

УДК 378.1.02(075): 523.235, 528.92

ББК 32.973.202

Г 27

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ СОСТАВЛЕНО ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАБОТ,  
ВЫПОЛНЕННЫХ ПО МЕЖВУЗОВСКОЙ ПРОГРАММЕ  
«НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАЗОВАНИЯ»  
МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ

Бугаевский Л.М., Цветков В.Я.

Геоинформационные системы. Учебное пособие для вузов

М. 2000. — 222с., ил. 28

Изложены теоретические и практические основы появления, создания и использования геоинформационных систем (ГИС).

Показано, что ГИС является современной интегрированной информационной системой, исследующей свойства большинства информационных систем, работающих с пространственно-локализованной информацией. Разнообразные технологии этих систем, ГИС обеспечивает дополнительные возможности по обработке, анализу и использованию пространственно-временных данных.

Рассматриваются статистические, маркетинговые, экологические информационные системы как предшественники ГИС. Даются основы интеграции информационных систем и рассматривается ГИС как интегрированная система.

Излагаются теоретические положения ГИС и ГИС-технологий.

Для пользователей и разработчиков подробно раскрывается главная особенность ГИС, позволяющая осуществлять глобальную интеграцию данных — математическая основа.

Понятие математической основы необходимо для разработчиков программного обеспечения ГИС, а для пользователей необходимо знать специфику картографических проекций и особенности выбора геодезических систем координат при решении практических задач.

Входной информацией в ГИС являются растровые данные. Картографическая информация является основной унифицированной информацией, обрабатываемой в ГИС. Поэтому пользователям необходимо знать основные методы использования и правильного создания картографической информации в ГИС для работы с электронными картами или создания на основе ГИС технологий обычных карт. Эти вопросы также отражены в предлагаемом пособии. Материал подготовлен следующим образом: введение написано совместно, главы 1 — 7 написаны В.Я. Цветковым, главы 8 — 9 написаны Л.М. Бугаевским.

Для студентов вузов, аспирантов, обучающихся по специальностям специальностям «Прикладная геодезия», «Исследование природных ресурсов аэрокосмическими средствами», «Аэрофотогеодезия».

Рецензенты: проф. д-р В.П. Кулагин, Заместитель директора ГосНИИ информационных технологий и телекоммуникаций.

Проф. д-р С.И. Матвеев, Заведующий кафедрой геодезии и геоинформатики Московской академии железнодорожного транспорта.

К.т.н. Гречинев А.В. Главный инженер ЗАО "Совинформспутник"

0403000000-128

Г

5P4(03)-00

ISBN 5-7259-0057-3

© Л.М. Бугаевский, В.Я. Цветков В.Я. 2000

## ВВЕДЕНИЕ

Геоинформационные системы (ГИС) являются классом информационных систем, имеющим свои особенности. Они построены с учетом закономерностей геоинформатики и методов, применяемых в этой науке.

ГИС как интегрированные информационные системы предназначены для решения различных задач науки и производства на основе использования пространственно - локализованных данных об объектах и явлениях природы и общества. Неразрывно с ГИС связаны геоинформационные технологии.

Геоинформационные технологии можно определить как совокупность программно-технологических средств получения новых видов информации об окружающем мире. Геоинформационные технологии предназначены для повышения эффективности: процессов управления, хранения и представления информации, обработки и поддержки принятия решений [43].

В книге дано краткое изложение особенностей ГИС, раскрывается их сущность и методы использования.

Полное, на высокопрофессиональном научном уровне изложение всех основ создания и использования ГИС дано:

- по геодезической и математической основе в работе [5];
- по вопросам создания базовых карт и цифровых моделей, решениям на их основе разнообразных задач и выполнения исследования по картам в работах [2 – 5, 7-11, 13]
- по вопросам места ГИС среди технических систем, системного анализа, организации данных в ГИС, применения баз данных в ГИС в работах [20, 22-23, 25, 29-30, 40, 44,45];
- по вопросам многоаспектного применения ГИС, по инструментальным системам, элементам топологии данных в ГИС, качества информации, цифрового моделирования в работах [25, 29-35, 40, 46];

по вопросам интеграции данных ГИС и систем обработки данных дистанционного зондирования в работах [20, 22, 23, 30];

по вопросам стандартизации и тестирования в работах [27, 28, 39, 47]

по вопросам защиты информации в ГИС в работах [30, 36, 42, 48].

ГИС имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать при изучении этих систем.

Одна из особенностей ГИС и геоинформационных технологий состоит в том, что они являются элементами информатизации общества. Это заключается во внедрении ГИС и геоинформационных технологий в науку, производство, образование и применение в практической деятельности получаемой информации об окружающей реальности.

Геоинформационные технологии являются новыми информационными технологиями, направленными на достижение различных целей, включая информатизацию производственно – управленческих процессов.

Другой особенностью ГИС является то, что как информационные системы они являются результатом эволюции этих систем и поэтому включают в себя основы построения и функционирования информационных систем.

ГИС как система включает множество взаимосвязанных элементов, каждый из которых связан прямо или косвенно с каждым другим элементом, а для любых подмножества этого множества не могут быть независимыми не нарушая целостность, единство системы.

Автоматизированной информационной системой (АИС) называют организационно-техническую систему, использующую автоматизированные информационные технологии в целях обучения, информационно-аналитического обеспечения научно-инженерных работ и процессов управления [21]. В соответствии с данным определением ГИС попадает в класс автоматизированных информационных систем.

Еще одной особенностью ГИС является то, что она является интегрированной информационной системой.

Интегрированные системы построены на принципах интеграции технологий различных систем. Они зачастую применяются настолько в разных областях, что их название часто не определяет все их возможности и функции. По этой причине не следует связывать ГИС с решением задач только геодезии или географии. "Гео" в названии геоинформационных систем и технологий определяет объект исследований, а не предметную область использования этих систем.

Необходимо рассмотреть место ГИС среди других автоматизированных систем, что требует дать краткую классификацию этих систем. Выбирая различные аспекты рассмотрения автоматизированных информационных систем, можно дать различные их различные классификации.

По принадлежности к конкретной предметной области можно подразделить информационные системы на три класса: технические, экономические, информационно-аналитические.

К техническим относят автоматизированные системы научных исследований (АСНИ), системы автоматизированного проектирования (САПР), гибкие производственные системы (ГПС), робототехнические комплексы (РТК) и др.

Информационно-аналитические автоматизированные системы включают автоматизированные справочно-информационные системы (АСИС), базы данных (БД), экспертные системы (ЭС), статистические информационные системы (СИС) и т.п.

Примером экономических систем могут служить автоматизированные системы управления (АСУ), бухгалтерские информационные системы (БУИС), банковские информационные системы (БИС), биржевые информационные системы (БИС), маркетинговые информационные системы (МИС) и др.

Особенностью ГИС как интегрированной системы является то, что она интегрирует технологии трех перечисленных выше классов систем: технических, информационно-аналитических и экономических. Следовательно, ГИС могут быть использованы как любая из этих систем.



По аспекту применения АИС их подразделяют для разных уровней управления на:

- АИС операционного управления (оперативное управление);
- АИС для менеджеров среднего звена (тактическое управление);
- АИС руководящего персонала (стратегическое управление).

Как система управления ГИС применима на всех трех уровнях.

В первой части книги описываются родственные с ГИС информационные системы, технологии которых используются в ГИС. В ней даются основы построения моделей данных и технологии организации данных в ГИС. Рассмотрены отдельные прикладные вопросы применения ГИС.

Основными внутренними данными ГИС являются базовые цифровые карты и цифровые модели, теоретической основой которых являются положения и методы создания и использования их геодезической и математической основы, все элементы которых построены в единой геодезической системе координат, проекции, размерности и системы мер.

При создании и использовании карт, являющихся базой построения данных ГИС, рассматривают и используют геодезическую систему координат и плоские прямоугольные координаты картографических проекций исходных материалов, геодезические координаты и проекции создаваемых базовых карт, на основе которых осуществляется построение цифровых моделей в ГИС и практически реализуются все задачи ГИС. Рассматривается и используется также плоская локальная система координат, связанная с системой координат проекций создаваемых карт и моделей ГИС, для построения единой системы условных знаков и пространственной локализации элементов геоинформационных систем, а также для ослабления искажений в ГИС из-за различных факторов (деформация бумаги, несовмещение красок, нечеткой настройки элементов компьютерной техники и т.п.).

Эффективное использование ГИС для решения разнообразных пространственно - локализованных задач требует от пользователя достаточного объема знаний о геодезических системах координат, картографических про-

ских и других элементов математической основы карт ГИС, теоретических положениях о составлении, подготовке к изданию и изданию базовых карт, знаниях о методах получения по карте различной информации, математических и других методах использования этой информации для решения пространственно-локализованных задач ГИС.

Все основные положения создания и использования карт ГИС даны в последней части учебника.

## 1. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ С ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЛОКАЛИЗАЦИЕЙ ДАННЫХ

Среди информационных систем можно выделить класс, который связан с обработкой данных, имеющих пространственную локализацию.

**Пространственной локализацией данных** называют процесс соотношения разных видов информации к некой пространственно определенной системе. Такой системой может быть декартова система координат, географическая система координат, классифицированная совокупность территориальных объектов и т.п.

Локализация может осуществляться применением специальных классификаторов или на основе привязки к выбранной системе координат.

**Атрибутивной** называется локализация, осуществляемая на основе классификации свойств объекта или его местоположения в заданной системе классификаторов. Примером такого подхода могут служить классификаторы, применяемые в официальной статистике.

**Позиционной** называется локализация, осуществляемая на основе привязки точек объекта к системе координат.

**Позиционированием** называют процесс привязки точек объекта к системе координат. Примером позиционирования может служить процесс привязки объектов к координатной сетке при построении чертежей в САПР.

Пространственная локализация применяется для анализа различных типов объектов: локализованных (точечных), линейных, сетевых или площадных объектов.

## 1.1. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Среди информационных систем работающих с пространственно - локализованными данными наиболее известными являются статистические информационные системы [26].

Статистические информационные системы (СтИС) являются частью и основой государственной статистики - одного из важнейших звеньев в системе регулирования и управления экономикой страны.

Основными задачами СтИС являются:

сбор, обработка и представление статистической информации различным пользователям о деятельности всех отраслей экономики и подведомственных им предприятий, расположенных на различных территориях;

обработка статистической информации на основе научно обоснованной статистической методологии, соответствующей потребностям общества на современном этапе, а также международным стандартам;

гарантирование полноты и научной обоснованности всей официальной статистической информации;

контроль и комплексное согласование статистических данных на основе отраслевых, территориальных, локальных и специальных наблюдений;

предоставление статистической информации путем представления различных форм и видов информационных документов.

Все данные, применяемые в ходе обработки в СтИС, имеют три группы характеристик: "время", "место", "тема".

Результатом обработки информации в СтИС является информация, предназначенная для поддержки принятия решений, т.е. для получения управляющей информации. Управляющая информация предназначена для воздействия на объект управления.

Под объектом управления в системе управления понимается элемент системы, который для нормального функционирования нуждается в контро-

ле и регулировании. Объектами управления в системе народного хозяйства страны выступают отрасли экономики, их предприятия и организации.

Для управления объектами создается управляющая система, которая обеспечивает их своевременное приведение к нормальному функционированию. Органы управления воздействуют на объекты управления посредством прямой связи (задания) и обратной связи (отчетность) через органы государственной статистики, т.е. через СтИС.

Таким образом, СтИС как информационные системы, работающие с пространственно локализованными данными, являются звеном обратной связи в системе государственного управления.

Пространственная локализация данных обеспечивает привязку различных экономических показателей к объектам управления, имеющим территориальный характер.

Для СтИС как систем, работающих с пространственно локализованными данными, характерно понятие уровня и масштаба действия.

Уровень определяется местом СтИС в системе управления (горизонтальные связи), масштаб действия определяется сферой действия, степенью обобщения информации и соотношением входной и выходной информации.

Например, СтИС регионального уровня собирают и обрабатывают информацию, касающуюся данного региона. СтИС отдельного предприятия обрабатывают информацию, касающуюся деятельности данного предприятия, которая может включать региональные и межрегиональные данные. Отраслевые СтИС обрабатывают и обобщают информацию данного министерства или отрасли по тем регионам, в которых расположены предприятия данной отрасли. Наконец СтИС Госкомстата обобщают информацию по всей стране. Это определяет СтИС как разномасштабную по действию систему.

Данные в СтИС организованы в виде атрибутивных таблиц, содержащие описательную информацию по каждому из пространственных объектов. Одним из способов представления статистических данных таблиц является деловая графика.

## 1.2. РЕГИОНАЛЬНАЯ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Региональной эколого-экономической системой (РЭЭС) называют информационную систему, организованную на основе устойчивых управленческих, технических, экономических, биологических и других типов связей, между предприятиями, относящихся к данному региону.

Целью функционирования РЭЭС является гармоничное развитие региона с сохранением его экологического баланса. Достижение этой цели осуществляется путем сбора, обработки, хранения и анализа информации об эколого-экономической ситуации в данном регионе. Таким образом, масштаб действия данной системы ограничен регионом.

Данные, собираемые и хранимые в системе, включают три обобщающих группы характеристик: "место", "время", "тема".

В отличие от рассмотренной выше статистической информационной системы в РЭЭС осуществляет не только сбор и анализ данных, но и выработка управляющих решений для гармонизации эколого-экономической ситуации.

Другим отличием от СтИС, в которых по мере повышения уровня анализа все большее место отводилось задачам обобщения, в РЭЭС является наличие задач анализа и дифференциации.

В качестве одного из методов дифференциации используется сегментация, как отдельных задач, так и региона.

Сегментация региона означает деление его на более мелкие части на основе выбираемых признаков. Региональная сегментация, включающая экономическое, политическое и другое деление на основе поведенческих и

психологических особенностей покупателей, а также сегментация по разности конечных потребителей образуют сложную систему региона.

В отличие от СИС эти системы не только являются звеном обратной связи в системе управления, но и включают в себя звено управления.

Кроме того, в них основными являются не только задачи обобщения данных, но и противоположные задачи дифференциации.

В отличие от СИС, имеющих разные уровни управления и масштабы сбора данных, в РЭС фиксируется уровень управления и масштаб собираемых данных.

В качестве третьего вида системы, работающей с пространственно локализованными данными, рассмотрим маркетинговую информационную систему (МИС). В современном маркетинге маркетинговая информация собирается, анализируется и распределяется в рамках маркетинговой информационной системы.

### 1.3. МАРКЕТИНГОВАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА

Маркетинговой информационной системой (МИС) называют систему, содержащую комплекс процедур и методов, предназначенный для сбора, обработки и анализа информации, необходимой для поддержки или принятия маркетинговых решений. Современные маркетинговые системы должны хранить большой объем информации. Для этой цели применяют встроенные или внешние базы данных.

База данных маркетинговой информационной системы должна содержать информацию:

- о размещении объектов;
- о транспортных потоках и сетях перемещения товара или продукта;
- о финансовом положении клиента или посредника;
- о конкурентах их сфере деятельности;
- о структуре рынка и размещении потенциальных потребителей;

о динамике спроса и предложения;  
о состоянии курсов валют и др.

Можно свести эти параметры к трем группам характеристик: "время", "место", ценность ("тема").

Кроме базы данных для обработки и анализа данных маркетинговая информационная система должна содержать банк моделей и банк методов статистических исследований.

**Банк методов статистических исследований** - совокупность современных методик статистической обработки информации, позволяющих наиболее полно вскрыть взаимосвязности в рамках подборки данных и установить степень их статистической надежности.

**Банк моделей** - набор экономико-математических моделей, способствующих принятию более оптимальных маркетинговых решений.

МИС трансформирует данные, полученные из внутренних и внешних источников, в информацию, необходимую для руководителей и специалистов маркетинговых служб, принимающих соответствующие решения. Данные из внешних источников получаются на основе проведения маркетинговой разведки и маркетинговых исследований.

**Маркетинговая разведка** - сбор текущей информации на основе использования разнообразных процедур и источников информации об изменении внешней среды маркетинга. Она необходима как для разработки, так и корректировки маркетинговых планов.

**Маркетинговые исследования** в отличие от маркетинговой разведки предполагают тематический сбор и анализ данных по конкретным маркетинговым ситуациям, с которыми столкнулось предприятие.

В МИС входит подсистема поддержки маркетинговых решений, в которой с помощью определенных методов (например, моделей корреляционного анализа, расчета точки безубыточности) на основе созданной базы маркетинговых данных осуществляется доступ к информации, необходимой ру-



ководителям для принятия решений, а также ее анализ в заданном направлении.

В подсистему поддержки маркетинговых решений может входить набор процедур и логических алгоритмов, основанных на опыте экспертов и называемых экспертными системами.

Современные экспертные системы способны давать советы в таких различных областях знаний, как диагностика заболеваний, геологоразведка, уплата подоходного налога, проблемы маркетинга. В каждой из этих областей приходится иметь дело с информацией, которая не отличается строгостью, чрезвычайно сложна, что затрудняет использование обычного программного обеспечения; однако экспертные системы справляются с ней зачастую лучше чисто формализованных систем.

Знания, используемые в каждой такой системе, были получены от специалистов данной области в виде правил, обычно многих из сотен, которые в совокупности создают "базу знаний" компьютера. Экспертная система состоит из базы знаний и механизма "вывода" - программы, которая способна находить логические следствия из всей совокупности имеющихся в системе правил. Действуя в соответствии с заложенными в базе знаний правилами, компьютер запрашивает у пользователя необходимую информацию, а затем сообщает свои выводы и рекомендации.

Таким образом, этот тип информационной системы, работающей с пространственно локализованными данными, также включает три группы данных: "место", "время", "тема".

МИС включает не только базы данных, для хранения информации, но и базы данных обрабатывающих программ, банк моделей. Особенностью этих систем является то, что они могут рассматриваться как системы поддержки принятия решений. Это обусловлено их спецификой, поскольку одной из типовых задач маркетинговых исследований является подготовка на-

бора альтернатив для принятия решений в зависимости от возможной ситуации.

