника SPOT (район Альбервиль, Франция); б - трехмерная компьютерная блок-диаграмма (цифровая модель) того же района; в - совмещение блок-диаграммы со снимком

На круговой диаграмме (рис. 4) геоизображения представлены в виде системы с плавными изменениями свойств, постепенными взаимными переходами. В этой системе показаны, конечно же, не все сектора-лепестки. Так, между картами и снимками можно разместить еще перспективные карты, фотопланы и фотопортреты местности. Плоский график неспособен передать все многообразие взаимных переходов и комбинаций. Он отражает постепенность изменения форм и свойств графической визуализации, представляя собой одну из возможных моделей единой системы геоизображений.

### Гипергеоизображения

Центральную часть диаграммы занимают наиболее сложные графические модели, в разной степени синтезирующие свойства карт, снимков, объемных и динамических изображений. Их можно обозначить термином "гипергеоизображения" (или для краткости "гиперизображения"), понимая под этим обобщение понятия обычного геоизображения на случай синтетической многомерной модели, в той или иной мере интегрирующей геометрические, яркостные, динамические и стереоскопические свойства.

Как правило, гипергеоизображения — это программно управляемые модели, свойствами которых можно управлять по мере необходимости. С

развитием компьютерных технологий становится вполне реальным конструирование гипергеоизображений с любыми заданными свойствами. Появляются, например, особые стереокарты или объемные фотоизображения горного рельефа с заранее рассчитанным освещением и распределением теней и т.п.

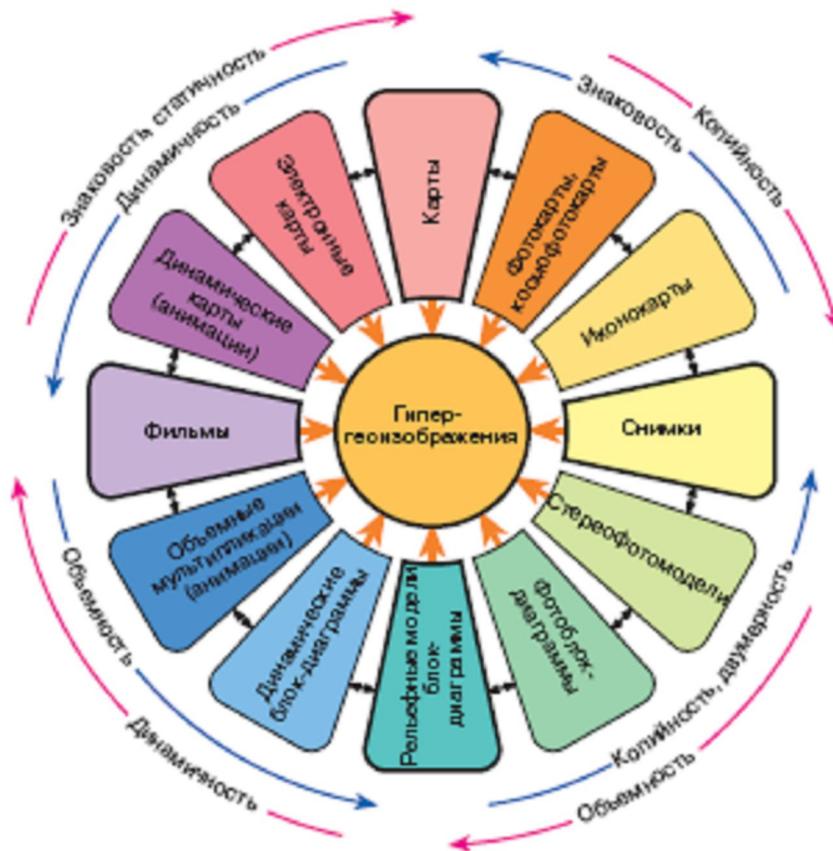


Рисунок 4 - Система геоизображений

Таблица 1 – Классификация геоизображений

Статические		Динамические	
двумерные	трехмерные	двумерные	трехмерные
плоские	объемные	плоские	объемные
Карты, снимки, планы, фотокарты, ЭВМ-карты, синтезированные изображения	Анаглифы, блок-диаграммы, рельефные модели, голограммы	Кинофильмы, мультфильмы, слайд-фильмы, многовременные метакронные диаграммы, киноатласы	Стереofilьмы, стереомультимедии, стереоголограммы, динамические блок-диаграммы, динамические голограммы

Прогресс в области конструирования гипергеоизображений так же бесконечен, как и в любой другой сфере творческого поиска. Возникают новые задачи, связанные с выбором оптимальных диапазонов космической съемки, наиболее выгодных картографических проекций, разработкой изобразительных средств, способов генерализации, изучением особенностей зрительного восприятия динамических изображений и т.п.

### Геоиконика

В 60-е годы стала быстро прогрессировать особая наука об изображениях — иконика, которая, не претендуя на замену таких конкретных отраслей знания, как телевидение, фотография, оптика и др., занялась исследованием общих свойств изображений, целей и задач их преобразования, обработки и воспроизведения, распознавания графических образов. Постепенно идеи иконики стали проникать в дистанционное зондирование и науки о Земле.

В 1985 году была выдвинута идея разработки нового направления — геоиконики как синтетической отрасли знания, изучающей теорию геоизображений, методы их анализа, преобразования в науке и практике. При этом геоиконика является не просто пограничной, а скорее связующей дисциплиной между картографией, аэрокосмическими методами и машинной графикой.

Геоиконика связывает три мощных научных направления, каждое из которых так или иначе изучает геоизображения — это картография, аэрокосмические методы и машинная графика. При этом она вбирает в себя достижения иконики, кибернетики, психологии восприятия, теории распознавания образов, то есть тех дисциплин, которые накопили значительный опыт анализа и обработки изображений, а также наук о Земле, позволяющих понять содержательную сущность геоизображений. Геоиконика, однако, ни в коей мере не должна (и не может) подменять такие отрасли картографии, как использование карт или картографическая семиотика, или заступить место дешифрирования и фотограмметрии. Задача ее не подмена, а интеграция исследований, их синтез, предполагающий получение нового знания.

В наши дни идеи построения единой теории геоизображений разрабатываются по разным направлениям. Это связано с развитием и обоснованием картографо-аэрокосмического метода исследования на базе автоматизации, с формированием интегральных геоинформационных систем, с упоминавшимися выше разработками в области трехмерного картографирования, с созданием фотокарт и ортофотокарт, с проблематикой динамического картографирования, а также с теоретическими изысканиями на стыке картографии и аэрокосмических методов.

Решающую роль в становлении нового направления играют цифровое картографирование и геоинформационные системы. Именно с их помощью изготавливают электронные карты, трехмерные модели, анимации и сложные

гипергеоизображения, предоставляющие пользователю информацию в формах, наиболее удобных для решения конкретных задач.

## Геоизображения в Интернете

Геоизображения, размещенные в Интернете, включают прежде всего статичные карты и атласы, а также аэро- и космические снимки, поступающие в цифровой записи. Число таких изображений чрезвычайно велико, например только государственная картографическая служба США разместила в Интернете сотни тысяч документов. Кроме того, в сети существуют многочисленные интерактивные геоизображения, то есть такие, которые сам пользователь может составлять и преобразовывать в процессе исследования. В этом случае появляются возможности для изменения или обновления содержания карт, комбинирования элементов, модификации способов изображения, выбора изучаемого района и т.п. Но, пожалуй, наиболее существенно то, что в интерактивном режиме пользователь может наносить на карты дополнительную текущую информацию.

Особую группу составляют анимации, то есть движущиеся мультипликационные геоизображения, картографические фильмы, мультимедийные картины. В Интернете представлены анимации самого разного вида — от простых электронных карт до трехмерных блок-диаграмм, пейзажных карт с меняющейся перспективой и панорам, которые показывают территорию словно с высоты птичьего полета и даже моделируют ее облет.

Наконец, в компьютерной сети размещены блоки карт, снимков и иных геоизображений, входящих в географические информационные системы (ГИС). С ними можно манипулировать: сопоставлять между собой, накладывать друг на друга, определять по ним взаимосвязи явлений, использовать для оценки и районирования территории и решения других научно-практических или учебных задач.

Основной массив в Интернете образуют оперативные карты, создаваемые в режиме реального времени, то есть в период протекания самого процесса. Они отражают актуальную справочную информацию. Подсчитано, что наибольшее место в Интернете занимают карты погоды и опасных атмосферных явлений (ураганов, циклонов). На рис. 5 представлена регулярно обновляемая по данным космических съемок карта нагрева поверхностных вод Мирового океана. Вторые по частоте встречаемости — планы городов и дорожные карты (рис.6).

Другие геоизображения ориентированы на специализированное применение в научных и практических целях (например, карты динамики окружающей среды или спутниковые снимки, фиксирующие состояние сельскохозяйственных посевов). Популярны карты транспорта и навигации, картосхемы текущих событий, политических конфликтов, горячих точек, карты национальных парков, предназначенные для туризма, отдыха и путешествий.

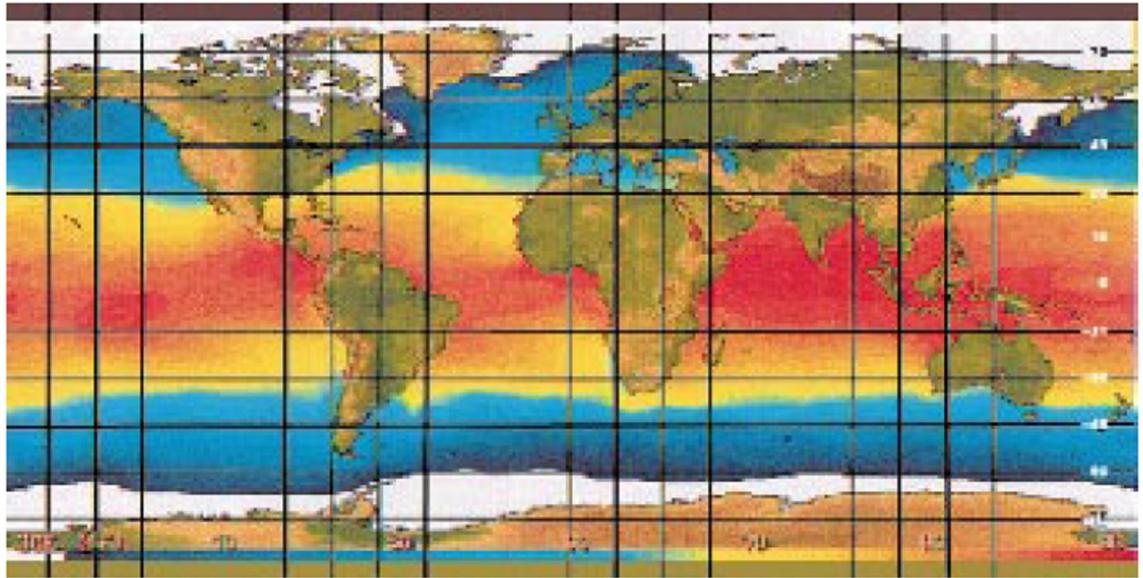


Рисунок 5 - Карта температуры поверхностных вод Мирового океана, составляемая по данным космических съемок. Теплые оранжевые и желтые цвета характеризуют распространение нагретых вод в экваториальной и субтропической зонах, голубые и синие цвета - холодных вод умеренных и высоких широт

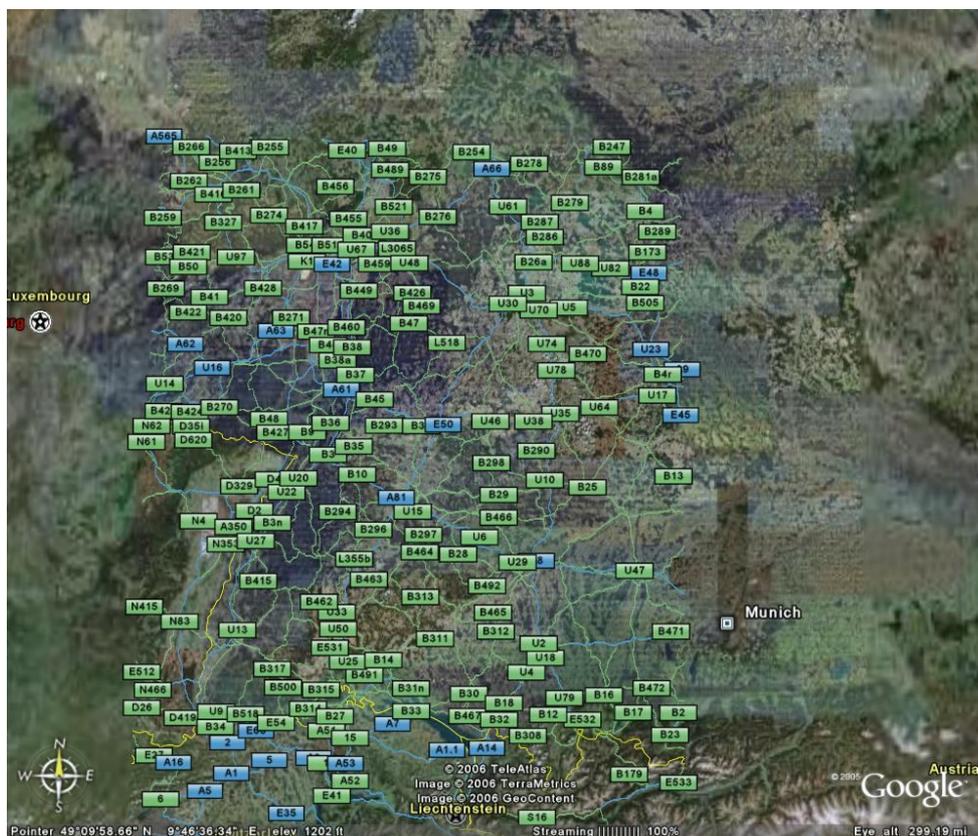


Рисунок 6 – Дорожная сеть Германии

## Атласные информационные системы

Особое место в Интернете занимают электронные атласы. Они оказались удачной альтернативой бумажным, создание которых, как известно, требует длительного времени, иной раз растягивается на долгие годы, так что некоторые из атласов частично устаревают еще в процессе подготовки. Существуют разные типы электронных атласов. Одни из них предназначены только для визуального просмотра (перелистывания), в других предусмотрена возможность менять оформление, способы изображения и даже классификации картографируемых явлений, увеличивать и уменьшать карты, получать бумажные копии (это так называемые интерактивные атласы), третьи позволяют более разнообразно работать с картами, комбинировать и сопоставлять их, проводить по картам количественный анализ и оценку, выполнять взаимное наложение и пространственные корреляции, по существу это ГИС-атласы. Наконец, есть особые электронные Интернет-атласы, в структуре которых кроме карт, дополнительной информации и сегмента интерактивных действий обязательно присутствует еще и сегмент навигации, то есть средство перемещения по сети в поисках других карт.

Электронные национальные атласы созданы или находятся в процессе создания в Канаде, США, Швеции, Финляндии, Нидерландах, Франции, Германии, Швейцарии, Китае, Украине и других странах. Как правило, они базируются на многотомных бумажных атласах. Так, Национальный атлас Швеции включает 17 томов, Нидерландов — 20 томов, Финляндии — 25 выпусков, Испании — 40 выпусков. Правда, электронные атласы не всегда повторяют бумажные прототипы именно в связи с текущим обновлением карт, появлением новых сюжетов и даже частичным изменением структуры.

Проект Национального атласа России предусматривает наряду с многотомным печатным изданием создание двух версий: 1) электронной (упрощенной) на магнитных дискетах и компакт-дисках (CD-ROM), которая разрабатывается одновременно с традиционной бумажной версией и может быть впоследствии дополнена другой видео- и аудиоинформацией, анимациями и гипертекстом; 2) ГИС-версии, которую также предполагается расширить за счет мультимедиа и разместить в компьютерных сетях.

В последние годы появилось новое выражение — "публикация атласов в Интернете". Речь идет о размещении атласов в компьютерной сети и, конечно, прежде всего капитальных национальных атласов, отражающих состояние природы, экономики, историю и культуру страны. Такие атласы можно обновлять постоянно по мере поступления информации, например, от государственной статистической службы. Таким образом, осуществляется мониторинговое "дежурство" по атласу и по существу формируются национальные атласные информационные системы, которыми могут пользоваться учреждения и частные лица, имеющие персональные компьютеры любого типа. Примером может служить существующая в Канаде Информационная система национального атласа.

Оперативное использование атласа определяется пропускной способностью каналов, связывающих пользователей с серверами. Килобайты графической информации пока еще не очень быстро путешествуют по информационным магистралям, нередко возникают информационные пробки и Интернет становится как бы жертвой собственных достижений. Один из вариантов преодоления такой ситуации — создание так называемых гибридных атласов, когда базовые карты хранятся в памяти компьютера, а быстро меняющиеся изображения обновляются (пересоставляются) через Интернет. По такому гибриднему типу создана Атласная информационная система Нидерландов, в которой постоянно актуализируются социально-экономические карты и метаданные, описывающие вновь поступившую информацию.

## ЛЕКЦИЯ 9

### ГЕОАНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

Общие аналитические операции и методы пространственно-временного моделирования

Хотя хранящаяся в ГИС информация и представляет собой основную ценность, она приносит реальную пользу только при ее использовании для решения прикладных задач. Каждая ГИС наряду с модулями для ввода и вывода данных обязательно имеет средства, предназначенные для выполнения общих функций пространственного анализа, и средства для решения специфических задач пользователя. Эти средства зависят от моделей данных, поддерживаемых ГИС и используемых для решения задач пользователя. В результате конкурентной борьбы между коммерческими ГИС к настоящему времени сложился перечень функций, наличие которых практически обязательно для таких ГИС. Это прежде всего функции организации выбора объектов по тем или иным условиям, редактирования структуры и информации в базах данных; картографической визуализации; картометрические; построения буферных зон; анализа наложений; сетевого анализа и др.

Широкий круг операций поддерживается в той или иной мере многими геоинформационными системами. Это процедуры кластеризации и классификации, построения изолиний, проверки статистических зависимостей (факторный и корреляционный анализы), геометрических и проекционных преобразований геометрических данных. Рассмотрим перечисленные возможности более подробно.

Пространственный анализ чаще всего проводится с целью выявления следующих отношений:

- закономерностей в структуре или особенностей распределения объектов, а также их характеристик в пространстве;
- наличия и вида взаимосвязей в пространственном распределении нескольких классов объектов или отдельных характеристик;
- тенденций развития явлений в пространстве и во времени.

Еще одной задачей пространственного анализа является выбор решения с учетом пространственных характеристик (расстановка антенн и определение их характеристик для обеспечения непрерывной радиосвязью поездов в процессе движения, выбор оптимального маршрута проезда с учетом ограничений и прогнозируемой скорости движения по улицам города и др.).

При проведении пространственного анализа можно использовать только те представления объектов реального мира, которые возможно реализовать с помощью моделей данных, заложенных в систему. В ГИС используются два основных подхода к описанию пространства:

1) подход, основанный на структурировании пространства, т. е. выделении пространственных объектов, указании характера их локализации в пространстве, границ и в некоторых случаях взаимосвязей с другими объектами;

2) подход, основанный на неструктурированном представлении пространства. В этом случае все изучаемое пространство, как правило, представляется множеством ячеек заданного размера и формы, в которых определены усредненные параметры или характеристики, соответствующие этой части пространства. Это могут быть характеристики, которые принимают любые значения из заданного интервала (температура, соленость, количество осадков) или характеристики из заданного перечня (лес, озеро, луг, пашня и т.д.). Несмотря на то что в этом случае используются названия объектов, фактически они не существуют, не определен характер их локализации, не заданы границы, без выполнения процедуры структуризации невозможно подсчитать количество объектов и т.д.

Определяя основные задачи анализа, мы говорили о свойствах и характеристиках объектов или точек пространства. Следует учесть, что они также совсем не однородны. Прежде всего, следует разделить все характеристики на качественные и количественные. С количественными характеристиками можно выполнять различные операции, качественные характеристики можно главным образом сравнивать. При сравнении обычно пытаются ответить на два вопроса: совпадают ли сравниваемые характеристики или объекты? можно ли определить порядок этих характеристик или объектов?