Кроме того, особенностью этих систем является решение прогнозных задач. В свою очередь, решение прогнозных задач требует проведения исследований не только объекта управления, но и среды, в которой он находится.

Необходимость прогнозирования требует построения моделей объекта исследования и внешней среды.

#### 1.4. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Еще одним типом автоматизированных информационных систем, работающих с пространственно локализованными данными, являются системы автоматизированного проектирования (САПР).

Современные САПР используют базы данных типовых элементов и типовых процедур преобразования. Основным назначением САПР является проектирование, т.е. построение оптимального проекта из исходных элементов и на основе технического задания на проектирование и заданных критериев оптимальности.

В САПР осуществляется работа с пространственными данными, которые должны быть позиционированы, т.е. определены в известной системе координат. С позиционированием данных в САПР связано понятие сетки.

Сетка предоставляет механизм регистрации положения графики по однородным интервалам чертежа или слоя. В основании сетки лежат градации, представляющие собой заданную долю выбранных единиц измерения страницы (дюймы, сантиметры, и т.д.).

Сетка может быть активна или пассивна. Если сетка активна, то при создании, перемещении или растяжении графики каждая ее координата привязывается (замыкается) к ближайшей точке сетки.

Объектно-ориентированное проектирование графических объектов осуществляют с использованием классов, подклассов, наследования свойств объектов, порождения объектов и др.

Важным свойством пакетов САПР является возможность построения видов. Каждый вид в САПР предоставляет уникальную проекцию, облегчающую анализ отображаемых данных.

Типизация данных в САПР привела к концепции послойного представления графической информации. Слои можно делать видимыми или невидимыми, редактируемыми или не редактируемыми, активными или неактивными. Слои позволяют создавать графические композиции и осуществлять групповую обработку информации, что существенно повышает производительность обработки данных.

Слои позволяют создавать проекты и чертежи с помощью компоновки выбранных элементов. Компоновки динамичны, потому что имеют связь с набором шаблонов и типовых проектных элементов.

Пакеты САПР, как правило, допускают возможность применения дополнительных программ создаваемых пользователем с помощью языков высокого уровня или с помощью макроязыков типа AutoLISP.

Используя эту возможность, пользователь может настроить под свои задачи практически любые элементы управления, начиная от создания новой кнопки, выполняющей новую программу, до создания дополнительного графического интерфейса.

Завершением обработки информации в САПР является проект. При этом все компоненты проекта, полученные в процессе сеанса работы: виды, таблицы, слои, компоновки и программы сохраняются в одном файле.

Важным понятием САПР, связанным с объектно-ориентированным проектированием являются классы.

Класс определяет и объединяет общий набор типовых проектных элементов, графических объектов, атрибутов и операций. Понятие класса уп-

рошает создание объектов. Все объекты являются примером специфического класса. Например, класс проектов домов позволяет создавать индивидуальные проекты для каждого дома.

В автоматизированных системах (не только в САПР) проект - это файл, в котором хранится вся информация, необходимая для реализации проекта. Проект может содержать: техническое задание, пояснительные записки, таблицы, диаграммы, чертежи разных масштабов, общие виды, детали и фрагменты деталей, схемы компоновки элементов проекта, атрибуты (описательные характеристики) и т.п.

В приложении к проекту могут содержаться справочные материалы, стандарты, тексты программ, теоретические обоснования методов решения, словари и пр.

Компонентами проекта называют все, что входит в состав проекта и его приложений. Программная реализация проекта осуществляется в виде некоего файла, который называют файлом проекта.

Файл проекта содержит данные для построения графики, данные описаний, точностные характеристики, информацию о времени получения проектных решений, о сроках годности проекта, о времени внесения исправлений.

Особенностью работы с графикой и особенностью визуальной обработки информации в информационных технологиях является применение так называемого графического интерфейса пользователя. Этот интерфейс в соответствии с "де факто" [27, 28, 40] стандартом фирмы Microsoft представляет собой многооконные конструкции с набором меню, кнопок и т.п.

Таким образом данные в САПР также могут быть сведены в три группы: "место", "время", "тема".

Введение координатной сетки приводит к введению понятия масштаба чертежа, т.е. отношения единицы чертежа к единице проектируемого объекта в натуре. Масштаб чертежей САПР по сравнению с рассмотренными вы-

ше системами незначителен: инженерные объекты имеют масштабы 1: 100, 1: 20. Детали 1: 10 - 1:1. Особенностью масштаба в САПР является его неизменность в любой точке чертежа.

Другой особенностью САПР является получение графической информации в определенной системе координат и появление такой характеристики как точность позиционирования. Кроме того, в САПР впервые введена возможность послойного представления графической информации и процедуры обработки слоев. Обработка слоев означает применение процедур обработки групп объектов принадлежащих одному слою. В САПР существует понятия метрических и атрибутивных характеристик.

## 1.5. ОТРАСЛЕВЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ

Отраслевые системы автоматизированного управления (ОАСУ) относятся к классу систем автоматизированного управления [24]. Основное назначение этих систем – поддержка принятия решений на уровне отрасли или министерства.

ОАСУ являются частью и основой системы регулирования и управления экономикой страны.

Основными задачами ОАСУ являются:

сбор, обработка и представление отраслевой информации о деятельности подведомственных предприятий, расположенных на различных территориях;

обработка информации на основе научно обоснованной методологии управления и поддержки принятия решений;

контроль и управление объектами отрасли в системе прямой и обратной связи, реализующей автоматизированное управление;

предоставление отчетов и справок о деятельности отрасли на основе автоматизированного составления различных форм и видов информационных документов.

Все данные, применяемые в ходе обработки в ОАСУ, имеют три группы характеристик: "время", "место", "тема".

Результатом обработки в ОАСУ является информация, предназначенная для поддержки принятия решений, т.е. для получения управляющей информации. Управляющая информация предназначена для воздействия на объект управления.

Под объектом управления в системе управления понимается элемент системы, который для нормального функционирования нуждается в контроле и регулировании. Основными объектами управления в отрасли являются предприятия и организации.

Для управления объектами в ОАСУ создается управляющая система, которая обеспечивает их своевременное приведение к нормальному функционированию. Органы управления воздействуют на объекты управления посредством прямой связи (задания) и обратной связи (отчетность).

Таким образом, ОАСУ как информационные системы, работающие с пространственно локализованными данными, являются звеном прямой и обратной связи в системе государственного управления.

Пространственная локализация данных обеспечивает привязку различных экономических показателей к объектам управления, имеющим территориальный характер.

Для ОАСУ как систем, работающих с пространственно локализованными данными, характерно понятие масштаба действия. Масштаб действия ОАСУ определяется: сферой отрасли.

ОАСУ обрабатывают и обобщают информацию данного министерства или отрасли по тем регионам, в которых расположены предприятия данной отрасли. Это определяет ОАСУ как систему одного масштаба действия.

Данные в ОАСУ организованы в виде атрибутивных таблиц, содержащие описательную информацию по каждому из пространственных объектов. Одним из способов представления статистических данных таблиц является деловая графика.

Локализация данных осуществляется в ОАСУ, как и в СтИС, на основе классификационного подхода.

## 1.6. ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ С ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЛОКАЛИЗАЦИЕЙ ДАННЫХ

Рассмотрев отдельных представителей класса информационных систем с пространственной локализацией данных, можно дать некоторые обобщенные характеристики этому классу.

1. Автоматизированные информационные системы с пространственной локализацией данных (АИСПЛД) применяются при обработке информации о пространственных или территориально распределенных объектах и требуют привязки данных к территории или системе координат.

2. Объекты, информация о которых обрабатывается в таких системах, могут иметь разные типы: точечные (локализованные в небольшой части территории), линейные, сетевые, площадные.

3. Данные, хранимые и обрабатываемые в информационных системах с пространственной локализацией данных, содержат три группы характеристик: "место", "время", "тема".

4. Данный класс информационных систем в общем случае неправильно называть как "географическими", так и "геодезическими". Локализация данных в этих системах осуществляется за счет применения различных наборов классификаторов, связанных с субъектами федерации, территориями, отраслями, городами, а также путем позиционирования, т.е. использования системы координат.

5. АИСПД в обязательном порядке должны включать в свой состав базу или совокупность баз данных: для хранения исходных данных, для хранения набора методов анализа данных, для хранения моделей данных.

6. Основным видом информации, хранимой в АИСПД, является статистическая (табличная) информация.

7. Особенностью информационных систем с пространственной локализацией данных являются также наличие не только баз данных, но и баз моделей и баз алгоритмов и программ.

8. Для поддержки принятия решений в АИСПД широко используются методы компьютерной графики и деловой графики, которые позволяют дать наглядное представление статистической информации или результатам ее обработки.

9. АИСПД применяют для:

сбора и обобщения информации;

управления;

поддержки принятия решений;

проектирования и моделирования;

оптимизации решений или проектов;

информационно – аналитических целей;

пространственного, статистического, экономического, экологического и других видов анализа;

прогнозирований;

хранения информации и представления данных в удобном для пользователя виде.

10. В АИСПД осуществляется связь между графическими и табличными данными. Такая связь позволяет преобразовывать статистические данные в графическую форму, манипуляции с графической информацией отражать в виде совокупности табличных данных.



11. Для АИСПИД появляются новые характеристики, такие как территориальный уровень использования, масштаб действия системы, масштаб чертежа, уровень управления и т.п. При этом они обладают всеми возможностями обычных автоматизированных информационных систем.

12. При работе с компьютерной графикой в АИСПИД используется технология сетки. Сетка предоставляет механизм регистрации положения графики по однородным интервалам в чертежи или слои. В основании сетки лежат градации, представляющие собой заданную долю выбранных единиц измерения страницы (дюймы, сантиметры, и т.д.).

13. В АИСПИД для построения моделей объектов или проектов широко применяют объектно-ориентированное моделирование и проектирование графических объектов.

14. При организации графической информации в АИСПИД применяют механизм слоев, в которых графическая информация размещается по заданным тематическим признакам.

15. Завершением обработки пространственных позиционированных данных в АИСПИД является проект. Он включает следующие компоненты проекта, полученные в процессе сеанса работы: виды, таблицы, слои, композиции, компоновки и программы.

Процесс изучения окружающей действительности и принятия решений с помощью этих систем сводится к применению наборов моделей для описания объектов исследования и моделей для описания среды нахождения объектов. Возможно использование моделей для описания взаимосвязей "объект-среда".

Результатом обработки пространственно-локализованных данных может быть проект с совокупностью компонент.

16. Основным назначением этих систем является анализ информации, управление и поддержка принятия решений.

## 2. ОРГАНИЗАЦИЯ БАЗ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ

Выше было отмечено, что системы с пространственной локализацией данных включают различные базы: базы данных, базы моделей объектов, базы программ и алгоритмов обработки. В общем случае эти разнообразные базы можно рассматривать как базы данных различного содержания.

Большинство современных БД, построенных на основе так называемых реляционных моделей, имеют табличную форму и иногда называются табличными [30, 40]. По этой причине главным принципом организации таких БД является создание одной или совокупности взаимосвязанных между собой таблиц.

Первым этапом создания БД является определение включаемых в нее характеристик и построение логической записи, включающей все описательные характеристики.

Вторым этапом является создание на основе полученной логической записи нескольких таблиц с помощью процедур нормализации.

Основными понятиями реляционных баз данных являются тип данных, домен, атрибут, кортеж, первичный ключ и отношение.

Тип данных представляет собой типизированную модель данных, т.е. модель данных, выделенных по ограниченному числу признаков или одному признаку. Примером типизированных данных могут являться характеристики времени, координаты, процентные величины и т.п.

В современных БД допускается хранение различных типов: символьных, числовых данных, битовых строк, "темпоральных" данных (дата, время, временной интервал).

В общем виде домен определяется заданием базового набора одного типа данных и произвольного логического выражения, применяемого к эле-

менту типа данных. Если вычисление этого логического выражения дает результат "истина", то элемент данных является элементом домена.

Атрибут определяет свойства сущностей. Он может иметь значения, различные для объектов базы данных.

Схема отношения - это именованное множество пар {имя атрибута, имя домена (или типа, если понятие домена не поддерживается)}. Степень или "арность" схемы отношения - мощность этого множества.

Если все атрибуты одного отношения определены на разных доменах, можно использовать для именования атрибутов имена соответствующих доменов.

Кортеж, соответствующий данной схеме отношения, - это множество пар {имя атрибута, значение}, которое содержит одно вхождение каждого имени атрибута, принадлежащего схеме отношения. "Значение" является допустимым значением домена данного атрибута (или типа данных, если понятие домена не поддерживается).

Отношение - это множество кортежей, соответствующих одной схеме отношения. Иногда, чтобы не путаться, говорят "отношение-схема" и "отношение-экземпляр", иногда схему отношения называют заголовком отношения, а отношение как набор кортежей - телом отношения.

Обычным представлением отношения является таблица, заголовком которой является схема отношения, а строками - кортежи отношения-экземпляра; в этом случае имена атрибутов именуют столбцы этой таблицы. Поэтому иногда говорят "столбец таблицы", имея в виду "атрибут отношения". Этой терминологии придерживаются в большинстве коммерческих реляционных СУБД.

При создании таблицы БД в нее добавляется столбец с неповторяющимися (уникальными) значениями для строк таблицы. Такой столбец служит для идентификации (однозначного определения) любой строки таблицы и называется внутренним ключом, "ключевым столбцом", идентификатором

(ИД).

Считается, что строка таблицы описывает законченное понятие (сущность) или объект, поэтому внутренний ключ используется для однозначного определения любого объекта таблицы.

При организации реляционных БД используются следующие понятия:

**Базовая таблица** — таблица, которая содержит столбец, описывающий свойство и первичный ключ.

**Промежуточная таблица** — таблица, которая не является базовой и используется для обеспечения связи между другими таблицами.

**Составной ключ** — ключ, применяемый для однозначного определения объекта таблицы, который используют не одно, а несколько полей в таблице.

**Внешний ключ** — столбец, значения которого соответствуют значениям первичного ключа другой таблицы, взаимосвязанной с данной таблицей. Внешний ключ может состоять из 1 или нескольких столбцов, в этом случае он называется составным внешним ключом.

Создание БД заключается в разработке ее структуры, т.е. создание совокупности взаимосвязанных таблиц.

Процесс проектирования БД включает следующие этапы:

- 1) определение объекта, данные о котором должны содержаться в БД;
- 2) выявление связей между объектами;
- 3) определение основных свойств объекта, которые будут храниться в БД;
- 4) выявление связей между свойствами объекта;
- 5) составление логической записи общей таблицы, включающей все свойства объекта;
- 6) создание нескольких таблиц из общей, на основе процедур нормализации;
- 7) определение операций при использовании таблиц и создание на их

основе запросов;

8) создание, если необходимо, форм ввода данных и форм отчета.

## 2.1. НОРМАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ

Нормализация представляет собой процедуру построения нескольких взаимосвязанных таблиц из одной таблицы. Нормализацией называют также процесс, который позволяет преобразовывать иерархическую (древовидную) модель в реляционную (табличную).

Процесс проектирования БД представляет собой процесс нормализации, т.е. построения совокупности нормальных форм, при котором каждая последующая нормальная форма обладает свойствами лучшими, чем предыдущая.

Каждой нормальной форме соответствует некоторый набор ограничений. Основные свойства нормальных форм:

- каждая следующая нормальная форма в некотором смысле лучше предыдущей;
- при переходе к следующей нормальной форме свойства предыдущих нормальных форм сохраняются.

В теории реляционных баз данных обычно выделяется следующая последовательность нормальных форм: первая нормальная форма (1NF); вторая нормальная форма (2NF); третья нормальная форма (3NF); нормальная форма Бойса-Кодда (BCNF); четвертая нормальная форма (4NF); пятая нормальная форма, или нормальная форма проекции-соединения (5NF или PJ/NF).

Целью нормализации является:

- 1) Уменьшение объема для хранения данных.
- 2) Повышение эффективности работы БД.

Процедура нормализации выполняется поэтапно.

Существует пять этапов нормализации, которые называются в теории

проектирования БД построением нормальных форм.

На первом этапе, при построении первой нормальной формы, требуется, чтобы таблица, содержащая характеристики объекта и их значения, была двумерной и не содержала повторяющихся групп.

Двумерность означает, что таблица должна определяться двумя параметрами:

длиной - количеством строк или записей;

шириной - количеством столбцов или полей.

Если в таблице содержатся повторяющиеся данные, то они выносятся в другую таблицу. Чтобы в ячейке не содержалось несколько величин, вводят третье измерение-глубину, которое также требует создание отдельной таблицы.

На втором этапе нормализации (при построении 2-ой нормальной формы) требуется, чтобы данные во всех полях (столбцах) таблицы, полностью зависели от первичного или составного ключа.

На третьем этапе (при построении 3-ей нормальной формы) требуется, чтобы все не ключевые столбцы были независимы друг от друга. Если такая зависимость появляется, то это служит основанием для разбиения таблицы.

На четвертом этапе (при построении 4-ой нормальной формы) требуется, чтобы в одной таблице не содержались элементы данных, если между ними существуют отношения "ко многим многим" или "один ко многим".

На пятом этапе (при построении 5-ой нормальной формы) требуется, чтобы можно было восстановить исходную таблицу на основе информации тех таблиц, на которые она была разбита.

База данных может содержать любое число таблиц.

## 2.2. ОСОБЕННОСТЬ СОЗДАНИЯ БАЗ ДАННЫХ С ПРОСТРАНСТВЕННО - ЛОКАЛИЗОВАННЫМИ ДАННЫМИ

Организация и хранение информации, связанной с пространственной локализацией имеет свои особенности, которые определяются разнообразными типами информации и наличием графических данных.

Рассматривая три характеристики "место", "время", "тема", следует отметить, что особенность заключается в организации с хранением данных отражающих свойство "место". Данные "время" и "тема" хранятся традиционными способами в таблицах.

Характеристика "место" определяет данные, которые хранят геометрическое местоположение пространственных объектов вместе с атрибутивной информацией об этих объектах. Характеристики "место" могут храниться в табличной и графической формах. Эта возможность двойственного представления данных этой группы служит основой привязки характеристик "время" и "тема" к группе характеристики "место".

Графические данные о местоположении хранятся в векторных или растровом виде, а соответствующая атрибутивная информация во множестве таблиц, связанных с описываемыми объектами. Это называют пространственносвязанной структурой данных.

Пространственные данные могут быть организованы тематически в виде совокупности уровней (слоев), или тем. Одна тема представляет одно множество пространственных объектов или явлений, объединенных по какому-то общему признаку.

Таким образом, база данных информационной системы с пространственной локализацией данных должна содержать табличную информацию, связанную с графическими объектами. Эта связь должна быть двухсторонней. Изменение табличных данных должны приводить к изменению графического представления пространственных объектов, а изменение графиче-

ских объектов должно приводить к изменению содержимого таблиц или к появлению новых таблиц.

Одним из методов работы с пространственными данными является использование индексов.

**Индекс** - форма ссылки к данным, который ускоряет доступ к данным, упорядочивая значения по полю.

Индекс может постоянно находиться как файл на диске - постоянный индекс, или это может быть индекс, созданный на время сеанса работы - временный индекс.

Для индексации пространственных объектов применяют пространственные индексы, которые ускоряют отображение графики. Индексы пространственных объектов могут выводиться как графические образы, что помогает при анализе и интерпретации локализованных данных.

Индекс атрибута помогает быстрее найти записи в таблицах атрибутов. Он повышает эффективность операций поиска данных.

Одним из подходов к организации индексов является использование техники хэширования. Идея методов хэширования заключается в применении к значению ключа некоторой функции свертки (хэш-функции), вырабатывающей значение меньшего размера. Свертка значения ключа затем используется для доступа к записи.

В простейшем случае свертка ключа используется как адрес в таблице, содержащей ключи и записи. Основным требованием к хэш-функции является равномерное распределение значение свертки. При возникновении неоднозначности (одна и та же свертка для нескольких значений ключа) образуются цепочки переполнения. Главным ограничением этого метода является фиксированный размер таблицы. Если таблица заполнена слишком сильно или переполнена, то возникнет слишком много цепочек переполнения, и главное преимущество хэширования - доступ к записи почти всегда за одно обращение к таблице - будет утрачено. Расширение таблицы требует ее пол-



ной переделки на основе новой хэш-функции (со значением свертки большего размера).

В случае баз данных такие действия являются неприемлемыми. Поэтому обычно вводят промежуточные таблицы-справочники, содержащие значения ключей и адреса записей, а сами записи хранятся отдельно. Тогда при переполнении справочника требуется его переделка, что вызывает меньше затрат по сравнению с переделкой базы данных.

Для исключения полной переделки справочников при их организации используют технику бинарных деревьев с расщеплениями и слияниями. Хэш-функция при этом меняется динамически, в зависимости от глубины В-дерева. Путем дополнительных технических ухищрений удастся добиться сохранения порядка записей в соответствии со значениями ключа. В целом методы В-деревьев и хэширования все более сближаются.

При организации базы данных пространственно — локализованных информационных систем применяют три схемы. Первая условно называется внутренней. Она основана на использовании внутренней базы данных информационной системы, например ГИС.

Вторая схема называется локальной. Она основана на подключении к информационной системе внешней базы данных с помощью соответствующего интерфейса.

Третья схема называется глобальной. Она основана на создании базы данных на Web-сервере и создании интерфейсов, позволяющих обмениваться информацией через глобальную сеть.

### 3. ИНТЕГРАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Современные автоматизированные интегрированные информационные системы имеют качественное отличие от специализированных автоматизированных информационных систем существовавших ранее. Десять - пятнадцать лет назад существовало два вида систем, которые отличались друг от друга.

Первый класс образовывали системы, предназначенные для обработки данных: системы обработки данных (СОД), автоматизированные системы управления (АСУ). Впоследствии эти системы были интегрированы в единый класс систем обработки данных и управления (СОДУ) (рис.3.1.).

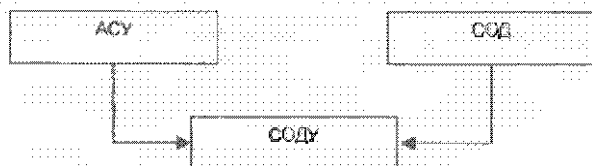


Рис. 3.1 Интеграция систем обработки данных и АСУ.

Другой класс образовывали специализированные системы, предназначенные, преимущественно, для хранения информации.

Первоначально эти системы были не автоматизированы, и их целью было создание картотек и упорядочение большого объема информации содержащейся в архивах.

Первые "информационные системы" - (ИС) - были полуавтоматизированы. Развитие компьютерной технологии и вычислительной техники привело к созданию автоматизированных информационных систем (АИС), основными функциями которых были организация хранения информации и организация эффективных запросов к хранимой информации.

Дальнейшее развитие автоматизированных технологий привело к появлению баз данных (БД) и экспертных систем (ЭС), которые стали составными частями АИС (рис.3.2.)



Рис. 3.2. Эволюция систем хранения информации

В настоящее время базы данных служат основой хранения информации во многих автоматизированных информационных системах и в первую очередь в интегрированных.

Развитие технологий искусственного интеллекта и интеллектуальной обработки данных, привело к появлению "экспертных систем" - (ЭС). Главное отличие ЭС от БД - заключается в способности принимать решения несанкционированное пользователем.

Современные автоматизированные интегрированные информационные системы (АИИС) должны обладать свойствами систем двух вышепересмотренных классов, т.е. они должны обладать возможностью обработки данных и методами ее эффективного хранения.

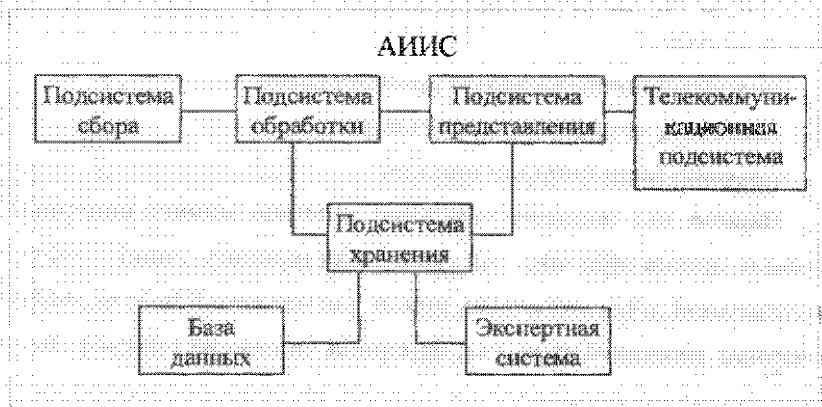


Рис. 3.3. Структура автоматизированной интегрированной информационной системы (АИИС)

На рис.3.3. приведена структура АИИС. Напомним, что согласно ОСТ ВШ [21] структурой (системы) называют совокупность устойчивых связей, способов взаимодействия элементов системы, определяющая ее целостность и единство.

**Элементом (системы)** называют простейшую структурную составляющую системы, которая в рамках данной системы не структурируется.

Любая современная автоматизированная интегрированная информационная система (ГИС в частности) в обязательном порядке включает совокупность подсистем, соответствующих обычным специализированным автоматизированным информационным системам (АИС) или системам обработки данных и управления (СОДУ).

Типовая интегрированная информационная система включает следующие подсистемы:

подсистему сбора;

подсистему хранения данных (чаще всего это база данных или экспертная система);

подсистему обработки данных (моделирования);

подсистему представления информации;

телекоммуникационную подсистему.

Наличие этих подсистем определяет различные аспекты интеграции данных и методов обработки. Это - интеграция исходных данных, интеграция технологий сбора, интеграция данных для хранения и моделирования, интеграция технологий обработки, интеграция технологий хранения, интеграция данных для представления и передачи, интеграция технологий представления информации.

**Интеграцией** (в системе или системах) называют восстановление и (или) повышение качественного уровня взаимосвязей между элементами системы, а также процесс создания из нескольких разнородных систем единой системы, с целью исключения (до технически необходимого минимума) функциональной и структурной избыточности и повышения общей эффективности функционирования [21].

В современных АИИС следует различать два дополняющих друг друга вида интегрирования:

- интеграцию технологий;

- интеграцию данных.

Интеграция технологий означает разработку комплекса технологий сложной на основе некой базовой технологии.

Интеграция данных означает создание информационной основы с комплексным согласованием всех данных для оптимального использования.

Интеграция данных означает также, что для создания информационной основы выбирают определенный класс данных, а все остальные типы или классы данных преобразуются применительно к свойствам этого класса.

Таким образом, интеграция данных требует предварительной классификации данных и разработки системы классификаторов.

### 3.1. СТРУКТУРА ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ

Дадим понятия основных частей информационной интегрированной системы. Взаимосвязь между ними в форме иерархической модели показана на рис.3.4.

Верхним уровнем понятий в интегрированной среде является "Интегрированная система"[29, 30]. Она представляет собой независимый комплекс, в котором осуществляются все процессы обработки, обмена и представления информации. Схема системы включает в себя **системные уровни**, **подсистемы**, **процессы**, **задачи**.

Более низким уровнем по отношению к "Системе" является **Системный уровень** (рис.3.4). Этим термином определим *часть системы*, объединяющую подсистемы и процессы обработки по функциональным и технологическим признакам.

Еще более мелким уровнем является **Подсистема**. Подсистему определим как часть системы, объединенную по функциональным методам обработки данных, включающих разные алгоритмы и методы моделирования. **Подсистема** может быть локальной или распределенной. Системный уровень может включать от одной до нескольких подсистем.

**Распределенной** называют подсистему, состоящую из частей, расположенных на различных узлах сети, которые могут обслуживаться различными системами управления и допускают участие в работе нескольких пользователей из разных узлов сети.

**Локальная подсистема**, в отличие от распределенной, сгруппирована в одной точке сети и, как правило, обслуживается одним пользователем.

В подсистему входит как более мелкая часть процесс обработки данных. **Процесс** определим как совокупность методов, обеспечивающих реа-

лизацию алгоритма обработки или одного метода моделирования, решающего одну или несколько задач обработки данных. Он подразделяется на: локальный, системный, распределенный.

Значение терминов локальный и распределенный аналогично значению их для подсистем. Системный процесс предназначен для обслуживания системы и как правило он является "прозрачным" (т.е. незаметным) для пользователя.

Наконец, самым мелким элементом системы является задача. С технологических позиций задача как элемент системы определяется простейшим технологическим циклом обработки типизированных данных.

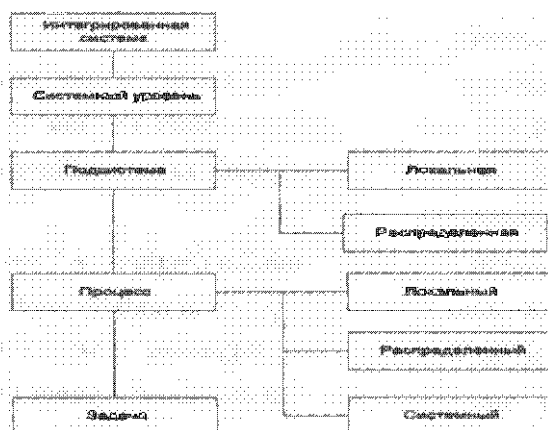


Рис.3.4. Основные части интегрированной системы

Задача может быть связана с вычислениями или с технологическими процессами типа: ввода данных, формирования данных, визуального контроля данных и т.д.

Следует подчеркнуть разницу между системным уровнем и подсистемой. Подсистема имеет всегда технологическое назначение, логическое описание и физическую реализацию. Так подсистема семантического моде-

лирования может быть реализована как составная часть технологии сбора информации или как самостоятельная технология, например при формировании графических моделей. Физическая реализация АИИС осуществляется обычно на уровне подсистемы.

**Системный уровень** является *описательным понятием*, т.е. имеет технологическое назначение и логическое описание.



#### 4. ИНФОРМАЦИОННАЯ ОСНОВА ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Любая информационная система ориентирована на работу в конкретной предметной области. При построении интегрированной информационной системы необходимо учитывать и различать следующие понятия: объект исследования, модель объекта, составная модель данных, элементарная модель данных, информационная основа.

Объектом исследования будет являться любой из объектов предметной области - все то, что может храниться в базе данных АИИС.

При исследовании объектов окружающей действительности осуществляется сбор данных, часто разрозненных и неоднородных из которых необходимо формировать модели объектов.

**Первичные данные** - исходные данные, получаемые в ходе непосредственного сбора информации. После сбора разнообразные входные данные о объектах упрощаются, унифицируются и преобразуются в модели, хранящиеся в базе данных.

Модели данных могут иметь сложную многоуровневую структуру. **Составными моделями** называют модели, имеющие сложную многоуровневую структуру, составленную из более простых моделей. Составные модели включают как элементы структуры элементарные модели данных.

Элементом системы называют простейшую структурную составляющую, которая в рамках данной системы не структурируется [21].

Это определяет элементарную модель данных как структурную составляющую составной модели, которая в рамках составной модели более не структурируется.

На основе вышеизложенного и терминологии ГОСТ ВШ [21] даем определение составной модели данных.

Составная модель данных определяется как множество взаимосвязанных элементарных моделей, каждая из которых связана прямо или косвенно с другой элементарной моделью, а два любые подмножества составной модели данных не могут быть независимыми не нарушая целостность, единство составной модели.

Конструирование или проектирование сложных моделей на основе более простых зависит от выбора структуры сложной модели, от типа связей в сложной модели и от качественных характеристик элементарных моделей.

В результате объединения и обобщения (обработки) первичных данных и первичных моделей, организации связей между ними - образуют модели объектов как вторичные модели.

Модели объектов имеют сложную многоуровневую структуру и включают составные и элементарные модели данных, а также так называемые метаданные.

Метаданные это вспомогательные данные, которые являются описанием других данных, их характеристик, связей, способов использования и т. п. [21]

Таким образом, модель объекта можно рассматривать, как некую систему и это позволяет дать следующее определение модели объекта.

Модель объекта - множество взаимосвязанных составных и элементарных моделей данных и метаданных, каждый элемент которого связан прямо или косвенно с другим элементом, а два любые подмножества этого множества не могут быть независимыми не нарушая целостность, единство.

В процессе эксплуатации АИИС пользователь работает с моделями объектов, которые сохраняет существенные свойства объектов и не содержат второстепенные.

Для нормального функционирования АИИС все многообразие входных данных и моделей объектов преобразуется в единую общую информационную модель, хранимую базе данных. Эта общая модель и определяет

интегрированную информационную основу базы данных и определяют методы обмена данными в процессе эксплуатации АИИС.

Интегрированная информационная основа АИИС определяется, как совокупность определенным образом упорядоченных описаний объектов предметной области и текущих состояний их связей, которые хранятся и обрабатываются в АИИС.

Интегрированная информационная основа является результатом интеграции данных, поэтому она не является простой суммой входных данных характеристик моделей объектов, применяемых в не интегрированных технологиях. Она, как правило, имеет меньший требуемый объем физической памяти при сохранении информационной емкости по сравнению с ее составляющими моделями, хотя дополняется более сложными структурными взаимосвязями и дополнительной служебной информацией.

Интеграция данных есть повышение качественного уровня взаимосвязей между разнородными данными и моделями объектов и процесс создания из разнородных информационных единиц единой системы, с целью исключения функциональной и структурной избыточности и повышения общей эффективности интегрированной системы.

Таким образом, интегрированная информационная основа является результатом интеграции данных и представляет собой некую сложную модель, имеющую структуру и составные части.

Целостность, непротиворечивость и оптимальность этой общей модели АИИС определяется качеством и обоснованностью выбора составляющих частей модели. Это определяет процесс построения интегрированной информационной основы как организацию совокупности моделей данных и моделей объектов.

Следовательно, проблема организации интегрированной основы в АИИС сводится к проблеме - организации моделей данных и объектов. Это определяет необходимость предварительного анализа свойств элемен-

тарных моделей данных, составляющих более сложные модели в БД, и выбора базовых теоретических моделей с учетом конкретной предметной области задач АИИС.

Такой подход позволяет оптимизировать создание информационной основы и процессы обработки данных и в БД.

## 5. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ В ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ

### 5.1. СЕМИОТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ МОДЕЛЕЙ ДАННЫХ

Информационные системы связаны с процессами обработки информации и информационного обмена.

Одним из назначений моделей данных является реализация информационного обмена. Примером стандарта информационного обмена служит естественный язык и современные языки (включая правила их употребления) сформировались как результат требований некоего стандартного обмена информацией.

В технических науках примером моделей информационного обмена служат различные формализованные языки.

Таким образом, информационные средства и технологии используют де-факто стандарты, которые официально такими не называются, тем не менее, такими являются. Это говорит о важности и необходимости исследования моделей как систем информационного обмена.

Исследованием обмена информацией на основе системы знаков, образующих формальные языки, занимается семиотика.

Семиотика является теорией языковых знаков, связей их с друг другом, связей знаков с человеческим мышлением, связей с объективной реальностью и человеком.

Семиотика является общим для всех языков, независимо от их словарного состава, грамматик и способов их возникновения.

Понятием знака семиотика охватывает не только такие языки как русский, английский, немецкий и т.д., но другие образования, такие как матема-

тические символы, знаки уличного движения, условные знаки на топографических картах, знаки различия военнослужащих и т.п.

Переходя на формальное обозначение, следует выделить четыре фактора, которые должна учитывать семиотика:

Z - знак;

A - мысленные образы, отражения (модели);

O - объекты отражения;

M - людей или их мышление.

Различные взаимосвязи перечисленных факторов определяют различные разделы семиотики.

**Синтактика** - раздел семиотики, который абстрагируется от всех факторов за исключением знака. Она исследует связи между знаками некоторого языка. Синтактика устанавливает правила построения составных языков.

Она создает критерии определения принадлежности совокупности знаков к определенному языку.

**Семантика** (от греч. семантикос - обозначающий) - Раздел семиотики, изучающий интерпретацию знаковой системы. Он исследует отношения между знаками Z и отражениями A, связи между словами языка и соответствующими им понятиями.