Если можно дать ответ только на первый вопрос, то говорят, что объекты описаны в номинальной шкале, или шкале категорий, если можно ответить и на второй вопрос, то объекты описаны в ранговой шкале.

Примеры этих шкал хорошо известны. Все леса на топографических картах делятся на три категории: хвойные, лиственные и смешанные. Здания делятся на две категории: огнестойкие и неогнестойкие, а железные дороги — на электрифицированные и неэлектрифицированные.

Здесь отсутствует ранжирование. Для каждого объекта на карте указывается, относится он к выбранной категории или нет. Между категориями не установлено никаких отношений порядка. Мы не можем сказать, какая из них лучше или больше.

Если характеристики заданы в ранговой шкале, то появляется возможность сравнивать объекты. Так, например, если экологическая обстановка в различных городах определяется в шкале качества (хорошая, удовлетворительная, плохая), то порядок предпочтений с точки зрения проживания, или ранг качества, однозначно определен.

Количественные характеристики также не равноценны. В любом случае для определения количественной характеристики должна быть задана шкала, позволяющая выражать значения характеристики в единицах некоторого эталонного значения (метрах, граммах, гектарах и т.п.). Количественные характеристики задаются в шкалах двух типов. В шкале

первого типа положение начала отсчета условное, в шкале второго типа нуль соответствует наименьшему значению характеристики, абсолютному нулю. Примеры таких шкал — шкалы температур Цельсия и Кельвина. Следует отметить, что для картографии и геоинформатики является типичным переход от шкал, в которых были определены исходные данные, к шкалам, используемым при картографическом отображении. Связан этот переход с необходимостью отображения количественных и качественных характеристик графическими переменными, используемыми в различных способах картографического отображения. Особенность восприятия такова, что человек не может различать плавный переход в параметрах условных знаков и, следовательно, условные знаки могут быть хорошо читаемыми только в том случае, когда их параметры изменяются дискретно и принимают небольшое число значений, желательно 5 — 7.

Следует еще раз подчеркнуть существенное различие терминологии, используемой в документации к различным ГИС. Чтобы это обстоятельство не помешало в изложении данной темы, рассмотрим некоторые классы понятий, имеющие различные названия в разных ГИС.

Будем в дальнейшем считать синонимами следующие группы терминов:

- слой (GeoGraph/GeoDraw), класс объектов (GeoMedia Professional), тема (ArcView GIS), таблица, слой (MapInfo Professional), рисунок (Autodesk Map);

- карта (GeoGraph/GeoDraw), документ (GeoMedia Professional), вид (ArcView GIS), проект (AutoCAD Map), рабочий набор (MapInfo Professional).

## ФУНКЦИИ РАБОТЫ С БАЗАМИ ДАННЫХ

Функции анализа в этом случае включают: изменения структуры баз данных (добавление или удаление полей, изменение их типов); ввода новых данных и редактирование имеющихся, в том числе в автоматическом режиме и посредством выполнения специальных процедур анализа, таких, как вычисление площадей или определение соседей; простого поиска сведений; поиска необходимых данных с использованием запросов типа SQL либо QBE с одновременным выделением выбранных объектов как в таблицах баз данных, так и на картах; вычисления (калькуляция) новых значений поля по характеристикам других полей базы данных или других баз; создания производных баз данных путем объединения (классификации) записей исходной базы или выбором части полей исходной базы; объединение баз по общему (ключевому) полю и др.

Эти функции значительно чаще других используются при анализе данных в ГИС. Их реализация в разных системах различна. В некоторых из них результаты любого запроса становятся самостоятельным элементом (GeoMedia Professional, Map Info Professional), с которым можно обращаться так же, как с любым другим (классом объектов, таблицей и т.п.), т.е. давать ему имя, настраивать его визуализацию, конструировать к нему новые запросы, использовать его в других операциях. Иногда результат запроса можно сохранять как самостоятельный элемент (тема в ArcView GIS), а можно использовать на последующих этапах анализа без сохранения. Например, в ArcView GIS выбранные объекты одной темы могут быть использованы для выбора из другой темы объектов, удовлетворяющих определенным геометрическим условиям (находятся полностью внутри, полностью содержат, имеют своим центром, содержат центр, пересекаются, отстоят от центра) и др.

В большинстве ГИС имеются Мастера для построения SQL-запроса, однако с их помощью обычно можно строить только упрощенные варианты запросов. Так, Мастер, реализованный в системе ArcView GIS, позволяет фактически построить запрос типа:

```
SELECT <поля> FROM <таблица> WHERE <формулировка условия>
```

где служебные слова следует читать следующим образом: SELECT — выбрать; FROM — из; WHERE — где. Фактически Мастер не накладывает ограничений на выбор полей, что соответствует записи SELECT \*, а таблица задается активным видом. При создании атрибутивных запросов могут использоваться операторы отношений (=, >=, <=, <>, >, <), логические операторы (and — логическое И; or — логическое или; not — логическое отрицание), круглые скобки (используются для группировки выражений) и арифметические операторы (+, -, \*, /).

В некоторых системах запросы могут содержать также пространственные условия. Так, Мастер, реализованный в системе GeoMedia Professional, позволяет использовать для выбора объектов пространственные операторы (касаются, на расстоянии, содержат, содержатся в, полностью содержат, полностью содержатся, перекрывают, граничат, пространственно равны).

Действие этих операторов не всегда очевидно. Вот как они описаны в руководстве по системе.

**Касаются** — возвращает объекты, которые касаются определенных объектов произвольным способом — встык, перекрываются, содержат и/или содержатся в определенных объектах.

**На расстоянии** — возвращает объекты, какая-либо часть которых будет находиться в пределах указанного расстояния относительно определенных объектов.

**Содержат** — возвращает объекты, которые содержат определенные объекты. Возвращаемые объекты могут касаться, но не перекрывать границы определенных объектов (т.е. не совпадать с ними полностью). Точечные объекты не могут содержать другие элементы.

**Содержатся в** — возвращает объекты, которые полностью находятся в пределах определенных объектов. Возвращаемые объекты могут касаться, но не перекрывать границы определенных объектов.

**Полностью содержат** — возвращает объекты, которые содержат определенные объекты. Возвращаемые объекты не могут касаться или перекрывать границы определенных объектов. Точечные объекты не могут содержать другие элементы.

**Полностью содержатся в** — возвращает объекты, которые полностью находятся в пределах определенных объектов. Возвращаемые объекты не могут касаться или перекрывать границы определенных объектов.

**Перекрывают** — возвращает объекты, которые перекрывают определенные объекты (имеют с ними общие внутренние точки).

**Граничат с** — возвращает объекты, которые граничат с определенными объектами, касаясь, но не перекрывая их (не имея с ними общих внутренних точек)

**Пространственно равны** — возвращает объекты того же типа, что и определенные, имеющие ту же форму и занимающие то же положение.

Следует заметить, что понятие совпадения точек определяется с точностью до некоторой величины-допуска. Координаты точек, отличающиеся на величину, не превосходящую допуска, считаются совпадающими.

Набор пространственных операторов в GeoMedia Professional зависит от вида того хранилища, с которым установлено соединение. Перечисленные операторы используются при соединении с хранилищем на базе СУБД Access. При соединении с хранилищем на базе СУБД Oracle используются пространственные операторы: Touch, Disjoint, Overlap Boundary Disjoint, Overlap Boundary Intersect, Equal, Contains, Inside, Covers, Covered By, Any

Interact. В этом наборе есть операторы, которых не было в наборе для хранения Access, например, Disjoint — границы и внутренние области объектов не пересекаются.

Комбинирование атрибутивных и пространственных элементов запросов позволяет без особых усилий составлять запрос, позволяющий, например, выбрать все дома в городе, попадающие в санитарно-защитные зоны предприятий и одновременно с этим отстоящие от основных магистралей на расстояние, менее заданного, а также стоящие на балансе города. В этих домах необходимо провести установку тройных стеклопакетов за счет города. Выбор объектов — это один из инструментов, обеспечивающих анализ пространственного размещения объектов.

Для более квалифицированных пользователей в некоторых ГИС предусмотрена возможность создания полноценных SQL-запросов.

Так, Мастер построения запросов MapInfo Professional 6.5 позволяет построить полноценный SQL-запрос, задав таблицы, поля, условия, содержащие операторы отношения, арифметические операторы, большой набор функций, среди которых и функции, позволяющие определить геометрические характеристики, такие, как площадь (Area), периметр (Perimeter) и др., географические операторы — содержит (Contains), лежит внутри (Within) и др., а также статистические функции — сумма (Sum), среднее значение (Avg) и др.

### Агрегирование данных

Агрегирование данных предполагает переход к собирательным, обобщенным характеристикам объектов, сгруппированным по различным критериям.

Первый способ группировки — объединение объектов одной темы в соответствии с их размещением внутри полигональных объектов другой темы.

В системе MapInfo Professional из таких агрегированных данных могут быть созданы новые типы объектов — Группы точек и Коллекции. Группы точек объединяют точечные объекты.

Объект Коллекция может включать объекты разных типов локализации — точечных, линейных и площадных, которые становятся одним объектом. Например, так могут быть объединены в один все водные объекты Карельского перешейка — ключи, реки и озера, которые образуют систему Вуокса.

Второй способ — объединение объектов по равенству значений определенного атрибута. Например, если выполнена оценка состояния инженерных коммуникаций в микрорайонах города, то можно составить карту районирования территории по этому показателю, выполнив агрегирование данных. Если два соседних микрорайона имеют один уровень состояния, то они будут объединены, а общая граница между ними — удалена. Атрибутивная информация объединяемых районов также

агрегируется — в зависимости от вида атрибута может вычисляться суммарное значение, среднее или средневзвешенное, максимальное или минимальное.

Некоторым вариантом агрегирования является функция MapInfo Professional «Оконтуривание объектов». Эта функция создает выпуклую оболочку вокруг выделенного объекта или объектов. Атрибутивные данные при этой процедуре не объединяются. Выпуклая оболочка может быть одна для всех выделенных объектов или для каждого объекта своя.