Знаки Z являются формой существования мысленных образов A, последние являются значениями знаков Z. Этим семантика рассматривает отношения между знаками языка и их значениями.

**Сигматика** изучает отношения между Z и O. Языковые значения Z - это имена обозначения объектов O.

**Прагматика** - раздел семиотики, изучающий отношение использующего знаковую систему к самой знаковой системе.

Применительно к информатике и геоинформатике семиотический анализ информационной единицы (модели, системы, процесса, объекта, технологий) выглядит следующим образом:

Модель должна включать три составные части:

**синтаксис** - правила построения и критерии принадлежности к виду;

**семантику** - методы отображения информации объекта в информацию модели и саму эту информацию;

**прагматику** - полезность, методы оценки полезности модели.

Таким образом, семиотика выделяет три основные характеристики модели как знаковой системы: синтаксис, семантика и прагматика.

Этот подход определяет содержание элементарной (атомарной) модели как элементарной единицы данных, включающей: правила построения объекта, свойства объекта, значения свойств.

## ВЫВОДЫ

1. Модель данных в АИИС, основанная на семиотическом подходе независимо от способов построения и видов моделей требует наличия в каждой модели (данных) информации трех ее качественных частей: синтаксической, семантической, прагматической.

2. Отсутствие какой либо из трех упомянутых частей говорит о нестандартном (неполном) построении данной информационной единицы.

## 5.2. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ВИДЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДАННЫХ

Модель отражает наиболее общие свойства объекта или исследуемого процесса. Использование различных аспектов рассмотрения и различных критериев оценки моделей данных позволяет проводить объективный сравнительный анализ для выбора оптимальной модели к классу решаемых проблем.

С позиций агрегации (взаимосвязи) отдельных частей модели можно говорить о структуре или структурированности модели.

Одним из основных способов структуризации данных является абстракция. Она используется как для образования категорий данных, так и для построения одних категорий на основе других.

### 5.2.1. Сильно и слабо типизированные модели

Одно из противоречий описания моделей заключается в стремлении, с одной стороны, отразить общие свойства класса объектов, с другой - индивидуальные признаки более узкого подкласса и наконец индивидуальные признаки конкретного объекта.

Этот аспект рассмотрения приводит к разделению моделей данных на два класса: сильно типизированные и слабо типизированные.

Сильно типизированные - это модели, в которых большинство данных удовлетворяют неким условиям и ограничениям и могут быть отнесены к узкому подклассу (типу).

Если исходные данные нельзя отнести к одному типу, то их можно с помощью искусственных приемов (введением дополнительных условий или ограничений) отнести к набору типов.

Слабо типизированные модели это модели, в которых данные разнородны по формату, структуре. Они в общем слабо связаны условиями относительно известных типов.

Примером сильно типизированных данных в ГИС служат координатные (метрические) данные.

Примером слабо типизированных моделей в ГИС могут быть описательные характеристики (временные наборы данных).

Сильно типизированные модели эффективны при обработке однотипных потоков данных. Слабо типизированные модели обеспечивают интеграцию категорий данных. Предельная возможность использования таких моделей обеспечивается исчислением предикатов.



### 5.2.2. Статические и динамические модели

С позиций изменчивости можно выделить два класса моделей: статические, динамические и квазидинамические.

К статическим относят модели инвариантные относительно времени. Они служат для описания процессов и явлений, независящих от времени.

Динамические модели не только допускают изменение параметров и структур во времени, но и служат для описания изменения процессов и моделей именно во времени. Построение динамических моделей (например для задач управления) как правило более сложно чем построение статических.

Поэтому в некоторых случаях применяют квазидинамические модели как упрощение динамических.

Квазидинамические модели - это модели, в которых временной интервал действия модели разбивается на периоды, для каждого из которых строится статическая модель. Таким образом, квазидинамические модели можно рассматривать как совокупность меняющихся и взаимосвязанных статических моделей.

Примерами динамических и статических моделей в ГИС могут служить два вида электронных карт. Электронные карты в режиме разделения времени (электронные атласы) представляют реализацию статических моделей, в то время как электронные карты в реальном масштабе времени (навигационные системы) могут служить примером динамической модели.

Следует подчеркнуть, что понятие изменчивости моделей данных в информационных системах - относительно, так как вся информация носит временной характер и через какой-то период времени требует обновления (актуализации).

Поэтому применение понятий статистические и динамические модели данных требует указания периода времени, который используется в

процессе исследований или указания альтернативной модели при сравнении с исходной.

### 5.2.3. Аналоговые и дискретные модели

По способу отображения объекта в модель можно говорить об аналоговой и дискретной моделях. Примерами таких моделей могут служить обычный фотоснимок и сканированное изображение снимка.

Аналоговые модели в свою очередь разбиваются на две группы: прямой и косвенной аналогии.

К первой группе относятся модели, создаваемые на основе физического моделирования: аналоговые карты, модели судов, самолетов, гидротехнические сооружения и т. п.

Ко второй группе (косвенной аналогии) относятся модели, создаваемые на основе математического моделирования (аналитического описания), например, цифровая модель рельефа, построенная на основе аналитического описания поверхности. К этой же группе относят модели, построенные квазианалоговым способом, основанном на принципе эквивалентности.

Дискретные модели основаны на замене непрерывных функций набором дискретных значений аргументов и функций. Дискретность определяется *шагом квантования*. Для необходимости сохранения информативности дискретной модели по отношению к объекту шаг квантования выбирается с учетом теоремы Шеннона - Котельникова.

### 5.2.4. Масштаб действия модели

Для моделей, описывающих пространственные объекты или явления, существует понятие масштаба действия модели [19]. Это совершенно иное понятие по сравнению с масштабом карты. Например, модель экологического мониторинга городского района неприменима для описания экологической ситуации города или области. Модель экологической ситуации региона может иметь меньшую детализацию, чем модель города.

Масштаб действия модели определяется в первую очередь ее точностными характеристиками и детальностью, во вторую - территориальными размерами объекта исследований и набором параметров модели, называемым также пространством параметров.

Таким образом, модели, имеющие равное пространство параметров позволяют осуществлять информационный обмен, в модели, охватывающие одинаковые территории, позволяют получать обобщенные характеристики на данную территорию.

### 5.2.5. Жизненный цикл модели

Модель как информационная продукция не существует вечно. Она разрабатывается и эффективно используется в течение периода, который называют жизненным циклом. Жизненный цикл является характеристикой всех информационных и технологических продуктов.

Существуют разные способы оценки периодов жизненного цикла. В «петле качества», определяемой стандартом ISO 9000-9004 выделяют 11 этапов. В зависимости от аспекта рассмотрения можно по-разному определить жизненный цикл модели, например, технологический, рыночный, информационный и т.п. В минимальном варианте насчитывают четыре этапа жизненного цикла. Для информационной модели можно выделить шесть фаз жизненного цикла:

- фаза разработки концепции;
- фаза разработки проекта модели;
- фаза реализации модели;
- фаза эксплуатации и актуализации модели
- фаза модернизации;
- фаза завершения эксплуатации модели

На первой фазе создается концептуальная схема разработки и использования модели.

Концептуальная схема определяется как непротиворечивая совокупность высказываний, истинных для данной предметной области, включая возможные состояния, классификации, законы, правила [21].

На этапе разработки проекта осуществляется структурное проектирование, декомпозиция задач и поиск решений задач с помощью данной модели.

На фазе реализации осуществляется построение модели на основе программно-аппаратных средств.

На фазе эксплуатации осуществляют практические работы и актуализацию данных для приведения характеристик модели в соответствии с изменяющимися внешними условиями.

Модернизация модели направлена на ее совершенствование и продление периода эксплуатации.

Фаза завершения эксплуатации модели очень важна, так как помимо консервации модели, которая уже не достаточно отражает существующую реальность, необходимо обеспечить преемственность в передаче данных от устаревшей модели к новой.

### 5.3. ФОРМЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ДАННЫХ

Аспект представления моделей разграничивает модели по четырем основным формам представления: аналитические, табличные, графические и графовые.

**Аналитическая форма** представляет модель в виде формулы, аналитического выражения, совокупности аналитических выражений (уравнений). Она применяется при известных законах поведения модели или объекта.

**Графическая форма** использует отображение совокупности моделей или данных в виде кривых, графиков, диаграмм. Она наиболее часто применяется при наличии статистических данных и при известном аналитическом описании модели, т.е является формой взаимосвязанной с аналитической.

**Табличная форма** дает представление модели или ее характеристик в виде одной или совокупности взаимосвязанных таблиц. Она применяется при описании атрибутов и при сборе статистической информации. Следует подчеркнуть, что при этом данные в ячейках таблицы не могут вноситься произвольно, они подчиняются определенным правилам, в частности, по столбцам располагают типизированные данные.

**Графовая форма** основана на представлении модели в виде графической схемы, называемой графом. Она применяется при описании структур моделей данных, процессов обработки или управления и описании сложных систем.

Схема включает элементы графа, называемые вершинами (узлами) и ребрами (дугами). В отличие от произвольно нарисованных схем графовая модель, как и табличная модель, строится по определенным правилам.

В частности, каждое ребро может быть ориентировано, т.е. определен путь от одной вершины к другой, и не ориентировано, что соответствует возможному пути от одной вершины к другой в общем направлении.

Простейшим примером ориентированного графа может служить вектор в трехмерном пространстве, а неориентированным графом схема метрополитена. Кроме вершин и ребер существуют другие элементы, значение которых не столь существенно на данном этапе рассмотрения моделей.

Графовая форма позволяет формализованно представлять и использовать при обработке топологические свойства объектов.

В целом формы представления моделей реализуются средствами компьютерной графики и деловой графики.

## 6. ГИС КАК ОБОБЩЕННАЯ ИНТЕГРИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА С ПРОСТРАНСТ- ВЕННОЙ ЛОКАЛИЗАЦИЕЙ ДАННЫХ

Рассмотрев информационные системы с пространственной локализацией данных можно перейти к рассмотрению геоинформационных систем, которые появились как практическая потребность обобщения таких систем на основе интеграции.

Этот подход позволяет определить ГИС как многоаспектную автоматизированную интегрированную информационную систему с пространственной локализацией данных. ГИС обобщает в себе общие свойства информационных систем этого класса и является развитием таких систем [40].

В связи с нечеткой терминологией употребляемой рядом авторов и в первую очередь географов, следует уточнить некоторые понятия.

При изучении геоинформационных систем не следует путать два ряда родственных понятий. Первый ряд понятий образуют более общие термины, связанные с геоинформатикой и ГИС:

Геоинформатика, геоинформационная система, геоинформационная технология, геоинформационное моделирование, геоинформационный объект, геоинформационные данные.

Второй ряд понятий образуют термины, связанные с географией:

География, географическая информационная система, географическая технология, географическое моделирование, географический объект, географические данные.

Эти два ряда понятий не эквивалентны. Замена понятий геоинформатики географическими терминами - ошибочна. В некоторых случаях эти понятия близки, но имеют и различия. Например, геоинформационная система (ГИС) является более общим понятием по отношению к географической информационной системе (ГИС). Геоинформационная система в общем случае

является интегрированной системой, направленной на поддержку принятия решений в различных предметных областях

ГИС как географическая информационная система является специализированной системой. Она функционально направлена на решение задач в области географии.

ГИС как геоинформационная система является объединением автоматизированных информационных систем с пространственной организацией данных, большинство из которых к географии и картографии отношения не имеют.

Следует различать ГИС-систему и ГИС-технологии. ГИС-технология это технология обработки информации, включающая применение систем, которые к ГИС не относятся. Сфера действия ГИС-технологий шире, чем ГИС-систем. Это обусловлено тем, что ГИС как инструментальная система работает с унифицированными данными, а ГИС-технологии включают сбор неунифицированных разнородных данных, их первичную обработку, унификацию и последующую обработку и представление в виде ГИС-систем.

В таблице 1 приведены технологии и методы, авторские изобретения основной организации технологических процессов в ГИС.

Сокращения означают:

АСНИ - Автоматизированные системы научных исследований

АСИС - Автоматизированная справочно-информационная система

АСОЗИ - Автоматизированные системы обработки экономической информации.

АСУ - автоматизированные системы управления

МИС - маркетинговые информационные системы

СКГр - системы компьютерной графики

СтИС - статистические информационные системы

СУБД - системы управления базами данных

СОИ - системы обработки изображений.

Таблица 1

Связь технологий автоматизированных систем с технологиями ГИС

Название АС	Исходная технология	Порожденная ГИС-технология
АСНИ	Автоматизированный сбор первичных данных	Автоматизированный сбор первичных данных
АСНИ	Автоматизированный сбор первичных данных и их обработка с целью унифи- кации	"Сквозные технологии" сбора данных в полевых условиях
САПР	Построение пространст- венных объектов на основе теоретико-множественных отношений между объек- тами	Построение пространственных объектов на основе комбини- рования объектов
САПР	Графическое редактирова- ние объектов для создания новых или обновления	Графическое редактирование объектов для создания новых или обновления
САПР	Декомпозиция графическо- го объекта по тематиче- ским признакам на слои	Декомпозиция графического объекта по тематическим при- знакам на тематические слои
САПР	- " -	Декомпозиция графического объекта по топологическим признакам на слои (точечные, векторные, полигональные)



САПР	Композиция объекта в виде проекта	Композиция объекта или цифрового изображения в виде проекта
САПР	Декомпозиция графического объекта на базовые графические примитивы	Применение базисов тек условных знаков для отображения на карте различных элементов
САПР	Создание, модификация стилей текста, линий, полигонов для визуализации графики	Создание, модификация стилей текста, линий, полигонов для визуализации графики
САПР	Использование механизма координатной сетки для привязки объектов и определения их взаимного положения	Использование механизма географической сетки для привязки объектов и определения их взаимного положения
САПР	Использование атрибутов объектов для изменения визуализации при изменении масштаба	Использование атрибутов объектов для генерализации картографических объектов при изменении масштаба
СУБД	Построение тематических сводных таблиц на основе запросов	Построение тематических карт на основе запросов
СУБД	Применение методов деловой графики для визуализации статистических данных	Применение методов деловой графики для визуализации статистических данных на картах
СУБД	Присвоение атрибутов одной таблицы атрибутам другой таблицы на основе	Генерализация

	сравнения сходных столбцов таблиц	
СУБД	Применение интерфейса ODBC для связи с удаленными базами данных	Применение интерфейса ODBC для связи ГИС с внешней базой данных
СОИ	Кодирование информации в виде квадратомиического дерева	Кодирование информации в виде квадратомиического дерева
СОИ	Векторизация растровых изображения	Векторизация растровых изображения
СОИ	Автоматизированное распознавание линейных объектов	Автоматизированная трассировка линейных и арсальных объектов
СКГр	Применение методов деловой графики для визуализации статистических данных	Применение методов деловой графики для визуализации статистических данных на тематических картах
СКГр	Группирование и разгруппирование объектов	Геогруппирование объектов
СКГр	Применение дополнительных параметров для образования новых объектов на основе существующих	Построение буферных зон
АСОЭИ	Применение набора форм для формирования отчетной документации	Создание и применение набора форм для формирования отчетной документации
АСУ	Совмещение экономической информации с пози-	Совмещение экономической информации с позиционными

	ционными данными для пространственного анализа и оптимизации экономических задач	данными для пространственного анализа и оптимизации экономических задач
АСУ	Принятие решений на основе оптимизации аналитических решений экономических и управленческих задач	Поддержка принятия решений на основе оптимизации аналитических решений, дополненных объективной информацией в виде карт и деловой графики
МИС	Решение маркетинговых задач на основе автоматизированных информационных систем	Решение маркетинговых задач на основе привязанных геоинформационных систем
МИС	"	Решение маркетинговых задач на основе привязанных геоинформационных систем. Геоинформационные системы
СГИС	Разработка классификаторов для упорядочения хранящейся информации	Разработка классификаторов для упорядочения хранящейся информации
СГИС	Применение методов статистического анализа табличных данных	Ограниченное применение методов статистического анализа табличных данных
СГИС	Широкое применение баз данных	Ограниченное применение баз данных

Как показывает сравнительный анализ в таблице 1 большинство технологий и методов ГИС заимствовано полностью, частично или являются развитием уже существовавших технологий других систем с пространственной локализацией данных [20, 40].

Анализ таблицы 1 подтверждает, что ГИС является современным обобщением автоматизированной интегрированной информационной системы с пространственной локализацией данных, в которой заимствованы методы и технологии из других ранее существовавших информационных систем.

Наибольшее число важнейших технологий ГИС заимствовано из САПР (таб.1). Это дает основание утверждать, что основой интеграции технологий в ГИС является технология САПР.

Основой связи между объектами ГИС является позиционирование в системе координат земной поверхности. Это дает основание говорить о том, что основой интеграции данных в ГИС являются географические координаты.

Одним из основных отличий ГИС от других АС с пространственной локализацией следует считать применение теории графов для создания топологии линейных и прерывных объектов и использование криволинейных систем координат и картографических проекций для связи пространственных объектов с точками земной поверхности.

### 6.1. МНОГОАСПЕКТНОСТЬ ГИС

Интеграция ГИС с другими автоматизированными системами порождает многоаспектность ГИС. В ГИС осуществляется комплексная обработка информации от сбора данных до ее хранения, обновления и представления, поэтому следует рассмотреть ГИС с различных позиций.

Одно из основных назначений ГИС - поддержка принятия решений и управление. Как системы управления ГИС -предназначены для обеспечения

процесса принятия решений по оптимальному управлению землями и ресурсами, городским хозяйством, организации транспорта и розничной торговли, использованию океанов или других пространственных объектов.

В отличие от автоматизированных систем управления АСУ и ГИС появляется множество новых технологий пространственной визуализации данных, объединенных с технологиями электронного офиса и оптимизации решений на этой основе. В силу этого ГИС является эффективным средством преобразования и синтеза разнообразных данных для целей управления.

Как *geo-системы* ГИС интегрируют технологии сбора информации таких систем как: Географические информационные системы (ГИС), Системы картографической информации (СКИ), Автоматизированные системы картографирования (АСК), Автоматизированные фотограмметрические системы (АФС), Земельные информационные системы (ЗИС), Автоматизированные кадастровые системы (АКС) и т.п.