## Лекция 11

### ФОРМИРОВАНИЕ И РЕДАКТИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

Во всех полнофункциональных ГИС есть средства формирования и редактирования пространственных данных. С точки зрения анализа нас интересуют такие средства, в которых при формировании или редактировании одних данных используются другие.

Так, в системе ArcView GIS присутствуют следующие операции ввода/редактирования:

- разбиение полигонов линиями;
- слияние полигонов;
- создание полигона с дыркой, задаваемой вторым полигоном;
- удаление области перекрытия между полигонами (вычитание одного полигона из другого);
- получение пересечения полигонов.

При выполнении указанных операций можно задать способ вычисления значения каждого поля вновь созданных объектов. Для этого могут быть использованы следующие правила:

- при разбиении:
  - пробел — значения в записях будут пустыми;
  - копия — первоначальное значение присваивается обеим записям;
  - пропорция — первоначальное значение будет разбито пропорционально площадям новых полигонов;
  - площадь — значениями будут площади новых полигонов;
  - периметр — значениями будут периметры новых полигонов;
- при объединении:
  - пробел — значения в записи будут пустыми;
  - копия — первоначальное значение первой записи присваивается результирующей записи;
  - пропорция — значение будет средневзвешенным значением с весами, равными площадям объединяемых полигонов;
  - среднее — значением будет обычное среднее арифметическое значений объединяемых полигонов;
  - площадь — значением будет площадь нового полигона;
  - периметр — значением будет периметр нового полигона.

Среди функций редактирования данных для систем, не поддерживающих топологические модели данных, есть функции, позволяющие из любых данных создавать топологически корректные структуры, т. е. структуры, не имеющие самопересечений, пустот и перекрытий между полигонами, перехлестов и недоводов для линейных объектов.

Так, при удалении перекрытий в системе MapInfo Professional участок перекрытия будет присоединен к тому полигону, площадь которого больше, и удален из полигонов с меньшей площадью.

При удалении пустот между полигонами задается максимальная площадь, которую может иметь удаляемая пустота. Пустотная область присоединяется к тому из соседних с ней полигонов, площадь которого больше.

Для обеспечения топологической корректности информации в MapInfo Professional предусмотрены также операции «Совмещение и генерализация». Три главные функции этой группы операций:

- 1) совмещение узлов разных объектов;
- 2) разреживание узлов/генерализация;
- 3) удаление избыточных полигонов.

При выполнении этих операций необходимо настроить некоторые параметры: допуски расстояний до конечных и промежуточных узлов в первой функции, расстояния между узлами, величины коллинеарных отклонений (стрела прогиба для трех точек) — во второй, максимальная площадь — в третьей.

## Лекция 12

### ГЕОКОДИРОВАНИЕ

Большое внимание в современных ГИС отводится геокодированию — привязке к карте объектов, расположение которых в пространстве задается сведениями из таблиц баз данных. Эта информация может быть представлена следующим образом:

- координатами объектов прямоугольными или географическими, например, точки привязки шурфов в геологических или почвенных исследованиях, координаты которых получены приемниками глобальной системы позиционирования Глонасс или Навстар;

- адресами объектов в адресной системе урбанизированных территорий, например при привязке баз данных паспортной службы или налоговой инспекции;

- почтовыми индексами, например в случае анализа деятельности почтовых террористов;

- расстоянием от начала линейных маршрутов, например при привязке данных об авариях на нефтепроводах или аварийно-опасном приближении растительности к воздушным линиям электропередач.

Функции геокодирования позволяют «привязывать» базы данных, которые ведет большинство ведомств, обслуживающих урбанизированные территории и население, на них проживающее, к картам территорий.

### Построение буферных зон

Буферные зоны — полигоны, границы которых отстоят на определенное расстояние от границ исходных объектов. Например, при расширении зоны, занятой трубопроводом из-за прокладки новой нитки, функциями ГИС может быть создана зона отчуждения вокруг реконструированного трубопровода. Буферные зоны могут создаваться для точечных, линейных и площадных объектов. Во многих случаях расстояние от границы объекта до полигона может зависеть от атрибутивных данных, например длины реки или численности населения города. В некоторых случаях в ГИС предусмотрено построение сразу нескольких буферных зон разных радиусов.

Так, Мастер построения буферных зон в ArcView GIS позволяет выполнить настройку следующих параметров:

- темы, для объектов которой строятся буферные зоны;
- объекты (все или выделенные), для которых выполняется построение;
- вариант построения (заданного радиуса, радиус определяется заданным полем таблицы данных, несколько зон или колец заданных радиусов);
- параметры выбранного варианта;
- размерность параметров;

вид соединения зон для отдельных объектов (без объединения, с объединением);

способ отображения буферных зон (показывать в активном виде, создать новый вид);

путь и имена файлов для сохранения результатов.

В Мастере системы MapInfo Professional дополнительно указывается, какое расстояние следует использовать (на сфере или на плоскости), а также, каким многоугольником интерполировать окружности буферной зоны, например двенадцатиугольником.

### Оверлейные операции

Суть этого достаточно мощного средства анализа множества разноименных и разнотипных по характеру локализаций объектов состоит в наложении двух разноименных слоев (или множества слоев, больше двух, при многократном повторении операции попарного наложения) с генерацией производных объектов, возникающих при их геометрическом наложении, и наследованием их семантики (атрибутов). Наиболее практически важен и распространен случай оверлея двух полигональных слоев. Возникающие при этом вычислительные трудности связаны с большими затратами машинного времени на поиск координат всех пересечений, образующих полигоны линейных сегментов (возрастающих экспоненциально при росте числа полигонов), восстановление топологии полученной производной полигональной сети при так называемом топологическом оверлее и присвоения им атрибутов с вполне очевидной разницей в «механике» наследования атрибутов качественного (символьного) или количественного (числового) типов. Причем в алгоритмах операции наложения могут присутствовать логические операции типа AND, OR, XOR (исключающее «или») и NOT.

## Лекция 13

### СЕТЕВОЙ АНАЛИЗ

Сетевой анализ позволяет пользователю решать различные задачи на пространственных сетях связанных линейных объектов (реки, дороги, трубопроводы, линии электропередач и т. п.). В описании каждого вида сетей наблюдается много общего, но имеются и некоторые различия. Транспортные сети представляют собой различные классы дорог, объединенные вместе перекрестками. Авиалинии и пути движения судов похожи на дорожные сети, однако их положение не имеет строгой координатной привязки к поверхности. Электрические сети прежде всего характеризуют наличие в них различных типов кабелей, а сети трубопроводов для поставок воды, нефти или газа — диапазон диаметров труб, типа станций и т.п.

В классическом представлении сеть считается набранной из линий, которые могут иметь не более двух общих точек с другими линиями — начала и конца. Точку соединения принято называть узлом. Однако далеко не всегда такое представление является естественным, часто оно затрудняет общее представление и анализ. Так, например, в сетях водопроводов крупная труба с серией мелких, отходящих от нее, будет представлена как серия секций крупной трубы, разделенных узлами в местах соединения с трубами малого диаметра. В то же время ее удобнее было бы трактовать как единое целое и, наконец, при незначительной длине трубу крупного диаметра можно считать узлом, из которого выходят малые трубы.

В зависимости от трактовки результаты анализа могут значительно различаться.

Другим важным фактором, определяющим сеть, является способ соединения ее элементов. Во всех типах сетей встречаются два типа соединений — «из/в», «из/через».

Первый тип соединения относительно прост и встречается чаще всего. Он характерен, например, для водных потоков различных порядков.

Второй тип означает, что объект А соединяется с В через промежуточный С. Такой тип соединения встречается обычно в электрических сетях. Например, серия кабелей подходит к узлу, серия кабелей выходит из него, однако не все кабели соединяются со всеми. Этот тип соединения нельзя описать конструкциями первого типа.

Учет типов сетей и особенностей их соединений обязателен при проведении анализа, иначе трудно правильно интерпретировать полученные результаты.

Математически сети описываются теорией графов, а решение многих сетевых задач дает линейное программирование.

Обычно сетевой анализ служит для задач определения ближайшего, наиболее выгодного пути, определения уровней нагрузки на сеть, для определения зон влияния на объекты сети других объектов. Типичной

задачей может быть, например, составление перечня улиц, жители которых отправляют своих детей в одну из наиболее близко расположенных школ. Критериями, позволяющими определить зоны влияния в этом случае, могут служить: расстояние до школы, безопасность пути, напряженность движения на нем, количество школьников, которых школа может вместить, и т.п.

С участками сети обычно связывают понятие направления движения, данные о котором хранятся в БД, связанной с сетью. Другими данными, относящимися к сети, могут быть мощность потока, его временные интервалы и т.п.

Обычно функции сетевого анализа реализуются в дополнительных к полнофункциональным ГИС модулям. Для системы Arc View GIS — это модуль Network Analyst, а для GeoMedia Professional — GeoMedia Network.

Модуль Network Analyst предлагает дополнительные функции к ArcView GIS для анализа линейных сетевых тем, таких, как дороги, линии коммуникаций, городские улицы, реки и др.

Среди решаемых задач:

поиск ближайшего пункта обслуживания (ближайшего центра, предоставляющего определенные услуги);

разработка кратчайшего маршрута (с учетом направлений движения, ограничения передвижения по дорогам, запретов поворотов и других правил дорожного движения);

подготовка маршрутного листа передвижения (маршрут может быть разработан как для проезда из одной точки в другую, так и для посещения нескольких мест — задача коммивояжера. Подготовленный маршрутный лист может быть сохранен в обычном текстовом файле и при необходимости выведен на печать. Маршрутный лист передвижения может включать названия начального и конечного пунктов, длину или время перемещения по каждой из улиц, подробное описание ориентиров, полное или краткое название улиц или дорог);

определение зон обслуживания (доступности) позволяет определить ареалы зон, равноотстоящих от любых пунктов или центров, расположенных на сети. Равноотстояние может определяться расстоянием или временем перемещения.