Как *системы, использующие базы данных*, ГИС характерны широким набором данных, собираемых с помощью разных методов и технологий. При этом следует подчеркнуть, что они объединяют в себе возможности текстовых и графических базы данных.

Как *системы моделирования* ГИС используют максимальное количество методов и процессов моделирования, применяемых в других автоматизированных системах и в первую очередь в САПР.

Как *системы получения проектных решений* ГИС во многом используют концепции и методы автоматизированного проектирования и решают ряд специальных проектных задач, которые в типовом автоматизированном проектировании не встречаются.

Как *системы представления информации* ГИС являются развитием автоматизированных систем документационного обеспечения с использованием современных технологий MultiMedia. Они обладают средствами деловой графики и статистического анализа и дополнительно к этому средствами

тематического картографирования. Именно эффективность последнего обеспечивает разнообразное решение задач в разных отраслях при использовании интеграции данных на основе картографической информации.

Как *прикладные системы*, ГИС не имеет себе равных по широте, т.к. применяются в транспорте, навигации, геологии, географии, военном деле, топографии, экономике, экологии и т.д.

ГИС как *системы массового пользования* позволяют использовать картографическую информацию на уровне деловой графики, что делает их доступными любому школьнику или бизнесмену, а не только специалисту географу. Именно поэтому принятие многих решений на основе ГИС-технологий не сводится к созданию карт, а лишь использует картографические данные.

## 6.2. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ЛОКАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ В ГИС

ГИС как информационные системы с пространственной локализацией данных имеют общие свойства, присущие всему классу и индивидуальные свойства, присущие только ГИС.

Как показал анализ в главе 1 данные реального мира, отображаемые в информационных системах с пространственной локализацией данных, необходимо рассматривать с учетом трех аспектов: пространственного, временного и тематического.

**Пространственный** аспект связан с определением местоположения.

**Временной** - с изменениями объекта или процесса с течением времени, в частности от одного временного среза до другого. Примером временных данных служат результаты переписи населения.

**Тематический** аспект обусловлен включением в информационную систему тематической информации некой предметной области.

В одних информационных системах (например, СГИС) пространственный аспект отражается с помощью системы классификаторов. В других

(САПР) пространственный аспект реализуется путем координирования (позиционирования) точек объекта в Декартовой системе координат.

В ГИС используются оба подхода, т.е. используются классификаторы для пространственной информации и позиционирования, но в системе координат поверхности Земли. Последнее обстоятельство требует привлечения дополнительного математического аппарата для отображения криволинейной поверхности Земли в виде плоской модели - карты.

Существенным отличием ГИС от других информационных систем с пространственной локализацией данных является включение в описание пространственных объектов топологических характеристик и классификация на этой основе пространственных объектов на: точечные, линейные и площадные (ареальные).

Временной аспект, как правило, включает три фактора: мгновенный, средний временной и оперативный. С этим аспектом связаны характеристики качества информации - актуальность и процедура актуализации данных.

Актуализацией данных - называют процедуру обновления данных для приведения их в соответствие с изменениями в объективной реальности объектов исследования или среды.

По временной характеристике информация, хранимая в ГИС, обычно подразделяется на [29, 30]:

- долгосрочную (десятилетия хранения);
- среднесрочную (годы);
- годовую и сезонную;
- оперативную.

Однако временной аспект данных в ГИС определяется и классом решаемых задач. Например, в большинстве ГИС оперативность определяется от одной недели до двух-трех недель. В специальных мониторинговых ГИС-

системах (военная разведка, анализ чрезвычайных ситуаций) оперативность может составлять минуты.

Тематическая информация в ГИС не ограничена. Именно это создаст возможность использования ГИС как универсальной информационной системы для решения разнообразных задач. Мало того, именно тематическая информация является основной, в то время как пространственная информация служит связующим звеном для объединения, сопоставления, поиска и интерпретации разнообразной тематической информации.

В большинстве технологий ГИС для определения места используют два класса данных: один класс - позиционные (координатные) данные; другой класс - атрибутивные данные для определения параметров времени и тематической направленности.

#### 6.2.1. Позиционные данные

Класс позиционных или координатных данных ГИС является обязательной характеристикой пространственных объектов. Позиционные данные служат для упорядочения положения пространственных объектов или для сопоставления объектов системе координат земной поверхности.

Для отображения позиционных данных применяют позиционные или координатные модели. Класс координатных моделей в ГИС содержит три основных типа, определяемые топологией. Внутри этих типов в ГИС, как и в САПР, применяют набор базовых геометрических типов моделей, из которых создают все остальные, более сложные.

В ГИС включают следующие основные типы координатных данных:

точка (узлы, вершины);

линия (незамкнутая);

контур (замкнутая линия);

полигон ( район, ареал) - группы примыкающих друг к другу замкнутых участков.



Проводя сравнение ГИС-технологий с технологиями САПР, отметим, что основные типы координатных данных в ГИС являются аналогами элементарных моделей, которые в САПР называют примитивами.

**Точечные объекты.** Простейший тип пространственного объекта задают точечные данные, к которым относятся локализованные объекты, отображаемые точечными условными знаками. Выбор объектов, представляемых в виде точек, зависит от масштаба или исследования. Например, на крупномасштабной карте точками показываются отдельные строения, а на мелкомасштабной карте - города.

Особенность точечных объектов состоит в том, что они хранятся и в виде графических файлов, как другие пространственные объекты, и в виде таблиц, как атрибуты. Последнее обусловлено тем, что координаты каждой точки описывают как два дополнительных атрибута. В силу этого информацию о наборе точек можно представить в виде развернутой таблицы или таблицы, содержащей помимо координат набор атрибутов (идентификационные номера, тематические характеристики и т.д.). В таких таблицах каждая строка соответствует точке - в ней собрана вся информация о данной точке. Каждый столбец - это признак, содержащий типизированные данные: координаты или атрибуты. Каждая точка независима от всех остальных точек, представленных отдельными строками.

**Линейные объекты.** Они широко применяются для описания сетей, для которых в отличие от точечных объектов характерно присутствие топологических признаков.

Любая сеть состоит из узлов (вершин) - соединений, концы обособленных линий и звеньев (дуг) - цепей в модели бинарных данных.

Для каждого узла существует специальная характеристика, называемая валентностью, определяемая количеством пересекающихся звеньев в нем. Концы обособленных линий одновалентны. Уличным сетям (прересечения

типа "крест") соответствуют четырехвалентные узлы. В гидрографии чаще всего встречаются трехвалентные узлы (развилки).

Некоторые атрибуты (например, названия пересекающихся улиц) служат для связи одного типа объектов с другими, другие характеризуют только участки звеньев сети.

Сети часто используют как системы линейной адресации. В этих случаях точки размещают в сети по данным о номере звена и о расстоянии от его начала. Это более удобно, чем использовать (X,Y) координаты точки из таблицы, поскольку такие данные непосредственно указывают положение точки в сети.

Данный подход определяет метод присвоения атрибутов отдельным участкам звеньев. При этом линейные объекты (здания, тоннели) хранятся в отдельных таблицах, а с сетью они увязаны путем указания номера звена и расстояния от его начала.

Для точечных объектов необходимо указать одно значение координат, для линейных - два (для начальной и конечной точек).

**Ареалы.** В ГИС могут быть представлены разные типы ареалов: зоны в приложении к окружающей среде или природным ресурсам, социально-экономические зоны, данные об угодьях и др.

Для ареальных объектов границы могут определяться свойством или явлением, а также независимо от явления (затем перечисляются значения атрибутов). Кроме того, границы могут устанавливаться искусственно, например, для микрорайонов.

#### 6.2.2. Взаимосвязи между координатными моделями

В общем случае пространственные данные могут иметь большое число разнообразных связей. Эти связи играют важную роль для пространственного анализа данных. Например, связь типа "содержится в..." позволяет со-

относить объекты с их окружением, связь типа "пересекает" между двумя линиями важна для анализа маршрутов в сетях.

Взаимосвязи могут существовать между объектами одного типа или разных типов.

Исходя из критерия построения моделей, можно выделить три основных типа взаимосвязей между координатными объектами.

**Первый тип** - взаимосвязи для построения сложных объектов из простых элементов, например, взаимосвязи между дугой и упорядоченным набором определяющих ее вершин, взаимосвязи между полигоном и упорядоченным набором определяющих его линий. При этом используют процедуры агрегации и обобщения.

**Второй тип** - взаимосвязи, которые можно вычислить по координатам объектов. Например, координаты точки пересечения двух линий определяют взаимосвязь типа "скрещивается" и наличие четырехвалентного узла. Табличные координаты отдельной точки и данные о границах полигонов позволяют найти полигон, включающий данную точку. Этим определяется взаимосвязь типа "содержится в". Используя данные о границах полигонов, можно установить, перекрываются ли полигоны и тем самым установить взаимосвязь типа "перекрывает". Другими словами, второй тип связи содержится в атрибутивных данных в неявном виде.

**Третий тип** - "интеллектуальный". Эти взаимосвязи нельзя вычислить по координатам, они должны получать специальное описание и семантику при вводе данных. Например, можно вычислить пересечение двух линий, но, если этими линиями являются автодороги, нельзя сказать, пересекаются они или в этом месте находится развязка автодорог. Следовательно, для решения дополнительных задач необходима дополнительная информация о связях. Учет связей происходит при кодировании данных, т.е. в подсистемах семантического моделирования.

### 6.2.3. Атрибутивное описание

Координатные данные описывают только метрические и геометрические характеристики пространственных объектов безотносительно к их тематической принадлежности. Объекты с пространственной локализацией, кроме метрической, обладают тематическими и временными характеристиками. Эти группы характеристик в геоинформатике называют атрибутами, а их описание атрибутивным описанием. Совокупность атрибутов определяет класс атрибутивных моделей ГИС.

Для отображения координатных данных используют графическую форму представления и реже табличную. Для отображения атрибутивных данных используют таблицы.

Таблица, содержащая атрибуты объектов, называется таблицей атрибутов. Каждому пространственному объекту соответствует строка таблицы, каждому тематическому признаку - столбец таблицы. Каждая клетка таблицы отражает значение определенного признака для определенного объекта.

Временная характеристика может отражаться несколькими способами:

путем указания временного периода существования объектов;

путем соотнесения информации с определенными моментами времени;

путем указания скорости движения объектов.

В зависимости от способа отражения временной характеристики она может размещаться в одной таблице или в нескольких таблицах атрибутов данного объекта для различных временных этапов.

Применение атрибутов позволяет осуществлять анализ объектов базы данных с использованием стандартных форм запросов и разного рода фильтров, а также выражений математической логики.

Таким образом, атрибутивное описание дополняет координатное, совместно с ним создаст полное описание моделей ГИС, решает задачи типизации исходных данных, упрощает процессы классификации и обработки.

Атрибутами могут быть: символы (названия), числа (статистическая информация, код объекта) или графические признаки (цвет, рисунок, заполнения контуров).

Можно по-разному организовывать взаимосвязь координатного и атрибутивного описания. Например, В. Вебером было предложено специфическое сочетание координатного и атрибутивного классов для описания картографических данных. Для построения общей модели данных ГИС он вводит четырехмерное пространство объекта, где первые два (плано-вые) размера присваиваются  $X/Y$  данным, атрибуты располагаются в третьем измерении, а четвертое измерение резервируется для временных наборов данных.

Такой подход не нов, он заимствован из методов релятивистской механики и теории  $N$ -мерных пространств. По Веберу данные по координате  $Z$  следует обрабатывать как атрибуты, помещая их в одну и ту же категорию наряду с описательными текстами и значениями.

#### 6.2.4. Точностные характеристики

Использование любой информации допустимо, если она удовлетворяет определенным критериям и стандартам. Одним из критериев применимости пространственно-временных данных в ГИС является точность.

Точность - близость результатов, расчетов или оценок к истинным значениям (или значениям, принятым за истинные).

Рассмотрим несколько показателей точности в ГИС: точность вычисления, точность измерения, точность представления.

Точность вычисления определяется количеством значимых цифр после запятой, точность измерений - количеством значимых цифр при измерениях, точность представления - количеством разрядов, описывающих координатные данные.

Точность вычислений и измерений не адекватна точности представления. Большое количество значимых цифр не всегда гарантирует точность вычислений или измерений.

Точность вычисления в ГИС велика, обычно она намного выше, чем точность самих данных. Более того, набор специальных методов и алгоритмов в ряде случаев позволяет повысить точность первичных измерений.

Точностные характеристики играют важную роль в ГИС. Например, они определяют возможность применения данных для построения карт или проведения каких-либо расчетов. Для каждого масштабного ряда существуют свои допуски.

### 6.3. ОРГАНИЗАЦИЯ ДАННЫХ В ГИС

Тематические данные хранятся в ГИС в виде таблиц, поэтому проблем с их хранением и организацией в базах данных не возникает.

Наибольшие проблемы представляет хранение и визуализация графических данных. Основой визуального представления данных при помощи ГИС-технологий служат специальные графические модели. Они подразделяются на векторные и растровые модели.

В общем случае модели пространственных (координатных) данных могут иметь векторное или растровое (ячейчатое) представление, содержать или не содержать топологические характеристики. Этот подход позволяет классифицировать модели по трем типам:

- растровая модель;
- векторная нетопологическая модель;
- векторная топологическая модель.

Все эти модели взаимно преобразуемы. Тем не менее, при получении каждой из них необходимо учитывать их особенности. В ГИС форме представления координатных данных соответствуют два основных подкласса моделей - векторные и растровые (ячейчатые или мозаичные). Возможен класс моделей, которые содержат характеристики, как векторов, так и мозаик. Они называются гибридными моделями.

### 6.3.1. Векторные модели

Векторные модели широко применяются в САПР. Они строятся на векторах, занимающих часть пространства в отличие от занимающих все пространство растровых моделей. Это определяет их основное преимущество - требование на порядки меньшей памяти для хранения и меньших затрат времени на обработку и представление, а главное более высокая точность позиционирования и представления данных.

При построении векторных моделей объекты создаются путем соединения точек прямыми линиями, дугами окружностей, полилиниями. Площадные объекты - ареалы задаются наборами линий.

Векторные модели используются преимущественно в транспортных, коммунальных, маркетинговых приложениях ГИС. Системы ГИС, работающие в основном с векторными моделями, получили название векторных ГИС.

В реальных ГИС имеют дело не с абстрактными линиями и точками, а с объектами, содержащими линии и ареалы, занимающими пространственное положение, а также со сложными взаимосвязями между ними. Поэтому полная векторная модель данных ГИС отображает пространственные данные как совокупность следующих основных частей:

- геометрические (метрические) объекты (точки, линии и полигоны);
- атрибуты - признаки, связанные с объектами;
- связи между объектами.

Векторные модели (объектов) используют в качестве элементарной модели последовательность координат, образующих линию.

Линией называют границу, сегмент, цепь или дугу. Основные типы координатных данных в классе векторных моделей определяются через базовый элемент линии следующим образом. Точка определяется как выродившаяся линия нулевой длины, линия - как линия конечной длины, а площадь представляется последовательностью связанных между собой отрезков.

Каждый участок линии может являться границей для двух арсалов либо двух пересечений (узлов). Отрезок общей границы между двумя пересечениями (узлами) имеет разные названия, которые являются синонимами в предметной области ГИС. Специалисты по теории графов предпочитают слову линия термин *ребро*, а для обозначения пересечения употребляют термин *вершина*. Национальным стандартом США официально санкционирован термин *цепь*. В некоторых системах (ArcInfo, GeoDraw) используется термин *дуга*.

В отличие от обычных векторов в геометрии дуги имеют свои атрибуты. Атрибуты дуг обозначают полигоны по обе стороны от них. По отношению к последовательному кодированию дуги эти полигоны именуются *левый* и *правый*. Понятие *дуги (цепи, ребра)* является фундаментальным для векторных ГИС.

Векторные модели получают разными способами. Один из наиболее распространенных - векторизация сканированных (растровых) изображений. Векторизация - процедура выделения векторных объектов с растрового изображения и получение их в векториом формате.

Для векторизации необходимо высокое качество (отчетливые линии и контуры) растровых образов. Чтобы обеспечить требуемую четкость линий иногда приходится заниматься улучшением качества изображения.



При векторизации возможны ошибки, исправление которых осуществляется в два этапа:

- 1) корректировка растрового изображения до его векторизации;
- 2) корректировка векторных объектов.

Векторные модели с помощью дискретных наборов данных отображают непрерывные объекты или явления. Следовательно, можно говорить о **векторной дискретизации**. При этом векторное представление позволяет отразить большую пространственную изменчивость для одних районов, чем для других, по сравнению с растровым представлением, что обусловлено более четким показом границ и их меньшей зависимостью от исходного образа (изображения), чем при растровом отображении. Это типично для социальных, экономических, демографических явлений, изменчивость которых в ряде районов более интенсивна.

Некоторые объекты являются векторными по определению, например границы соответствующего земельного участка, границы районов и т.д. Поэтому векторные модели обычно используют для сбора данных координатной геометрии (топографические записи), данных об административно-правовых границах и т.п.

**Особенности векторных моделей.** В векторных форматах набор данных определен объектами базы данных. Векторная модель может организовывать пространство в любой последовательности и дает "произвольный доступ" к данным.

В векторной форме легче осуществляются операции с линейными и точечными объектами, например, анализ сети - разработка маршрутов движения по сети дорог, замена условных обозначений.

В растровых форматах точечный объект должен занимать целую ячейку. Это создает ряд трудностей, связанных с соотношением размеров раstra и размера объекта.

Что касается точности векторных данных, то здесь можно говорить о преимуществе векторных моделей перед растровыми, так векторные данные могут кодироваться с любой мыслимой степенью точности, которая ограничивается лишь возможностями метода внутреннего представления координат. Обычно для представления векторных данных используется 8 или 16 десятичных знаков (одинарная или двойная точность).