Для правильной работы с сетями они должны быть снабжены дополнительной информацией: об одностороннем движении вдоль дорог, наличии или отсутствии запретов поворотов и съездов с автострад, участках дорог в туннелях и на мостах и т. п. Если пункты движения будут указываться адресами, то линейная сеть должна быть подготовлена к геокодированию, т. е. улицы должны иметь названия, начальные и конечные номера домов по четной и нечетной сторонам.

На сетях решаются и другие транспортные задачи, например задачи диспетчеризации или контроля и управления движением нескольких подвижных объектов. Как правило, положение объектов в этом случае определяется с помощью приемников систем глобального позиционирования, которыми оснащены подвижные объекты. Информация о

местоположении передается по телекоммуникационным каналам на диспетчерский пункт, где обрабатывается и используется для принятия управленческих решений. Такими пунктами оснащены службы спасения, инкассации, контроля за рыболовецкими судами и даже служба контроля за работой зерноуборочных комбайнов при губернаторе Ульяновской области.

Штурманские навигационные системы устанавливаются не только на морских судах и в самолетах, но и в большинстве современных элитных автомобилей.

### Картометрические функции

К картометрическим функциям, реализованным в большинстве ГИС, относятся расчеты площадей, длин, периметров, площадей реальных поверхностей, объемов, заключенных между поверхностями.

К этой категории можно отнести и функции вычисления вторичных характеристик поверхностей — углов наклона, экспозиций склонов, зон видимости и др.

В некоторых системах при определении перечисленных характеристик учитываются свойства картографических проекций с одной стороны, а также реальный рельеф — с другой.

При использовании карты в любой проекции, включая равновеликие, необходимо вводить поправки за искажение площадей (для равновеликих вычислять масштаб площадей).

Масштаб площадей может быть вычислен в результате деления известной площади некоторого участка на поверхности эллипсоида на площадь его проекции на карте. Таким участком может быть сфероидическая трапеция, заключенная между параллелями и меридианами.

Площадь на карте зависит от вида проекции и может быть вычислена как площадь полигона, интерполирующего положение параллелей и меридианов в пределах трапеции.

Для вычисления объема тела, ограниченного двумя поверхностями, например при оценке объемов земляных работ, и цилиндрической поверхностью, имеющей в качестве образующей заданный полигон в плоскости карты, можно воспользоваться представлением поверхностей в виде TIN- или GRID-моделей.

### Зонирование

Основное назначение функций этой группы состоит в построении новых объектов — зон, т. е. участков территорий, однородных в смысле выбранного критерия или группы критериев. Границы зон могут либо совпадать с границами ранее существовавших объектов (задача определения (нарезки) избирательных округов по сетке квартального деления), либо строиться в результате различных видов моделирования (зоны экологического риска). Типичные задачи этого типа — выделение зон

различной степени проходимости, экологического риска, зонирование урбанизированных территорий по транспортной доступности, построение зон обслуживания поликлиник и т.д. Работа может производиться как с растровыми, так и с векторными моделями. Расчеты производятся как по одной, так и по группе характеристик и могут быть обобщены по заданным пользователем критериям.

Построение районов может выполняться и полностью вручную. Так эта операция выполняется в MapInfo Professional. Эта функция позволяет создавать новые районы, перепланировать существующие и т.д. Например, можно осуществить построение избирательных округов или зон обслуживания поликлиник из единиц административного деления. При выполнении этой операции автоматически пересчитываются обобщенные числовые характеристики для всех районов, например число избирателей или детей школьного возраста. Это позволяет учесть множество плохо формализуемых критериев.

Операции зонирования могут быть основаны на формальных методах кластерного анализа в пространстве признаков и перенесении результатов кластеризации в географическое пространство. Например, в результате раскопок скифских курганов археологами было найдено значительное число кинжалов, которые отличались по размеру и пропорциям отдельных частей. Кластеризация с использованием алгоритма с условным названием «Плесь» позволила, с одной стороны, выделить устойчивые группы объектов в пространстве признаков, а с другой — проследить слияние этих групп при изменении параметра, определяющего близость объектов. Перенесенные на карту результаты кластеризации позволили подтвердить гипотезу археологов о связях отдельных племен.

## СОЗДАНИЕ МОДЕЛЕЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ И АНАЛИЗ РАСТРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

К этому классу относятся модели, построенные по регулярным и нерегулярным точкам, а также модели двух- и трехмерной визуализации, например построение панорамы водосборного бассейна в аксонометрической или иной проекции. Расчет моделей производится по содержащимся в базах данных численным характеристикам. Моделироваться могут как действительный рельеф или непрерывное поле (современное или с учетом динамических изменений), так и воображаемые поверхности, построенные по одному или нескольким показателям, например поверхность углов наклона, плотность дорожной сети или водных объектов и т. п.

В модуле для анализа и трехмерного отображения данных «Поверхность», появившемся в MapInfo 5.5 и предназначенном для работы с моделями типа поверхность, реализованы следующие задачи:

- построение поверхности (матрицы высот) по триангуляционной сети методом Делоне;
- построение двойственной к триангуляции системы планарного разбиения — на базе многоугольников Вороного;
- построение изолиний по поверхностям (изолинии строятся как в виде линий, так и в виде полигонов);
- визуализация данных о значении в узлах поверхности;
- отсечение части поверхности. Позволяет отсечь объектом типа «полигон» ненужную часть поверхности;
- выполнение арифметических операций с поверхностями;
- построение профилей по поверхности;
- построение профилей по таблице изолиний и точно по точкам пересечения профиля с изолиниями. Эта функция позволяет построить профили сразу по нескольким поверхностям;
- вычисление углов наклона к поверхности относимости для каждой точки поверхности;
- расчет зон прямой видимости методами «Из точки наблюдения» и «В точку наблюдения»;
- трехмерная визуализация поверхности, а также по значениям вертикальной компоненты картографических объектов (точек, линий, полилиний и полигонов). Функции настройки вида поверхности: выбор угла наклона, масштаба, способа отрисовки — отмывка, в виде «сеточной модели», рендеринг, настройка цвета и палитры, свойств отображения — коэффициентов рассеивания, отражения и прозрачности, определение точки фокуса, точки наблюдения и угла для отображения поверхности в перспективе.

Функция арифметических операций с поверхностями позволяет выполнить простейшие операции над таблицами типа поверхность, которые можно описать следующим образом:

$$GR = G_1 \{+, -, *, /\} G_2,$$

где  $G_1 = k_1 \{+, -, *, /\} FG_1$ ,  $G_2 = k_2 \{+, -, *, /\} FG_2$ ;  $k_1$  и  $k_2$  - коэффициенты, а  $FG_1$  и  $FG_2$  — значения в ячейках таблиц исходных поверхностей (одна из поверхностей может отсутствовать). Результат арифметической операции — новая таблица поверхности со значениями GR в ячейках.

Аналогичный модуль для работы с полями (грид-темами) в системе ArcView GIS называется Spatial Analyst.

Прежде всего он позволяет преобразовывать любую из векторных тем ArcView GIS (включая темы в формате CAD) в растровый формат грид-темы, а затем использовать все доступные аналитические возможности грид-анализа: создание поверхностей по этим темам, буферизация пространственных объектов, расчет близости точек пространства к тем или иным объектам и др. Грид-темы могут быть также созданы из растровых изображений стандартных форматов, включая TIFF, BIL, Sun raster, USGS DEM, DTED и др.

Функции расстояний включают как расчет расстояния в метрике географического пространства, так и мер близости в других метриках (расстояние по дорогам, время движения, стоимость перевозок).

По значениям мер близости пространство разделяется на отдельные зоны тяготения к тому или иному центру, например зоны обслуживания населения поликлиниками. Расчет расстояний от одной точки до другой можно осуществить с учетом стоимости передвижения в пространстве. Так, например, свое влияние в оценку расстояний могут вносить характеристики грунтов, почв, рельефа, что позволяет оценить затраты на прокладку дороги или других линейных сооружений. Поверхности «стоимостей» по отдельным показателям могут быть объединены в суммарную поверхность оценки стоимости выполнения работ для выбора оптимальной (наиболее дешевой) стратегии.

Модуль позволяет моделировать поверхность по отдельным точечным данным, интерполировать изолинии, рассчитывая уклоны наклона и экспозиции склонов полученной поверхности. Функции построения изолиний позволяют интерполировать поверхность и строить изолинии по значениям в отдельных точках с использованием одного из четырех предлагаемых в Arc View GIS методов интерполяции: ОВР — обратно взвешенных расстояний (средневзвешенных значений соседних точек по заданному числу соседей или в пределах указанного радиуса), Сплайн (создание поверхности с минимальной кривизной), Тренд (подбор наилучшей в смысле некоторого критерия функции с использованием всех входных точек из заданного класса функций, например полиномов заданного порядка. Обычно в качестве критерия выбора используется минимизация суммы квадратов отклонений построенной функции от исходных значений), Кригинг (многоступенчатый подбор математической функции для заданного

числа точек или для точек в пределах заданного радиуса для распространения зависимостей на все точки).

В модуль включены разнообразные функции вычислений и анализа по грид-поверхностям. Функции этой группы позволяют проводить вычисления уклонов, экспозиции склона, освещенности рельефа при регулируемых азимуте и высоте взгляда (отмывки), кривизны поверхности, а также определять зоны видимости из одной или нескольких точек наблюдения.

Любая из грид-тем может быть представлена в более удобном виде с помощью возможности классификации и переклассификации грид-тем. Для растровых слоев возможны два типа классификации: равноинтервальная или по стандартному отклонению от среднего. Количество классов задается пользователем. Можно произвести переклассификацию в грид-теме или присвоение новых значений.

Любая из грид-тем может визуально получить объем за счет использования значений другой грид-темы (например, рельефа) в качестве показателя, который определяет высоту ячейки. Это полезно для наглядного отображения зависимостей между данными двух тем.

Особую группу представляют функции статистического анализа грид-тем. Например, можно получить сведения о максимальном и минимальном значениях, а также о стандартном отклонении, что весьма полезно при выборе типа классификации и количества классов.

Для сравнения нескольких грид-тем имеются функции поэлементных арифметических, логических операций и операций отношения, которые позволяют определить минимум, максимум, среднее значение, преобладающее.