Только некоторые классы данных, получаемых в процессе измерений, соответствуют точности векторных данных. Это данные, полученные точной съемкой (координатная геометрия); карты небольших участков, составленные по топографическим координатам и политические границы, определенные точной съемкой.

Не все природные явления имеют характерные четкие границы, которые можно представить в виде математически определенных линий. Это обусловлено динамикой явлений или способами сбора пространственной информации. Почвы, типы растительности, склоны, место обитания диких животных - все эти объекты не имеют четких границ.

Обычно линии на карте имеют толщину 0,4 мм и, как часто считается, отражают неопределенность положения объекта. В растровой системе эта неопределенность задается размером ячейки. Поэтому следует помнить, что в ГИС действительное представление о точности дают размер растровой ячейки и неопределенность положения векторного объекта, а не точность координат.

Для анализа связей в векторных моделях необходимо рассмотреть их топологические свойства, т.е. рассмотреть топологические модели, которые являются разновидностью векторных моделей данных.

### 6.3.2. Топологические характеристики пространственных объектов

Большое количество графических данных в ГИС со специфическими взаимными связями требует топологического описания объектов и групп

объектов, которое зависит от "связанности" (простой или сложной). Оно определяет совокупность топологических моделей.

Напомним, что топологические свойства фигур не изменяются при любых деформациях, производимых без разрывов или соединений. Например, топологически родственными фигурами являются: четырехугольник, замкнутый контур произвольной формы без петель, окружность, треугольник. Другим примером топологически родственных фигур могут служить арифметические знаки сложения "+" и умножения "x".

В геоинформационных системах применение термина *топологический* не такое строгое как в топологии. В ГИС топологическая модель определяется наличием и хранением совокупностей взаимосвязей, таких, как соединенность дуг на пересечениях, упорядоченный набор звеньев, взаимосвязи смежности между ареалами и т.п.

В ГИС термин *топологический* означает, что в модели объекта хранятся некоторые взаимосвязи, которые позволяют проведение дополнительного пространственного анализа, который, например, отсутствует в САПР.

Топологическими характеристиками графические модели ГИС существенно отличаются от моделей САПР. Соответственно это различие просматривается в программно-технологическом обеспечении этих систем.

Топологические модели позволяют представлять элементы моделей объектов в виде графов. Площади, линии и точки описываются границами и узлами (дуговая/узловая структура). Каждая граница идет от начального к конечному узлу и известно какие площади находятся слева и справа.

Теоретической основой моделей служат алгебраическая топология и теория графов. В соответствии с алгебраической топологией координатные типы данных: площади, линии и точки называются 2-ячейками, 1-ячейками и 0-ячейками соответственно. Карта рассматривается как ориентированный двумерный ячеечный комплекс.

Топологическое векторное представление данных отличается от нетопологического возможностью получения исчерпывающего списка взаимоотношений между связанными геометрическим примитивами без изменения хранимых координат пространственных объектов.

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

Топологические модели в ГИС задаются совокупностью следующих характеристик:

связанность векторов - контуры, дороги и прочие векторы должны храниться не как независимые наборы точек, а как взаимосвязанные друг с другом объекты;

связанность и примыкание районов - информация о взаимном расположении районов и об узлах пресечения районов;

пересечение - информация о типах пересечений позволяет воспроизводить мосты и дорожные пересечения. Так Т - образное пересечение ( 3 линии) является трехвалентным, а Х - образное ( 4 линии сходятся в точке пересечения) называют четырехвалентным;

близость - показатель пространственной близости линейных или ареальных объектов, оценивается числовым параметром, в данном случае символом  $\delta$ .

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

Узлы графа, описывающего картографическую модель, соответствуют пересечениям дорог, местам смыкания дорог с мостами и т.п. Ребра

такого графа описывают участки дорог и соединяющие их объекты. В отличие от классической сетевой модели в данной модели длина ребер может не нести информативной нагрузки.

Топологические характеристики арсальных объектов могут быть представлены с помощью графов покрытия и смежности. Граф покрытия топологически гомоморфен контурной карте соответствующих районов. Ребра такого графа описывают границы между районами, а его узлы (вершины) представляют точки смыкания районов. Степень вершины такого графа - это число районов, которые в ней смыкаются. Граф смежности это как бы вывернутый наизнанку граф покрытия. В нем районы отображаются узлами (вершинами), а пара смыкающихся районов - ребрами. На основе такого графа ГИС может выдать ответ на вопрос, является ли проходимой рассматриваемая территория, разделенная на проходимые или непроходимые участки.

Топологические характеристики сопровождаются позиционной и описательной информацией. Вершина графа покрытия может быть дополнена координатными точками, в которых смыкаются соответствующие районы, а ребрам приписывают левосторонние и правосторонние идентификаторы.

После введения точечных объектов при построении линейных и площадных объектов необходимо "создать" топологию. Эти процессы включают вычисление и кодирование связей между точками, линиями и ареалами.

Пересечения и связи имеют векторное представление. Топологические характеристики заносятся при кодировании данных в виде дополнительных атрибутов. Этот процесс осуществляется автоматически во многих ГИС в ходе дигитализации (картографических или фотограмметрических) данных.

Объекты связаны множеством отношений между собой. Это определяет эффективность применения реляционных моделей и баз данных, в основе которых используется понятие отношения. В свою очередь, отноше-

ния задают множества связей. Простейшие примеры таких связей : "ближайший к ...", "пересекает", "соединен с ...".

Каждому объекту можно присвоить признак, который представляет собой идентификатор ближайшего к нему объекта того же класса; таким образом кодируются связи между парами объектов.

### 6.3.3. Растровые модели

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

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

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

Векторные модели относятся к бинарным или квазибинарным. Растровые позволяют отображать полутона и цветовые оттенки.

Как правило, каждый элемент растра или каждая ячейка должны иметь лишь одно значение плотности или цвета. Это применимо не для всех случаев. Например, когда граница двух типов покрытий может проходить через центр элемента растра, элементу дается значение, характери-

зующее большую часть ячейки или ее центральную точку. Ряд систем позволяет иметь несколько значений для одного элемента раstra.

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

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

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

**Значение** - элемент информации, хранящийся в элементе раstra (пикселе). Поскольку при обработке применяют типизированные данные, то есть необходимость определить типы значений растровой модели.

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

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

**Ориентация** - угол между направлением на север и положением колонок раstra.

**Зона растровой модели** включает соседствующие друг с другом ячейки, имеющие одинаковое значение. Зоной могут быть отдельные объекты, природные явления, ареалы типов почв, элементы гидрографии и т.п.

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

**Буферная зона** - зона, границы которой удалены на известное расстояние от любого объекта на карте. Буферные зоны различной ширины могут быть созданы вокруг выбранных объектов на базе таблиц сопряженных характеристик.

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

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

Необходимо остановиться на вопросах точности отображения в растровых моделях. В растровых форматах в большинстве случаев неясно, относятся ли координаты к центральной точке пикселя или к одному из его углов. Поэтому точность привязки элемента растра определяют как  $1/2$  ширины и высоты ячейки.

Растровые модели имеют следующие достоинства:

- \*растр не требует предварительного знакомства с явлениями, данные собираются с равномерно расположенной сети точек, что позволяет в дальнейшем на основе статистических методов обработки получать объективные характеристики исследуемых объектов. Благодаря этому растровые модели могут использоваться для изучения новых явлений, о которых не накоплен материал. В силу простоты этот способ получил наибольшее распространение;



- растровые данные проще для обработки по параллельным алгоритмам и этим обеспечивают более высокое быстродействие по сравнению с векторными;

- некоторые задачи, например, создание буферной зоны, много проще решать в растровом виде;

- многие растровые модели позволяют вводить векторные данные, в то время как обратная процедура весьма затруднительна для векторных моделей;

- процессы растеризации много проще алгоритмически, чем процессы векторизации, которые зачастую требуют экспертных решений.

Наиболее часто растровые модели применяют при обработке аэрокосмических снимков для получения данных дистанционных исследований Земли.

#### 6.3.4. Послойная организация данных

Концепция послойного представления графической информации заимствована из систем CAD, однако в ГИС она получила качественно новое развитие. Следует напомнить, что во время отсутствия профессионально ориентированных инструментальных пакетов ГИС первые технологические комплексы ГИС создавались на базе пакетов САПР, например, на основе популярного пакета Автокад. Во всех пакетах САПР можно создавать достаточно большое число слоев и группировать данные в слои на основе любого принципа, выбранного пользователем.

Технологически организация слоев основана на типизации данных. Множество разнообразных данных имеет различные характеристики и в процессе визуальной обработки это множество может быть информационно перегружено. Для уменьшения информационной нагрузки на оператора гра-

фические данные типизируют и объединяют в слои. Таким образом, разбиение на слои упрощает процесс обработки и повышает ее качество.

В САПР объединение данных в слои осуществляется на тематической основе, но в САПР работа осуществляется с векторными слоями. В отличие от этого слои в ГИС могут быть как векторными, так и растровыми, причем векторные слои обязательно должны иметь одну из трех характеристик векторных данных. Т.е. векторный слой должен быть определен как точечный, линейный или полигональный — дополнительно к его тематической направленности.

Эта особенность определения слоев ГИС как точечный, линейный или полигональный имеет две причины. Первая связана с тем, что первые ГИС создавались и использовались как автоматизированные системы картографирования. А в картографии существуют три основных класса условных знаков: точечные, линейные и площадные. Следовательно, этот подход можно отнести к традиции картографического отображения информации.

Вторая причина заключается в использовании топологических свойств объекта для обработки. Программная реализация топологических преобразований возможна при классификации объектов по топологическим свойствам. А это как раз точечные, линейные (сетевые), площадные классы объектов. Использование топологических свойств позволяет осуществлять операции как внутри данного класса — оверлей, так и вне — буферизация.

Процедура оверлея [25, 29] заключается в наложении слоев одного топологического класса и получении нового слоя этого же класса.

Буферизация заключается в построении площадных объектов вокруг либо точечных, либо линейных, либо площадных.

Принадлежность объекта или части объекта к слою позволяет использовать и добавлять групповые свойства объектам данного слоя. А как известно из теории обработки данных, именно их групповая обработка

является основой повышения производительности автоматизированных систем.

Слои могут иметь как векторные, так и растровые форматы. Однако многие ГИС допускают возможность работы со слоями только векторного типа, а растр используется в качестве подложки.

Данные, размещенные на слоях, могут обрабатываться как в интерактивном режиме, так и в автоматическом.

С помощью системы фильтров или заданных параметров объекты, принадлежащие слою, могут быть одновременно масштабированы, перемещены, скопированы, записаны в базу данных. В других случаях (при установке других режимов) можно наложить запрет на редактирование объектов слоя, запретить их просмотр или сделать невидимыми.

Введение топологических свойств в графические данные ГИС позволяет решать задачи, которые методами программного обеспечения САПР не реализуются. Это, например, возможность наложения слоев для получения нового слоя, который не является простым результатом наложения, а содержит новые объекты, полученные на основе логических операций.

#### 6.4. ЦИФРОВЫЕ КАРТЫ И ЦИФРОВЫЕ МОДЕЛИ

Цифровая карта - двумерная визуальная модель карты или поверхности Земли, отображаемая с помощью средств компьютерной графики в заданной картографической проекции и обладающая возможностью (в отличие от обычной карты) изменения масштаба отображения и изменением визуально отображаемых деталей. Цифровая карта может быть представлена в бумажном виде с помощью средств компьютерной полиграфии.

Цифровая карта организована как совокупность слоев (покрытий, карт-подложек).

Многослойная организация цифровой карты при наличии механизма управления слоями позволяет объединить и отобразить не только большее

количество информации, чем на обычной карте, но существенно упростить анализ пространственных объектов.

Таким образом, разбиение на слои позволяет решать задачи типизации и разбиения данных на типы, повышать эффективность интерактивной обработки и групповой автоматизированной обработки, упрощать процесс хранения информации в базах данных, включать автоматизированные методы пространственного анализа на стадии сбора данных и при моделировании, упрощать решение экспертных задач.

Цифровая карта может быть трехмерной моделью, но как карта она должна отвечать требованиям предъявляемым к картам.

Цифровая карта наиболее удобна для простой визуальной обработки информации, так как по существу работает с двухмерными образами. Этот подход широко распространен на простых ГИС типа MapInfo, ArcView и т.п.

В отличие от цифровой карты цифровая модель представляет собой в общем случае трехмерную пространственную модель, не отягощенную специальными картографическими нагрузками и ограничениями. Цифровая модель может содержать и отображать криволинейное пространство, в то время как цифровая карта это модель, приводимая к определенной картографической проекции.

Цифровую модель можно рассматривать как некий пространственный каркас, который служит основой для решения ряда задач, включая и построение карт. Цифровая модель может в большей степени соответствовать реальной поверхности по сравнению с картой. Однако возможны случаи построения цифровых моделей в заданных картографических проекциях.

Цифровая модель имеет два основных вида.

Первый вид цифровой модели данных ГИС можно назвать картографическим. Он привязан к картографической проекции и представляет собой двух или трехмерную карту и также имеет базовый масштаб, базовую проекцию. В отличие от цифровой карты цифровая модель позволяет строить

трехмерные визуализации и перспективные виды. Такой тип цифровых моделей характерен для крупных и средних масштабов.

Другой вид цифровых моделей можно назвать пространственным. Он привязан только к референс-эллипсоиду или геоиду и строится в криволинейной системе координат. Пространственная цифровая модель, в случае привязки ее к картографической проекции, может служить средством для построения карты в выбранной проекции и масштабе. Пространственная цифровая модель по существу может отображать криволинейную форму поверхности Земли. Поэтому для визуализации этого типа цифровых моделей необходимы аналитические проекционные преобразования. Этот тип цифровых моделей характерен для мелких масштабов, особенно для данных, получаемых в космических исследованиях.

Хотя именно САПР использовались как первые ГИС они не в состоянии решать гисовские задачи.

САПР решает локальные задачи и работает с данными в декартовой системе координат. При протяженностях до 20 км эти решения корректны. Однако при расстояниях сотни и тысячи километров САПР не дает корректных решений.

Земная поверхность имеет форму неправильного эллипсоида, причем разные математические модели с разной степенью точности описывают ту или иную часть поверхности Земли. Как известно все карты содержат те или иные типы искажений, что естественно, при отображении криволинейной поверхности на плоскую поверхность.

Проблема сведения объектов на поверхности Земли в единую систему впервые решена только в ГИС. Для этого используется специальная теория математической картографии [5]. Это является качественным отличием ГИС от систем компьютерной графики и САПР.

Обработка трехмерных цифровых моделей требует значительных вычислительных ресурсов и аналитических средств, обеспечивающих широкий

набор проекционных преобразований. Такая обработка возможна с помощью многофункциональных инструментальных систем типа EgMaprec, ERDAS и др.

### 6.5. ГИС КАК ГЛОБАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА

ГИС содержит в своем составе базу данных и по этой причине может применяться и применяется как специализированная информационная система. Это дает основание при решении задач информационного хранения отнести ГИС к информационным системам (т.е. к системам АИС хранения информации), хотя по своему функциональному назначению как интегрированная система ГИС в большей степени может быть отнесена к классу систем обработки данных и управления (СОДУ).

Как информационная система современная ГИС рассчитана не просто на обработку данных, а на проведение во многих ситуациях экспертных оценок. Другими словами ГИС может включать в свой состав экспертную систему или экспертную технологию.

Эффективность ГИС как экспертной системы определяется возможностью набором средств электронного офиса, позволяющего осуществлять поддержку принятия решений.

Интеграция в ГИС как и в большинстве других систем строится на создании некой взаимосвязанной системы (данных и технологий) и применении системы стандартов "де-юре" или "де-факто" [27, 28].

В сравнении с другими интегрированными информационными системами ГИС обладает возможностью глобальной интеграции [44]. Она позволяет устанавливать взаимосвязи между "большими", "средними", "малыми" - объектами окружающего мира в любой последовательности, например в соотношении:

большой - большой;

большой - средний;

большой - малый;

средний - средний;

средний - малый;

малый - малый.

Этим идеология ГИС напоминает принцип взаимосвязи в Интернет.

Например, имея информацию о государстве (большое) можно выделить экономический регион (среднее), а в нем выделить населенный пункт (малое). С помощью ГИС можно таким образом связать информацию о фирме и ее филиалах.

Поскольку как информационная система ГИС хранит информацию и осуществляет информационное обслуживание на определенную территорию, это определяет классификацию ГИС по территориальному признаку. Такая классификация представляет собой иерархическую модель, вследствие чего целесообразно введение понятия **территориального уровня использования ГИС**.

В общем случае можно выделить следующие территориальные уровни использования ГИС: глобальный, континентальный, национальный, регионально-экономический, регионально-административный, муниципальный.

**Глобальный уровень** - Земной шар на глобальном фоне соответствует картам масштабов 1: 45 000 000 - 1: 100 000 000.

**Континентальный уровень** - отдельные континенты

**Национальный уровень** - отдельные страны.

Следует отметить, что Россия в силу особенностей ее расположения и размеров может быть представлена на всех уровнях: на глобальном и евразийском фоне масштаб 1: 45 000 000 - 1: 100 000 000 и на более мелких. Всероссийский (национальный) уровень - вся территория страны, включая прибрежные акватории и приграничные районы, масштаб 1: 2 500 000 - 1: 20 000 000.

**Регионально-экономический уровень** - крупные и природные экономические регионы, ареалы больших кризисных ситуаций (для России крупные экономические регионы) соответствует картам масштабов 1 : 500 000 - 1 : 4 000 000.

**Регионально-административный уровень** - области, районы, национальные парки, ареалы небольших кризисных ситуаций соответствует картам масштабов 1 : 50 000 - 1 000 000. (для России субъекты федерации).

**Муниципальный уровень** - города, городские районы, пригородные зоны соответствует картам масштабов 1 : 50 000 и крупнее.

Одним из важнейших свойств ГИС является возможность генерализации и детализации информации, что позволяет рассматривать явления и процессы окружающего мира в динамике, в частности, в разных масштабных рядах и связывать разномасштабные данные между собой, что проблематично для обычных специализированных информационных систем.