Функции картографической алгебры позволяют производить расчеты значений ячеек по одной или нескольким грид-темам. Математические операторы включают четыре группы: арифметические (сложение, вычитание, умножение, деление значений грид-тем), логические (проверка значений на соответствие ИСТИНА или ЛОЖЬ), сравнительные (соответствие условию сравнения), бинарные действия (вычисления бинарных значений). Кроме того, доступны логарифмические, специальные математические (абсолютное значение, целочисленная часть и т.п.), тригонометрические (синус, косинус, тангенс и т.д.) и степенные функции. С помощью этих функций можно, например, определять наиболее подходящие местоположения для различных объектов по сумме факторов, производить прогноз развития процессов, изменяющихся по установленным закономерностям.

Имеются функции пространственного анализа грид-тем, например построение гистограммы распределения значений по ячейкам как по всей теме, так и в пределах произвольно обозначенного на карте района или по определенным зонам другого покрытия. Можно также подсчитать количество ячеек зоны затопления (или их общую площадь), попадающих в различные виды землепользования (селитебная зона, сельскохозяйственные угодья, транспортные магистрали и т.д.), или проанализировать распределение ячеек разной загрязненности в селитебной или

производственной зоне. В модуле реализованы функции, позволяющие выполнять простые гидрологические расчеты, например определение направления потока воды, попадающей в ячейку, выделение водосборов и построение дренажной сети разного порядка. Эти функции полезны, например, при оценке распространения загрязнения с поверхностными водами, оценке запасов вод и опасности наводнений. В этом же модуле реализованы функции геометрической трансформации, предоставляющие возможности как простого смещения и поворота снимка, так и устранения некоторых погрешностей снимка путем полиномиальной трансформации. С помощью этих функций соседние снимки, например, могут быть подогнаны друг к другу и объединены в единый снимок с учетом зон перекрытия.

Аналогичный модуль для GeoMedia Professional называется GeoMedia Solutions Terrain. Он добавляет в стандартную среду GeoMedia функции создания, обработки и анализа цифровых моделей рельефа. Кроме стандартных инструментов, которые можно найти в большинстве аналогичных продуктов, он содержит функции динамического пролета над моделью местности и функцию создания связей между точками маршрута пролета и двумерными изображениями модели местности (своеобразная виртуальная аэрофотосъемка). Открытый программный интерфейс (API) делает этот продукт платформой для разработки собственных 3D-приложений.

## СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ

Далеко не все ГИС снабжены возможностями специализированного анализа, например ориентированного на вопросы геологии или географии. Связано это с тем, что четкой схемы проведения таких работ не существует, и организации, занимающиеся ими, предпочитают производить анализ по собственным методикам и правилам. Работа со специфическими данными является характерной чертой этого типа анализа. Кроме того, нельзя не учитывать, что взгляды на приемы его ведения могут меняться с течением времени. Поэтому такие возможности в ГИС зачастую добавляются средствами создания приложений самими пользователями. Однако некоторые фирмы, такие как Intergraph Corp., ESRI, Inc., предоставляют пользователям возможность укомплектовать систему фирменными модулями, реализующими специализированные анализы, в частности геологический и геофизический, гидрогеологический, экологический и др. В пакет фирмы Intergraph Corp., посвященный геологическому анализу, входят: работа с сейсмическими данными, анализ геологического разреза, интерпретация геофизических данных и т. п.

В данной главе обратимся к методам пространственного анализа, используемым в географии, которые перспективны для ее развития, но пользователь в настоящее время не сможет реализовать их, используя средства известных ГИС. Такой набор нельзя определить однозначно. Исследователи обычно сами в зависимости от целей и взглядов отбирают свою группу методов, система которых, на их взгляд, дает наиболее полную реализацию целей пространственного анализа. В связи с этим предлагаемый ниже набор методов, естественно, может быть и расширен, и видоизменен.

В данном случае рассмотрим лишь пять методов, каждый из которых обладает широкими возможностями в области формализации и моделирования.

Среди них:

1) метод размытых (нечетких) множеств — метод «размытой» классификации, в которой каждый из показателей характеризуется различной степенью принадлежности ко всем классам. В широком смысле применим для моделирования процессов взаимодействия в условиях размытости географического пространства;

2) метод нейронных сетей — самообучающаяся система, позволяющая классифицировать многомерные явления при недостаточной, а в ряде случаев и искаженной, информации. Метод позволяет выделить и моделировать различные ситуации, оценивать время их «жизни» и давать прогнозную картину развития;

3) теория хаоса — этот метод позволяет определить, насколько хаотичное поведение отдельных звеньев пространственных структур способно повлиять на пределы нормальных вариаций их параметров;

4) теория катастроф — один из основных методов для изучения прерывных изменений, качественных скачков. Позволяет оценить не только стабильность форм, но и их появление, развитие и исчезновение;

5) фрактальный анализ — удобный инструмент для описания и моделирования географических процессов и явлений, порождающих структуры, обладающие в полной мере свойствами самоподобия и представляющие сходные закономерности в различных пространственных и временных масштабах.

### Размытые (нечеткие) множества

В пространственном анализе широкий круг важных в теоретическом, и особенно в практическом, отношении географических задач сводится к определению границ между совокупностями различной природы (объектов, процессов, явлений, свойств и т.д.) и в конечном счете к задачам классификаций. Встречается множество ситуаций, когда признаки классификации не поддаются непосредственному количественному выражению и должны рассматриваться как «размытые». В формальном плане это достигается заданием размытых множеств объектов и соответствующих им функций принадлежности, изменяющих степень обладания рассматриваемым признаком.

Оперирование понятием размытого множества открывает широкий и общий подход к анализу и решению географических задач, в том числе задач принятия решений. Прежде всего, это задачи классификации, в которых основным является понятие размытого отношения сходства. Другого рода задачи возникают при определении рациональных схем размещения производства. Эти оптимизационные по своему характеру задачи в ряде случаев удается свести к задачам так называемой условной классификации, в которых классы выделяются с учетом предварительно сформулированных требований. Такой принцип классификации близок к «ядерному»; его особенность в том, что «ядра» (либо операционно-территориальные единицы — ОТЕ) задаются как некоторые абстракции, как комбинация условий. Характерным при решении этого типа задач является оперирование понятием размытых множеств, описывающих условия производства и размещения. Как размытая классификация может быть сформулирована также задача измерения соответствия факторов производства реально сложившейся ее структуре.

Наибольшие возможности размытый анализ представляет при решении задач поиска компромиссных состояний географических систем. К этому типу можно свести все задачи, так или иначе связанные с согласованием несовпадающих интересов элементов геосистем, что определяет весьма широкий диапазон возможностей размытого анализа: процессы взаимодействия природы и общества, комплексного географического прогнозирования, регулирования развития городов, систем расселения и т.д.

Методы теории размытых множеств представляются в настоящее время одними из многообещающих инструментов пространственного анализа и решения прикладных географических задач. Это обусловлено прежде всего спецификой географических систем; по всем критериям — это некорректно определенные системы с размытыми, как правило, границами и нечетким характером многих отношений, реализуемых на множестве элементов. Именно поэтому возможности строгих формальных методов для решения многих географических задач весьма ограничены и на передний план выступает полуформальный аппарат, в котором содержательные аспекты анализа часто оказываются доминирующими по сравнению с вычислительными приемами и способами. К числу такого рода методов принадлежат методы теории размытых (нечетких) множеств.

Покажем в качестве примера одну из возможных нечетких постановок задачи оптимального развития и размещения отрасли [Р.Г.Хузеев, 1988]. Пусть:

$U$  — множество всех возможных пунктов размещения предприятий отрасли;

$A_1$  — нечеткое множество пунктов, обладающих благоприятными транспортными условиями;

$A_2$  — нечеткое множество пунктов, удобно расположенных по отношению к источникам сырья;

$A_3$  — нечеткое множество пунктов, в которых размещение новых предприятий желательно (например, с целью увеличения занятости населения), и т.д.

Подобным образом можно учесть практически все условия и факторы, влияющие на территориальную организацию рассматриваемой отрасли: наличие трудовых ресурсов и их структуру, возможности привлечения их со стороны, условия энерго- и водоснабжения, климатические условия, экологические требования и т. п.

Каждое из множеств  $A_i$  характеризуется функцией принадлежности  $\mu_{A_i}(U)$  с областью значений  $[0,1]$ . Эти значения указывают на степень принадлежности элемента нечеткому множеству  $A_i$ . Существенно то, что элементы нечетких множеств в общем случае принадлежат или не принадлежат им только частично, т. е. функция  $\mu_{A_i}(U)$  может принимать не только значения 0 или 1, но и все дробные значения из интервала  $[0,1]$ .

Пусть далее известна функция

$$f(Z): U \rightarrow V$$

описывающая результат выбора конкретного элемента (или группы элементов)  $Z$  из  $U$ , где  $V$  — множество всех возможных исходов.

Одной из наиболее простых интерпретаций функции  $f$  является величина затрат, связанных с размещением новых и реконструкцией существующих предприятий в выбранных пунктах.

Пусть нечеткое множество  $B$  описывает требование удовлетворения спроса на продукцию отрасли, а  $C$  — есть нечеткое множество «не очень

больших затрат» на строительство и реконструкцию предприятий отрасли. Множество  $C$  фактически описывает цель задачи.

Тогда, как следует из работы Л. Заде [1976], решение задачи есть нечеткое множество с функцией принадлежности:

$$\mu_A \cap B \cap f^{-1}(C),$$

где  $A \approx A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_n$ ,  $f^{-1}$  — обратная функция  $f$ .

Приведенная нечеткая постановка задачи не является единственно возможной. Это лишь иллюстрация. Цель и условия постановки задачи могут быть описаны и другими нечеткими множествами.

По аналогичному принципу можно сформулировать также нечеткие задачи развития и размещения сельскохозяйственного производства, оптимизации территориальных систем обслуживания и другие задачи социальной, экономической и комплексной географии.

Более широким приложением аппарата нечетких множеств является исследование процессов взаимодействия в географических системах. Процессы эти сложны и порой недостаточно изучены. Существуют также сложности при описании процессов и получении их количественных характеристик. Другой предпосылкой использования нечеткого подхода для анализа взаимодействий (особенно социально-экономических) объектов является то, что они, как и связанные с ними процессы функционирования, часто непредсказуемы в полной мере, так как сильно зависят от решений, принимаемых человеком.