Генерализация обеспечивает обобщение информации при уменьшении масштаба изучаемой территории, а поэтапная детализация позволяет выделять необходимые подробности при укрупнении масштаба.

При этом технология обработки данных в таких поисковых системах достаточно проста настолько, что для широкого круга пользователей не требует углубленных знаний ни в геодезии, ни в картографии.

Это позволяет организовывать запросы как в обычной базе данных, но получать результаты запросов не только в табличном виде как в обычной базе данных, но и в визуальном виде - тематических карты и деловая графика. Для массового пользователя ГИС появились именно как системы поддержки принятия решений с использованием методов деловой и компьютерной графики.

При этом возможно использование не только карт, но и космических снимков, которые могут быть преобразованы в известную картографическую проекцию, что позволяет получать оперативно картографическую ин-



формацию для сравнения с существующей локализованной информацией или ее обновления.

Следует подчеркнуть, что как поисковая система ГИС позволяет использовать известные методы поиска как в базе данных, а как информационная система, хранящая графические данные, позволяет проводить поиск и запросы путем графической обработки данных.

Технологически проблема объединения разных объектов и их свойств, хранимых в ГИС, в единую систему решается на основе позиционирования, т.е. привязки объектов к их географическому положению. При этом характеристики или свойства объекта могут образовывать иерархическую или гипертекстовую структуру.

Следует отметить свойство глобализации информации хранимой в ГИС. Это означает, что ГИС разного уровня локализации могут обмениваться информацией на основе ее привязки к единой системе координат. При этом допустимо использование разных картографических проекций, поскольку аппарат ГИС позволяет преобразовывать эти проекции.

Таким образом, ГИС как целевая информационная система хранит информацию определенного уровня локализации, но за счет свойства глобализации она может получать информацию из ГИС более высокого или более низкого уровня.

Независимо от уровня использования ГИС результаты запросов могут быть представлены обобщенно на более высоком уровне или детализовано на более низком уровне. Такое свойство делает ГИС эффективным средством поиска и анализа хранимой в ней информации и несравнимой с другими информационными системами, рассчитанными на хранение и обработку табличных текстово-цифровых данных.

Особенностью ГИС является возможность хранения данных в двух качественно разных видах.

Первый основной вид хранения данных ГИС - цифровая карта. Он имеет все характеристики аналогичные обычной карте: математическую основу, базовый масштаб, базовую проекцию.

Второй вид цифровая модель. Она может иметь картографическую или пространственную формы.

Преимущество ГИС как информационной системы проявляется при изучении объектов и окружающей их среды, а также изучением объектов с разной степенью детализации.

Как правило, при изучении поведения объекта в некой среде для его описания используют большее число характеристик - пространство параметров размерности  $N_0$ .

При изучении среды используют меньшее число характеристик, меньшее пространство параметров  $N_s$ .  $N_s \ll N_0$ .

ГИС как информационная система за счет свойства глобализации и интеграции позволяет обрабатывать и связывать данные, имеющие разное пространство параметров. Это важно при мониторинге, многовариантном исследовании природных ресурсов, планировании, исследовании социально-экономических характеристик объектов и Среды и т.д.

Такая информация и форма ее обобщения является привлекательной и как средство поддержки принятия решений при управлении территориальными комплексами.

## 6.6. ВИЗУАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ В ГИС

Одним из противоречий большинства существующих информационных систем является противоречие между высокоскоростной обработкой данных в компьютерной среде и низкой пропускной способностью канала "человек - компьютер", особенно в режимах интерактивной обработки.

Для повышения производительности интерактивной обработки предлагают разные подходы. Одним из таких является метод визуальной обра-

ботки информации, основанный на выделении и обобщении необходимых данных и представлении их в визуальной форме.

Данные, представление в графическом виде позволяют выявлять отдельные явления на порядки быстрее, чем анализ табличной или текстовой информации.

Эффективность визуальной обработки информации выражается в том, что она позволяет подключить к активной работе по принятию решения резервы образного, ассоциативного мышления. Представление ситуации в виде образов обобщает информацию и позволяет принимать решение специалисту в данной предметной области.

Визуальная обработка информации [45] представляет собой комплекс технологий, основанных на:

- группировании и обобщении исходных данных и сопоставлении характеристик данных графических образов;

- применении методов компьютерной графики для обобщения, анализа и представления информации;

- применении объектно-ориентированного подхода для построения моделей графических и неграфических объектов;

- применении современных интеллектуальных или полунинтеллектуальных графических интерфейсов.

Можно сказать, что визуальная обработка основана на использовании развитых систем компьютерной графики, включающих в свой состав базы данных моделей (шаблонов - объектов) и базы данных процедур (методов обработки).

Примером такого подхода может служить визуальное программирование, которое допускает написание программ традиционным способом и дополнительно к этому позволяет оперативно создавать программные проекты без использования традиционного написания программ с созданием необходимого графического интерфейса.

Визуальная обработка на уровне пользователя упрощает процесс обработки данных и снижает уровень, требуемых при обычных методах обработки, специальных знаний в области программирования и предметной области. Визуальная обработка информации основана на использовании дополнительных графических интерфейсов, позволяющих обобщать данные в удобном для пользователя виде и избегать по мере возможности вопросов, требующих специальной подготовки в данной предметной области.

Эффект от технологии визуальной обработки информации во многом зависит от развитости используемых методов сбора информации, структурирования данных, построения сценариев и применяемых технологий. Большой объем достоверной информации о различных аспектах явления — признак устойчивости его динамики, залог эффективности принимаемых корпоративных решений. На ней можно построить надежную модель развития явления.

При малом количестве достоверной информации особого внимания заслуживают некоторые подобласти методов искусственного интеллекта.

ГИС как интегрированная информационная система включает в свой состав систему компьютерной графики и базы данных. По этой причине визуальная обработка информации в ГИС — естественное расширение возможности ее технологий. Именно это свойство делает привлекательными и доступными ГИС для широкого круга пользователей, от которых не требуется знаний ни в геодезии, ни в картографии.

Для массового пользователя ГИС появились именно как системы поддержки принятия решений, использующие визуальные методы деловой и компьютерной графики.

С этих позиций ГИС можно рассматривать как особый вид систем компьютерной графики. Как системы обработки компьютерной графики ГИС являются развитием САПР. Принципиальным является то, что ГИС по-

звоняет визуально представлять разные объекты и явления в единой системе поверхности Земли.

Возможность интегрированной визуальной обработки информации в ГИС позволяет дать ей еще одно определение.

Можно определить ГИС как автоматизированную интегрированную информационную систему, предназначенную для обработки пространственно-временной тематической информации, основой интеграции данных в которой является пространственная локализация, а основой интеграции технологий обработки - технологии визуальной обработки информации.

Основой визуальной обработки информации служат графические модели, хранимые в ГИС. Как уже отмечалось это цифровые карты и цифровые модели. Цифровая карта позволяет моделировать обычную карту средствами компьютерной графики. Цифровая модель больше соответствует реальному расположению точек местности.

Цифровая карта наиболее удобна для простой визуальной обработки информации, так как по существу работает с двухмерными образами. Работа с цифровой картой как с визуальным объектом требует меньших вычислительных ресурсов. Именно она применяется как средство поддержки принятия решений.

Цифровые модели применяются при проектировании и моделировании. Обработка трехмерных цифровых моделей требует значительных вычислительных ресурсов и аналитических средств, обеспечивающих широкий набор проекционных преобразований. Такая обработка требует более мощных вычислительных ресурсов, чем обработка цифровых карт.

Визуальная обработка информации позволяет пользователю, не рассматривая атрибутивные табличные данные, работать с графическими данными, что существенно повышает скорость обработки и анализа данных.

Например, классическая организация запросов в БД требует использования специальных языков SQL или QBE. ГИС обладает этими возможно-

стями как любая информационная система. Однако дополнительно к этому она позволяет организовывать запросы только на основе манипуляций с графическими данными и графическим интерфейсом.

При этом результат запроса может быть представлен как в табличном, так и в графическом виде.

Например, поиск объекта в заданной зоне. В обычной базе данных результатом поиска может быть таблица, совокупность таблиц, справка.

В ГИС результатом поиска является фрагмент территории с искомым объектом. Для данного объекта по мере необходимости могут быть выведены все атрибуты, хранимые в базе данных, а также выполнены расчеты, показывающие, например, его удаление от другого объекта.

Фрагмент территории может быть детализован для выявления подробностей или наоборот переведен в более мелкий масштаб и генерализован. При этом может быть получена визуальная совокупность детализованных фрагментов с общей генерализованной картиной в мелком масштабе.

Следует помнить, что визуальная обработка использует концепцию объектно-ориентированного подхода. Последний требует более глубокой проработки создания информационной системы, включая ГИС.

Применение визуальной обработки информации является эффективным методом использования интеллектуального потенциала, информационных потоков, телекоммуникаций, средств мультимедиа и геоинформационных технологий при управлении и поддержке принятия решений. Специалисты различных областей уже начинают осознавать важность данного компонента в системе управления и в следствии этого все большее внимание уделяют геоинформационным системам как системам управления и поддержки принятия решений.

## 7. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ В ГИС

ГИС обладает возможностью поддержки и принятия решений на основе информационных возможностей по моделированию и прогнозированию данными.

### 7.1. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО ЛОКАЛИЗОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ

Определим моделирование пространственно локализованных объектов как класс моделирования пространственно-временных данных, организованных так, что каждый графический объект взаимосвязан с одной или несколькими таблицами базы данных [31, 32].

Основу такого моделирования как специализированной ГИС-технологии составляют преобразования основанные на: теоретико-множественных отношениях, законах формальной логики, алгоритмах обработки изображений и многом другом, что является самостоятельным научным направлением, не связанным с географией.

Объектами моделирования являются пространственные графические объекты и объекты базы данных ГИС, "географичность" которых определяется их позиционной привязкой к точкам референс - эллипсоида (а не только к карте).

В ходе большинства процедур геоинформационного моделирования эта "географичность" не нарушается и не используется, т.е. не применяется и не влияет на процессы моделирования. Следовательно, говорить о "географическом моделировании" в таких случаях нет оснований.

Геоинформационное моделирование включает следующие специальные технологии:

**геогруппировку** - построение временной динамической графической модели путем объединения совокупностей графических объектов в более крупные объекты;

**буферизацию** - процедуру построения полигональных объектов по заданным арсальным, линейным и точечным - объектам и параметрам буферизации;

**генерализацию** - процедуру обобщения графических объектов и изменения их видимости при изменении масштаба и получения соответствующих новых атрибутивных данных;

**комбинирование** - процедуры композиции или декомпозиции графических объектов на основе отношений между ними;

**геокодирование** - процедуру координатной привязки данных одной таблицы к данным другой, позиционно определенной таблицы;

**обобщение данных** - процедуру создания атрибутов новых объектов на основе отношений атрибутов исходных объектов;

#### 7.1.1. Формализация процессов пространственного моделирования

При геоинформационном моделировании реальное явление упрощается и схематизируется и эта "схема" явления описывается с помощью специального аппарата. Этот процесс называется формализацией или формализованным описанием. Такое формализованное описание представляет исследуемые элементы явлений и их взаимосвязи.

При моделировании необходимо выделять объект или объекты моделирования среди множества других, не участвующих в процессе моделирования. Эта процедура по аналогии со всеми существующими графическими редакторами называется активизацией объекта.

Будем обозначать активизированный объект символом  $A$ , прочие объекты символом  $O$ .



При геоинформационном моделировании могут использовать специальный объект  $S$ , который применяют в качестве шаблона (маски).

Объект вновь создаваемый или модифицируемый из изменяемого объекта обозначим символом  $M$ .

В рамках такой модели обобщенная процедура геоинформационного моделирования описывается на основе отношений между  $A$  и  $S$ .

$$A \times S \rightarrow M$$

Здесь  $\times$  - символ отношения,  $\rightarrow$  импликация

В ГИС имеются три типа графических векторных объектов: точечные ( $Pt$ ), линейные ( $Ln$ ) и площадные ( $Ar$ ). Изменяемый объект  $A$  и  $S$  шаблон должны принадлежать к одному типу.

Условимся обозначать совокупность атрибутов произвольного объекта  $O$  символом  $At(O)$ , совокупность топологических данных символом  $Pos(O)$ .

### 7.1.2. Комбинирование пространственных объектов

При таком виде моделирования осуществляют операции с графическими объектами.

Активизированный объект  $A$  называют также изменяемым объектом, подчеркивая этим саму возможность его модификации и взаимодействия с другими подобными объектами, а не то, что этот объект надо в обязательном порядке изменять.

**Объединение объектов.** Наиболее распространенной процедурой комбинирования объектов является их объединение. Эту процедуру удобно использовать, когда один из объектов является определяющим, например, материковую часть государства и острова, относящиеся к нему, в одну территорию.

$$A1 \cup A2 \cup A3 \cup \dots \cup Ak \rightarrow M$$

$k$  - число исходных объектов, участвующих в объединении.

В результате такого вида моделирования создается новый объект и вычисляются соответствующие ему данные.

*Выделение нескольких объектов из одного.* Процедуры выделения объектов позволяют разбить изменяемый объект на более мелкие объекты, используя некоторый шаблон. Например, с их помощью можно разбить большую территорию на составляющие части.

$$A \cap S1 \rightarrow M1; A \cap S2 \rightarrow M2; \dots A \cap Sn \rightarrow Mn$$

*Удаление фрагментов объектов путем комбинирования.* Удалить фрагмента изменяемого объекта осуществляют также как операцию моделирования с несколькими объектами. Удалить часть изменяемого объекта можно путем наложения на него объекта-шаблона.

$$A - A \cap S \rightarrow M$$

Другой путь - удаление фрагмента изменяемого объекта, который не совпадает с объектом-шаблоном.

$$A \cap S \rightarrow M$$

Например, чтобы удалить из объекта, обозначающего границы административной единицы, территорию некоторого озера, надо создать озеро как шаблон и с помощью команд ГИС удалить фрагмент административной единицы, налегающий на озеро.

*Добавление узлов путем комбинирования объектов.* Процедура моделирования "Добавления узлов" позволяет создать новые точки в полилинии с сохранением топологии или с ее изменением, если добавляемый узел соединяет линейный объект с другим.

В отличие от обычной процедуры графического редактирования, добавление узлов в как процедура геоинформационного моделирования основана на взаимодействии не менее двух линейных объектов. Само добавление узлов осуществляется автоматически, как результат суперпозиции графических объектов, а не с помощью указаний оператора как в технологиях компьютерной графики.

$$\exists (A1, A2) : Pos(A1) \wedge Pos(A2) \rightarrow Pos(M)$$

Подобная процедура нужна, например, при внесении на карту новой улицы, соприкасающейся с уже существующими улицами. Она позволяет точно задать места пересечения улиц в виде узлов.

### 7.1.3. Преобразование атрибутов комбинируемых объектов

При создании нового объекта необходимо определить его атрибуты, т.е. сопоставить ему таблицу с данными. Объект может создаваться как путем укрупнения, так и на основе разбиения более крупного.

При объединении (композиции) более мелких, имеющих табличные данные, необходимо задать правила вычисления атрибутов аналогичных данных для создаваемого нового объекта. Такие процедуры геоинформационного моделирования называют обобщением данных исходных объектов.

В процессе обобщения вычисляются данные для создающегося объекта в зависимости от заданного метода отношения атрибутов. Большинство ГИС-технологий содержит следующие методы обобщения данных при объединении объектов:

сумма - значения атрибутов, соответствующих исходным объектам, складываются, и сумма присваивается новому объекту

$$A_i(M) = \sum A_i(A_i) \quad i=1, \dots, k$$

k - число исходных объектов.

среднее - вычисляется среднее значение атрибутов исходных объектов и присваивается атрибуту нового объекта.

$$A_i(M) = \sum A_i(A_i) / k \quad i=1, \dots, k$$

взвешенное среднее - разные значения для исходных объектов умножаются на различные коэффициенты (веса) p. Веса можно брать из любого числового поля таблицы или вычислять по значению характеристики пространственного объекта (например, использовать его площадь или периметр, которые могут отсутствовать в таблице.)

$$At(M) = \sum_{j=1}^k At(A_j) / k \quad j=1, \dots, k$$

значение - атрибуту нового объекта присваивается указанное значение

Z

$$At(M) = Z$$

без изменений - атрибуту нового объекта присваивается значение, соответствовавшее исходному объекту.

$$At(M) = At(A)$$

При декомпозиции пространственных объектов используют следующие методы преобразования атрибутов:

**пусто** - удаляет значение, которое соответствовало изменяемому объекту.

**значение** - сохраняет значение, которое соответствовало изменяемому объекту.

**пропорционально размеру** - вычитает из значения (которое соответствовало изменяемому объекту) долю, пропорциональную размеру вырезанного фрагмента.

Рассмотренные процедуры легко реализуются в системах баз данных, электронных таблицах, пакетах статистической обработки в виде стандартных функций.

#### 7.1.4. Моделирование с использованием геогрупп

Технология моделирования, называемая геогруппировкой, основана на известном во многих пакетах компьютерной графики процессе группировки (объединения с сохранением связей) графических объектов. Отличие заключается в некоторых дополнительных возможностях, которые геогруппировка дает пользователю.

Во-первых, это возможность получения на основе объединения не одного, а нескольких графических объектов. Эта часть моделирования по большому счету не имеет никакого отношения ни к географической инфор-

мации, ни к термину "гео" и является простым расширением технологии группировки графических объектов в компьютерной графике.

*Во-вторых*, процесс геогруппировки наряду с объединением графических объектов сопровождается объединением их атрибутов, хранящихся в базе данных, связанной с графическими объектами.

Общий класс моделирования, частным случаем которого является геогруппирование, определяется как процесс построения визуальных динамических моделей совокупностей графических объектов с объединением их характеристик, хранящихся в связанной с графическими объектами базе данных.

Целью геогруппировки является построение новых графических объектов, называемых геогруппами.

Процесс построения геогрупп состоит в объединении пространственных объектов в группы в соответствии с заданными признаками.