## Нейронные сети

Каждая точка географического пространства имеет собственные, нередко уникальные характеристики. Это зачастую приводит к определенным сложностям в выработке региональной политики регулирования и управления. Она должна быть направлена на сглаживание территориальных, социальных, экономических, экологических и других противоречий.

Одним из наиболее перспективных подходов к построению реальной дифференцированной региональной политики является ситуационный подход, позволяющий выделить на территории региона участки, имеющие на данный момент сходные комплексные характеристики — географические ситуации или геоситуации.

Геоситуационный анализ — это особый сложный и комплексный вид исследования [А.М.Трофимов, Е.И.Игонин, 2001]. Это многомерный анализ, учитывающий историческую ретроспективу, современное состояние взаимосвязи и взаимодействия множества факторов — природных, экономических, социальных, экологических, политических, национальных и т. п. Ни один из существующих методов не в состоянии формализовано описать структуру, логику и приемы этого анализа. Только мощное развитие вычислительной техники позволило вывести из небытия адекватный метод

поддержки геоситуационной концепции - метод нейронных сетей (его активному развитию в свое время мешало отсутствие быстродействующей вычислительной техники, позволяющей вести работы с большими базами данных).

Основы теории нейронных сетей были заложены в 60-е годы XX в. Свое название получили из-за сходства принципов функционирования с устройством простейших форм восприятия у человека.

При начальной разработке нейронных сетей были использованы труды крупнейшего психолога XIX в. Н. Н. Ланге, который подробно описал процесс восприятия человеком явлений внешнего мира.

Нейронные сети были созданы таким образом, что имитировали человеческий процесс восприятия и удовлетворяли двум основным условиям:

1) наличие строго упорядоченной системы признаков относительно порядка их восприятия;

2) возможности специфического усиления признаков любой ступени восприятия.

Основным препятствием к активному использованию нейросетей, как уже отмечалось, было недостаточное развитие электронно-вычислительных средств и несовершенные алгоритмы «обучения». Ситуация изменилась лишь в 80-е годы в связи с появлением принципов «обучения» нейросетей.

В общем случае нейронная сеть  $G(X, F)$  состоит из множества узлов (нейронов)  $(X)$ , которые являются носителями сети, а также множества связей между ними  $(F)$ .

Узел (нейрон)  $X_i$ , который является элементом множества нейронных узлов, имеет выход и множество входов, определяющих величину потенциала  $U$  на выходе узла (нейрона)  $X_i$ . Связи соединяют выход одного узла (нейрона) со входом других нейронов и характеризуются весовыми коэффициентами  $W_{ij}$ , имеющими смысл проводимости от  $i$ -го узла  $j$ -му.

Если  $W_{ij} > 0$ , то связь называется возбуждающей, а если  $W_{ij} < 0$  — тормозной [А.И.Казаков, 1979].

Главным отличием метода нейронных сетей от других статистических методов классификации является большое количество степеней свободы, позволяющее получать более точные расчеты, а также способность к самообучению. Эта способность выражается в том, что все нейронные сети имеют свойство корректировать собственную структуру и процессы вычисления с учетом поступающих новых данных.

Достоинством метода является его способность к построению удовлетворительных моделей по сильно искаженным и неполным данным.

В основе метода нейросетей лежит самоорганизующийся алгоритм, выполняющий проекцию в субпространство, покрытое разрозненной решеткой формальных нейронов. Алгоритм устанавливает соответствие между исходными данными и состоянием нейронной сети. Эта процедура обеспечивает нелинейное выравнивание и двумерную версию вводного пространства [Н. Ritter, 1988].

Самоорганизующийся алгоритм состоит из двух шагов, многочисленные итерации которых приводят к упорядочению входных данных:

1-й шаг. Для входного вектора ( $Y$ ) отыскивается нейрон, чья активность максимальна.

2-й шаг. Для каждого нейрона вводится понятие окрестности, предложенное Кохоненом [Т. Kohonen, 1984]. Размер окрестности (количество входящих в нее нейронов) изменяется, уменьшаясь в процессе обучения. Данное свойство является наиболее существенным для данного алгоритма, отличая его от традиционных методов классификации.

В окрестности нейрона, чья активность максимальна, весовые векторы ( $W_i$ ) двигаются в направлении вектора ввода ( $Y$ ) согласно уравнению

$$W_i(t+1) = W_i(t) + a(t)(x(t) - W_i(t)), \text{ если } i \in (V_i, l(t)),$$

либо

$$W_i(t+1) = W_i(t), \text{ если } i \notin (V_i, l(t))$$

В приведенных уравнениях функция  $(V_i, l(t))$  контролирует размер окрестности нейронов, а  $a(t)$  устанавливает амплитуду весовых изменений. Обе эти функции уменьшаются во времени ( $t$ ).

Многочисленные итерации этих двух шагов создают организованную сеть, где веса упорядочены и входное пространство представлено количественно.

Когда алгоритм сойдется, каждый объект классификации (ОТЕ), представленный вектором признаков  $Y(k)$ , адресуется к нейросети и нейрон, чья активность максимальна, сопоставляется данному объекту (ОТЕ).

В качестве обучающего набора метод нейронных сетей использует те признаки объекта, по которым необходимо провести классификацию. Число признаков (переменных) теоретически может быть велико, но при решении практических задач обычно не превышает 15 — 20 переменных.

Процесс классификации объектов на основе метода нейронных сетей включает ряд этапов.

Первый этап — этап предпроцесса — состоит в нормировании переменных «обучающего» набора. При операции нормирования используются стандартные показатели и их статистические характеристики. Данная процедура означает, что для каждой нормированной переменной показатель средней арифметической равен нулю, показатель вариации близок к единице. Этап предпроцесса важен для выравнивания значимости (нагрузки) переменных.

На втором этапе осуществляется нормирование базы данных, состоящей из признаков изучаемых объектов. В результате получают нормированную матрицу показателей.

Третий этап заключается в непосредственном применении метода нейронных сетей к нормированной матрице. Результатом этапа служит разбиение объектов на классы, количество которых обычно задается заранее.

Последним этапом исследования является содержательная интерпретация полученных результатов. Это наиболее ответственный этап [F.Vlayo, 1997].

В силу особенностей метода и его разрешающей способности нейронные сети широко стали использоваться в географических исследованиях по функциональной классификации городов [M.Buscema, 1996], для выделения экономических ситуаций глобального масштаба [F.Vlayo, 1997], для средств геоситуационного моделирования [А.М.Трофимов, О.В.Пьянова, 1998], для территориального выделения социально-экономических ситуаций [О.В.Пьянова, 1998] и для решения многих других многомерных задач большой сложности.

### Теория хаоса в географии

В рамках пространственного анализа важное место занимает теория хаоса. Однако она находится еще в стадии разработки, появляются лишь отдельные аспекты теории; методическое обоснование также разработано недостаточно.

В настоящее время география располагает лишь концептуальными наработками в этой области, ибо теория хаоса, разрабатываемая в строгих, формализованных науках, не отличается идентичностью по отношению к многогранной, многомерной, многомасштабной комплексной науке — географии. Однако именно с этой теорией, как предполагают исследователи, связаны узловые методологические проблемы, такие, как однородность — неоднородность, устойчивость — неустойчивость, иерархичность — не-иерархичность, саморазвитие — ориентированное развитие и т.п.

Эти фундаментальные проблемы имеют самое прямое отношение к географии. В этой связи географы стали проявлять интерес к понятию хаоса в географии, особенно в связи со стремлением описать и понять организацию географического пространства на многофакторном уровне.

Применение понятия хаоса наиболее подробно рассмотрено в типологии пространственных конфигураций. Однако необходимо иметь в виду ряд ограничений эвристической ценности понятия хаоса: во многих динамических моделях не проявляются хаотические ситуации.

Как нашел один из наиболее известных специалистов Филлипс [J.D.Phillips, 1992], для многих физико-географических процессов характерны сложность, нелинейность и нестабильность. Однако в процессах, происходящих на земной поверхности, признаки хаоса обнаруживаются только в исключительных случаях. Но вот в климатологии, геофизике они не редкость; особенно же характерны для социально-экономических явлений.

Математическая теория хаоса может быть эффективно использована в сфере исследования динамики связей геофизических объектов. Важной проблемой является выяснение того, насколько хаотичное поведение отдельных звеньев территориальных структур способно повлиять на пределы нормальных вариаций их параметров. Заслуживают внимание также поиски

средств избежания хаотических отклонений в функционировании больших систем, что может быть обусловлено ошибками и задержками в ходе передачи информации.

Хаос — скопление элементов без динамических связей; возможны лишь контакты соседства.

Хаос — неотъемлемое фундаментальное свойство материи. В социально-экономических системах динамическое развитие всегда включает «островки хаоса». Хаос и упорядоченность — два крайних полярных состояния организации среды. Частным случаем проявления хаотического режима является кризис или кризисное состояние, приводящее порой к катастрофе. Исходной базой их развития (а также и хаоса в целом) является состояние риска. В настоящее время существуют два основных подхода к изучению сущности риска. В первом случае риск понимается как вероятность опасных природных воздействий на человека и (или) техносферу. Это так называемый природный риск. Во втором случае риск рассматривается как вероятность необратимых неблагоприятных последствий антропогенной деятельности для окружающей среды.

Существующий подход обеспечения абсолютной безопасности человека, связанный с введением пределов допустимых концентраций вредных веществ на основе представлений о пороговом характере их действий, имеет слабые стороны (например, несовершенство представлений о пороговом характере взаимодействия и, следовательно, невозможность достижения полной безопасности и др.). По этой причине концепция абсолютного риска заменяется концепцией приемлемого риска, т. е. такого его уровня, который мог бы быть оправдан с позиции экономических, социальных, экологических и иных факторов. Порог хаотичности в этом случае повышается.

Согласно современным представлениям, развитие окружающего мира исходит из положения, что в «глубинах природы господствует хаос, имеющий поистине фундаментальный характер, в то время как порядок царит лишь поверх хаоса — как его ограничение» [Г. Дж. Сариев, 1986, с. 155]. Поэтому общую ориентацию развития окружающей среды определяет ограничение, запрет.

Всеобщим явлением в географическом пространстве-времени, подчеркивающим целостность геообразований, является наличие связей, взаимодействий. Через них и проявляется принцип запретов. Дело в том, что взаимодействие есть ограничение на возможное разнообразие поведения геообъектов. Однако, запрещая одни типы поведения, взаимодействие может оставлять возможным целый спектр линий поведения. Этим объясняется многообразие форм реализации. Окружающая среда — это пространство, в котором действует множество запретов, чтобы в нем произошло некоторое определенное событие, необходимо (и достаточно), чтобы оно не нарушило ни один из существующих запретов.

Таким образом, явления хаоса и запретов сложно взаимосвязаны. Прямой связи здесь нет; нет и соответствия между рядом запретов и формой

(формами) проявления хаоса. Оно может быть очень сложным: протекание процесса и форма его реализации в пространстве не однозначны. Поэтому существенной проблемой в теории хаоса является моделирование этой сложной взаимосвязи в рамках пространственного анализа.

Если рассматривать проблему хаоса в глобальном масштабе, то необходимо заметить, что сама история человечества отмечена веками хаоса. По мнению О.Доллфуса [O.Dollfus, 1990], хаос в процессе своего развития заполняет пространство, ограниченное рубежами государства (в системе принципов запретов — это внешний запрет). Возникает так называемый ограниченный хаос. Эти ситуации хаоса, хоть и частично, но тем не менее связаны с функционированием мировой системы. Ограниченный хаос 80-х годов XX в. имел место в государствах ограниченных размеров. Возможно, что в первых десятилетиях XXI в. в условиях хаоса будут проживать до 1—3 млрд. человек, если эти ситуации распространятся на наиболее населенные страны мира.

### Теория катастроф

Теория катастроф возникла на базе исследований Р.Тома в области топологии и дифференциального анализа, а позднее была дополнена работами Х. Уинти по теории особенностей гладких отображений, а также А. Пуанкаре и А. Андронова по теории бифуркации динамических систем.

Появление ее было оценено как «революция» в математике, так как теория давала общий метод для изучения прерывных изменений, качественных скачков. В ее поле зрения попали такие катастрофы, когда непрерывное изменение в причинах порождает резкое (прерывное) изменение в результатах.

Теория катастроф использует математический аппарат, однако не является частью собственно математики, так как претендует на осмысление сущностных характеристик реальности. В программу теории входят разработки математических моделей, позволяющих оценить не только стабильность форм, но и их появление, развитие и исчезновение. Морфологические процессы исследуют, не прибегая к специальным свойствам субстрата форм или к природе действующих сил. Эта теория развивается как феноменология: она интерпретирует данные морфологии такими, какими они являются, не сводя их к элементарным процессам. Теоретическое основание универсальности теории катастроф — принцип независимости формы по отношению к субстрату. Она ориентирована на понимание реальности: раскрывает динамические ситуации, управляющие эволюцией естественных явлений, человека и общества.

Математическое обоснование теории доступно изложено в работе В. И. Арнольда [1990]. Другое дело, что для пространственного анализа важнейшим является ее модификация для задач территориального аспекта, что можно связать с общим понятием территориальных катастроф.

Важнейшими здесь выступают особенности самого процесса, где необходимым является комплексный подход и моделирование.

Основываясь на представлении о территориальной катастрофе как очень сложном географическом процессе, предполагается подход к концептуальному обоснованию математического и связанного с ним компьютерного моделирования географических катастроф. В основе этого подхода лежит представление о географической (территориальной) катастрофе как динамическом процессе, порожденным взаимодействием динамически изменяющихся распределений вещества, энергии и информации по территории, которые в процессе своего взаимодействия приходят в такое состояние, после которого распределение резко изменяется, порождая ряд новых распределений последствий катастроф.

Устойчивая структура географических систем характеризуется распределенной неоднородностью и в основе своей содержит локальные неоднородности — геоситуации. Именно им принадлежит исходная роль преобразования структуры. Они несут в себе разрушительный заряд, который может быть весьма значительным.

Рассматривая функции (то, что задается системе свыше, т. е. то, что она должна выполнять по заданию свыше, более высокой по уровню иерархии системой) и интересы (то, что система может выполнить исходя из своих имманентных возможностей) геосистем в самом общем смысле, можно отметить, что не всегда они совпадают. Чем меньше совпадают между собой функции и интересы, тем выше напряженность складывающейся структуры. Если эта напряженность ниже некоторого критического уровня, существующие структуры функционируют более или менее успешно и являются некоторым компромиссом между носителями противоречивых интересов. Однако когда уровень напряженности достигает критических значений и прежний компромисс становится неприемлемым, происходит смена одних структур другими. Если эта смена приобретает характер быстрого и неуправляемого разрушения прежних структур, при котором интересы природных и социально-экономических образований могут пострадать сколько угодно сильно, то этот процесс можно квалифицировать как катастрофу.

Говоря о критическом пороге напряженности структур, за которым следует катастрофа, необходимо отметить следующее. Поскольку именно определенный уровень напряженности структуры выступает в качестве пускового механизма катастрофы, логично считать, что каждая структура, даже самая благополучная, несет в себе «зародыш» катастрофы. Дело в том, что любая структура, являясь результатом компромисса между несовпадающими интересами, обладает определенным, но всегда ненулевым уровнем напряженности, способным по тем или иным причинам достигать критических значений. Рост напряженности может происходить с различной скоростью, но всегда в течение некоторого периода, что дает основание говорить о существовании кризисных ситуаций, которые можно

рассматривать в качестве «размытых» временных границ между катастрофами и «не катастрофами».

Катастрофы отличаются от равномерного развития быстротой реализации, ограниченностью распространения в пространстве, непредсказуемостью траектории процесса и положения области будущего равновесия и др. Ю. Г. Пузаченко [1992] считает, что катастрофы или неравновесные нестационарные процессы являются необходимыми для функционирования любой сложной системы. Поэтому можно говорить о смене во времени и пространстве двух типов процессов — равновесных и неравновесных. Социальные системы, которые сами пытаются осознать собственную деятельность, могут быть уверены в неизбежности собственной катастрофы, но не могут с необходимостью для надежного управления однозначно предсказать их исходы.

Комплексное решение всех поставленных проблем означало бы формирование географической теории катастроф, цели которой состоят в разработке теоретических основ, принципов и методов предотвращения территориально оформленных (т. е. имеющих пространственные границы) географических катастроф, а также способов оценки и смягчения их последствий в случае, когда они все же произошли.

#### Фрактальный анализ

Исследователями было обращено внимание на тот факт, что очень часто выводы, полученные на основании одного масштаба, оказываются действенными при другом. Попытки решения проблемы оценки сохранности инвариационных характеристик при переходе от одного масштаба к другим предпринял П. Хаггет [1968].

Для оценивания этих представлений существенное значение имеет феномен фрактальности, выражающий результат постоянного (регулярного) процесса, порождающего нерегулярные формы [В. В. Mandelbrot, 1983]. Фрактальность выражается отсутствием масштабной независимости результатов измерения.

Большинство географических процессов характеризуется устойчиво-неустойчивым динамическим состоянием. В представлении о разномасштабности регулярно-нерегулярных форм проявления при их фиксации в процессе перехода из одного масштаба в другой хаотические проявления приобретают некоторый особый содержательно-информационный смысл; он не может быть проанализирован и изучен с помощью только традиционных методов анализа. При картографировании эти хаотические формы приобретают особый топологический смысл, описываемый с помощью фрактальной геометрии.

Термин «фрактал» образован от лат. fractus, а соответствующий глагол означает прерывать, создавать нерегулярные дробления.

«Фрактальное множество» — это математическое понятие, а «естественный фрактал» — это природный феномен, который может быть представлен фронтальным множеством.

Методический аспект проблемы изложен в работе Л. Н. Васильевым [1992].

Фрактальный анализ уже нашел широкое применение в метеорологии и климатологии; были показаны проявления самоподобия в картографии при изображении рельефа, в структурах информационных систем. Им пользуются градостроители для анализа различных сторон городских структур и т. п., все большее значение он начал завоевывать в социально-экономическом аспекте пространственного анализа, т.е. его адекватными задачами являются собственно пространственный анализ (в его самом широком понимании), моделирование пространственно - временных структур, уточнение границ (при переходах к разным масштабам), поиск устойчивых и неустойчивых областей и зон, генерализация.

Многие структуры обладают фундаментальным свойством геометрической регулярности, известной как инвариантность по отношению к масштабу, или самоподобие. Если рассматривать эти объекты в различном масштабе, то постоянно обнаруживаются одни и те же фундаментальные элементы, которые определяют дробную или фрактальную размерность структуры.

Фрактальная геометрия описывает географические формы точнее и лучше, чем евклидова геометрия, позволяя учитывать фактор случайности, хаотичности, непредсказуемости при моделировании. Фрактальность представляет собой удобный инструмент для описания и моделирования географических процессов и явлений, порождающих структуры, обладающие в полной мере свойствами самоподобия и представляющие сходные закономерности в различных пространственных и временных масштабах.

В основе фрактального анализа лежат два главных критерия его применимости к изучаемым объектам: самоподобие или инвариантность по отношению к масштабу и наличие фрактальной размерности.

Центральным показателем аппарата фрактального анализа является фрактальная размерность объекта исследования. Существует много способов определения фрактальной размерности, применение которых обусловливается спецификой поставленной задачи. Все они основываются на уже имеющихся методах, принадлежащих другим наукам, но определяющим те или иные черты пространственно-временной структуры объекта исследования. В частности, для географических работ социально-экономической ориентации приемлем метод определения фрактальной размерности с помощью вариограммного анализа [Е. М. Пудовик, 1997].

Таким образом, фрактальный анализ может быть использован как метод выделения важных структурных особенностей исследуемых систем. Фрактальность дает единицу измерения для характеристики всех типов иерархически организованных систем и позволяет перейти к динамике, когда

модели роста фракталов используются для имитации развития структурных объектов.