Таким образом, данный вид моделирования создает условную (тематическую) карту методом индивидуальных значений, в которой тематической переменной является территория нового сгруппированного объекта. Особенностью такой тематической карты является ее временный характер. Ее необходимо анализировать и в случае необходимости зафиксировать с помощью специальных процедур. Можно сформулировать следующий вывод:

Технология моделирования, основанная на построении геогрупп, представляет собой процесс построения динамической модели графических данных и их атрибутов как средства анализа и поддержки принятия решений.

### 7.1.5. Построение новых графических объектов на основе слияния атрибутивных данных

Атрибутивные данные хранятся в табличной форме в базе данных ГИС. Поэтому построение новых объектов на основе слияния их атрибутов использует возможности интерфейса ГИС по работе с табличной информацией, в частности на использовании команд типа "Слияние в таблице". Формализованная данная процедура может быть описана секвенцией вида

$$A(A_1), \dots, A(A_n) \Rightarrow A_1, \dots, A_n$$

с отношением вида

$$A_1 \cup A_2 \cup A_1 \cup A_k \rightarrow M$$

Процедуры слияния атрибутивных данных в таблице позволяют создавать новые графические объекты путем объединения существующих объектов подобно процессу геогруппировки. Атрибутивные данные нового объекта, полученного таким способом, вычисляются на основе процедур обобщения. Отличие данной процедуры от геогруппировки технологическое. В данном случае соединение объектов происходит по табличным данным без использования графических объектов.

В процедуре геогруппировки соединение происходит по графическим объектам без привлечения табличных данных. В обоих случаях создается временная модель, которая может быть зафиксирована при необходимости.

### 7.1.6. Построение буферных зон для пространственных объектов

Буфером или буферной зоной называют область, которая охватывает все объекты, расположенные не далее заданного расстояния от некоторого линейного объекта, области, символа или иного объекта в окне. Процесс буферизации означает построение цифровой модели некоего явления с помощью процедур геоинформационного моделирования. При буферизации на основе объектов одного типа создаются объекты другого типа. Так линей-

ный или точечный объекты служат основой для создания площадных объектов.

Вид буфера определяется его радиусом и формой объекта, вокруг которого строится буфер, и способом построения буфера. Радиус буфера задается либо в виде константы, либо в виде колонки таблицы, либо в виде выражения, создаваемого на основе атрибутов таблицы.

Для графического представления буфера в некоторых ГИС необходимо указать гладкость (число сегментов для буферной окружности).

Применение значений табличных данных для построения буферной зоны относится к случаю геоинформационного моделирования, использующему построение новых графических объектов на основе обработки неграфических (табличных данных).

Радиус буферной зоны может задаваться в виде значений из столбца таблицы базы данных ГИС. Например, чтобы создать вокруг городов буферные зоны, которые отражали бы численность их населения, можно выбирать значения радиуса буфера из колонки "Население". Такой прием может применяться как дополнительная возможность тематического картографирования.

Можно создавать единый буфер вокруг всех выбранных объектов или отдельные буферные зоны вокруг каждого объекта.

### 7.1.7. Геокодирование

Напомним, что процессом позиционирования называют пространственную привязку данных ГИС к точкам земной поверхности или, как частный случай, к системе координат карты, если она определяет математическую основу цифровых моделей ГИС. Позиционирование табличных данных позволяет использовать атрибуты объекта для визуального отображения его свойств, например для тематического картографирования, и проведения пространственного анализа.

Для отображения на электронной карте данных, хранящихся в базе данных ГИС, необходимо их позиционировать, т.е. сопоставить каждой записи таблицы координаты X и Y.

При этом одни таблицы уже могут иметь позиционированные данные, другие, особенно получаемые в процессе работы, могут быть не позиционированы.

Технологии ГИС позволяют присвоить координаты X и Y записям некоторой таблицы на основании сравнения информации из нее с информацией из таблицы, для которой каждой записи таблицы уже сопоставлены координаты X и Y. Такую таблицу называют таблицей поиска.

Геокодированием называется процесс моделирования, заключающийся в сопоставлении каждой записи (строке) таблице поиска координат на основе сравнения ее данных с исходной таблицей.

$$A_i(S) \wedge A_i(A) \rightarrow A_i(A_{pos}) = A_i(S_{pos})$$

Здесь  $\rightarrow$  — импликация,  $A_i(S_{pos})$  — атрибут исходной таблицы, отвечающий за позиционирование.

В результате геокодирования таблица поиска становится позиционированной, т.е. ее данные получают пространственную привязку.

Поскольку сравнение данных таблиц можно проводить разными путями, существуют разные способы геокодирования.

При геокодировании по полному адресу сравниваются адреса в кодируемой таблице с информацией об улицах и адресах в таблице специального формата, которая поставляется как дополнительное приложение к конкретной ГИС.

При геокодировании таблицы по областям (площадным объектам) сравнивают название области в записи из кодируемой таблицы с названиями областей в таблице поиска. В этом случае запись таблицы присваивает координаты X и Y центра соответствующей области из таблицы поиска.



**Центроид области** — это примерная точка центра области (координаты центра описанного вокруг области прямоугольника).

Существует грубое геокодирование. Оно заключается не в точном определении местоположения объекта (например, адреса), а в указании района его расположения. Для этого достаточно использовать в качестве таблицы поиска файл, содержащий координаты центроидов районов.

По этой причине в ГИС предусмотрен режим ручного геокодирования. Во многих методах геокодирования могут возникнуть ситуации, в которых нельзя добиться полного совпадения.

Результаты геокодирования могут быть записаны в поле, в виде числа, показывающего, какие действия по сравнению были произведены или почему поиск не удался. С помощью кода результата можно находить разные типы необработанных записей.

Процесс геокодирования позволяет организовать поиск местоположения объекта на графическом изображении карты по заданным атрибутам. Найденный объект отмечается символом, определенным заранее в системных параметрах ГИС.

## 7.2. МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Одним из основных методов решения задач научного обоснования освоения природной среды, объектов производства и эффективности инвестиций является научное прогнозирование, основанное на всестороннем комплексном исследовании разнообразных данных. В исследовании должны учитываться не только данные о самой природной среде, но и другие, отражающие факторы социальной сферы, трудовых, материальных и финансовых ресурсов, требования рационального природопользования и т. п.

Комплексное исследование окружающей среды в настоящее время эффективно на основе применения ГИС-технологий и геоинформационных

систем. В основе исследования заложен анализ природной и социальной среды как совокупности геоинформационных объектов. Такой подход приводит к появлению новой технологии прогнозирования - геоинформационного прогнозирования [37, 41].

**Геоинформационное прогнозирование** представляет собой набор методов получения и анализа информации об окружающей среде и разработки прогнозных оценок для поддержки принятия решений.

Целью геоинформационного прогнозирования является снижение уровня неопределенности при принятии решений.

Геоинформационное прогнозирование решает две основные задачи: оценка тех или иных геоинформационных параметров для данного момента времени и получение прогнозных оценок на перспективу.

Оценка текущих параметров применяется для оперативного анализа существующей ситуации. Прогнозные оценки используют при оценке альтернатив принимаемых решений или при изучении явлений и их будущих последствий.

Геоинформационное прогнозирование как технология интегрирует статистические методы прогнозирования, методы деловой графики, методы геоинформационного моделирования [31, 32] и цифрового моделирования [29, 30, 46].

При геоинформационном прогнозировании можно выделить три качественных этапа обработки информации:

1. Сбор, группировка, обобщение и унификация первичных данных;
2. Анализ, моделирование вторичных (унифицированных) данных;
3. Получение прогнозных оценок и их верификация.

### 7.2.1. Сбор, группировка, обобщение и унификация первичных данных

Ключевым аспектом решения задач прогнозирования является выявление специфических типов информации, необходимой при решении проблем управления или исследования природных явлений.

Исходя из этого цели сбора данных могут быть следующими:

1. Разведочная - направлена на сбор предварительной информации, предназначенной для определения проблем, проверки гипотез и выбора моделей.
2. Описательная (дескриптивная), - направлена на получение описательных характеристик тех или иных аспектов геоинформационной среды, например социальной ситуации.
3. Казуальная - направлена на выявление и определение причинно-следственных связей и обоснование гипотез.

На практике при проведении сбора геоинформационных данных используется не один, а все типы исследований, причем в любой последовательности.

Первый класс методов [37] сбора составляют дистанционные методы сбора информации.

Другой, дополняющий первый класс методов, образуют методы статистической обработки данных.

При решении задач геоинформационного прогнозирования вся используемая информация подразделяется на два класса: первичная и вторичная.

Первичные (разнородные) данные получают в результате сбора информации об объектах местности разными технологиями: статистические методы сбора экономической и социальной информации, фотограмметрические методы, полевые методы, картометрические методы, использование GPS, данные дистанционного зондирования и т.д.

Под вторичными (унифицированными) данными понимают данные, полученные в результате обработки первичных, а также данные собранные ранее для других целей.

### 7.2.2. Анализ, моделирование вторичных данных

На этом этапе при анализе осуществляется: выбор объектов прогноза; исследование фона (среды); классификация событий; формирование задачи и генеральной цели прогноза;

Анализ унифицированных данных включает предварительное обобщение и группировку данных, построение моделей объекта прогнозирования.

Выделяют, по крайней мере, следующие четыре функции преобразования данных: обобщение, определение концепции (концептуализация), перевод результатов статистического анализа на понятный для пользователя язык (коммуникация), определение степени соответствия полученных результатов всей совокупности (экстраполяция).

На основе этих данных, после их унификации, создают модели объектов прогнозирования, которые определяются совокупностью цифровых моделей: цифровые модели местности (ЦММ), цифровые модели объектов (ЦМО), цифровые модели явлений (ЦМЯ).

Особенность решения задач прогнозирования является необходимость исследования взаимодействия объекта прогнозирования с внешней средой. Это требует дополнительного построения модели внешней среды.

При наличии моделей объекта прогнозирования и данных об окружающей его среде проводится дальнейший анализ и обобщение. На этой стадии необходимо, исходя из задачи прогнозирования, выделить и определить следующие понятия.

**Объект прогнозирования** - совокупность качественных и количественных признаков, отражающих свойства объекта прогнозирования в контексте задачи прогнозирования.

**Значащие переменные объекта прогнозирования** - переменные или показатели, оказывающие существенное влияние на результаты прогноза, в отличие от прочих, не оказывающих заметного влияния на прогноз.

**Эндогенные переменные объекта прогнозирования** - значащие переменные, отражающие, главным образом, собственные свойства объекта прогнозирования.

**Экзогенные переменные объекта прогнозирования** - значащие переменные, отражающие, главным образом, собственные свойства среды (прогнозного фона).

### 7.2.3. Получение прогнозных оценок

При проведении прогнозирования может создаваться прогнозная модель - модель, исследование и использование которой позволяет получить информацию о возможных состояниях объекта в будущем и (или) путях и сроках осуществления этих состояний.

Методы прогнозирования, как и все методы, используемые при проведении геоинформационных исследований, можно подразделить на эвристические, при применении которых преобладают субъективные начала, и на логико-математические, при применении которых преобладают объективные начала.

**Эвристические методы** прогнозирования предполагают, что подходы, используемые для формирования прогноза, не изложены в явной форме и неотделимы от лица, делающего прогноз, при разработке которого доминируют интуиция, опыт, творчество и воображение. К данной категории методов относятся методы социологических исследований, экспертные методы и

методы прогнозирования по аналогам (метод прецедентов). Особенностью этих методов является их зависимость от лица, делающего прогноз.

**Логико-математические методы** прогнозирования основаны на построении формализованных логико-математических моделей. Это позволяет осуществлять обработку данных и получение прогноза на основе алгоритмов без участия субъекта. Особенностью этих методов является их независимость от лица, делающего прогноз. Они могут быть воспроизведены другими лицами, которые неизбежно приведут к получению такого же или близкого прогноза.

К данной группе относятся методы прогнозирования по аналогам (метод моделей), функционально-логическое прогнозирование, структурное прогнозирование, параметрическое прогнозирование, комплексное прогнозирование.

**Геоинформационные данные** носят временной характер. В том случае, когда прогноз необходим на определенный период времени в будущем, в качестве исходных данных используют временные ряды или временные модели.

В этих случаях прогноз основывается на ретроспективном анализе данных и определении следующих характеристик.

**Прогнозная ретроспектива** - процедура моделирования "назад" на некий временной период прогнозирования, на котором исследуется объект прогнозирования и прогнозный фон (среда) с целью получения их систематизированного описания.

**Период упреждения прогноза** - промежуток времени, на который разрабатывается прогноз.

**Период основания прогноза** - промежуток времени, на базе которого строится ретроспектива.

**Прогнозный горизонт** - максимально возможный период упреждения прогноза заданной точности и достоверности.

Геоинформационное прогнозирование включает три типа задач, определяющих его особенности и отличие от других видов прогнозирования, например маркетингового.

Первый тип задач связан с обработкой статистических данных и перенос результатов обработки на карту. Он основан на широко применяемых известных методах математической статистики и теории вероятностей и тематическом картографировании.

Второй тип задач геоинформационного прогнозирования связан с анализом изображений, например автоматизированной классификации объектов космического снимка с целью выявления определенных объектов по заданному набору классов или их образов.

Третий вид задач геоинформационного прогнозирования связан с необходимостью анализа и обработки последовательностей пространственных объектов:

- последовательность фотоснимков, отображающих изменение объекта или явления с течением времени;

- последовательность топографических или тематических карт, отображающих изменение процесса или явления с течением времени;

- совокупность картографических данных и материалов космической съемки, содержащей появление новых объектов и явлений;

Результатом геоинформационного прогнозирования являются не только статистические данные (обычный прогноз), но и тематические карты, цифровые модели динамики явлений, трехмерные модели объектов, векторные изображения полей или динамики явлений.

Все эти данные получаются на основе различных логико-математических методов прогнозирования.

Можно выделить несколько групп математических методов, используемых при проведении геоинформационного прогнозирования:

# 1. Статистические методы обработки информации.

2. Многомерные методы (в первую очередь факторный и кластерный анализы). Они используются для обоснования решений, в основе которых лежат многочисленные взаимосвязанные переменные.

3. Регрессионные и корреляционные методы. Они используются для установления взаимосвязей между группами переменных, описывающих маркетинговую деятельность.

4. Имитационные методы. Они применяются тогда, когда переменные, влияющие на реальную ситуацию (например, описывающие динамику), не поддаются определению с помощью аналитических методов.

5. Методы статистической теории принятия решений. Используются для стохастического описания ситуации.

6. Детерминированные методы исследования операций (в первую очередь линейное и нелинейное программирование). Эти методы применяют тогда, когда надо найти оптимальное решение.

Выделяют пять основных видов статистического анализа, используемых при проведении таких исследований: дескриптивный анализ; выводной анализ; анализ различий; анализ связей; предсказательный анализ.

Анализ, в основе которого лежит использование статистических процедур (например, проверка гипотез) с целью обобщения полученных результатов на всю совокупность, называется выводным анализом.

Анализ различий используется при сравнении результатов исследования двух групп объектов для определения степени отличия в их поведении.

Анализ связей направлен на определение систематических связей между объектами и средой.

Предсказательный анализ используют при прогнозировании развития событий в будущем.

Можно выделить два способа разработки параметрических прогнозов: экстраполяцию и моделирование.



В первом случае в качестве базы прогнозирования используется прошлый опыт, который пролонгируется на будущее. Во втором случае строится прогнозная модель, характеризующая зависимость изучаемого параметра от ряда факторов, на него влияющих. Она связывает условия, которые, как ожидается, будут иметь место, и характер их влияния на изучаемый параметр.

Каждый из методов прогнозирования обладает определенными достоинствами и недостатками.

**Эвристическое прогнозирование** включает экспертное и прогнозирование по аналогии.

**Экспертному прогнозированию**, которое поддерживается в геоинформатике не только статистикой, но и набором карт или визуальных моделей предшествуют математические методы прогнозирования. Следует отметить, что экспертному методу присущи значительные погрешности, а интуиция и опыт эксперта должны в возможно большей степени проверяться с помощью доступных фактов и знаний.

**Прогнозирование по аналогии** (метод пределентов) корректно только тогда, когда установлена, доказана аналогия между объектами управления и аналогами. Этот метод нельзя использовать при прогнозировании явлений, не имеющих аналогов.

Примером прогнозирования по аналогии (метод моделей) могут служить методы распознавания образов.

Методы распознавания образов широко используют в геоинформационных технологиях при обработке фотограмметрической информации и данных дистанционного зондирования Земли. Существует несколько типов задач распознавания образов, важнейшими из которых являются три их типа:

- обучение распознаванию образов;
- задача минимизации описания объекта;

задача таксономии.

В первой задаче по некоторому набору признаков с помощью выбранного решающего правила определяют принадлежность объектов к определенному классу. При этом используют некоторое количество эталонных объектов, образующих так называемые обучающие выборки или библиотеки эталонов (сигнатуры), для которых указываются классы, содержащие эти объекты.

При анализе признаков, для каждого объекта вырабатываются критерии, называемые решающими правилами, которые позволяют определить принадлежность каждого нового объекта тому или иному классу с ошибкой, не превышающей заранее заданную.

Таким образом, при наличии обучающей выборки строится такое решающее правило, которое позволяет реализовать прогноз о принадлежности объектов определенным классам или определенным интервалам значений своих параметров при появлении новой информации об этих объектах.

При решении второй задачи из совокупности признаков, характеризующих каждый рассматриваемый объект, выбирают наиболее информативные. Она формулируется следующим образом: необходимо построить такое пространство признаков, чтобы размерность его была меньше размерности параметров исходных данных, а информативность (относительно анализируемого объекта) не изменилось.

Третья задача заключается в том, чтобы из некоторого множества объектов выделить с помощью заданного правила классы однородных одинаковых объектов.

#### 7.2.4. Верификация прогноза и выбор метода прогнозирования

Получение прогнозных оценок должно быть подвергнуто верификации для их надежности.

Цель верификации прогноза - оценка его функциональной полноты, точности и достоверности.

Применяют разные виды верификации.

Прямая верификация прогноза - верификация путем разработки того же прогноза другим методом.

Косвенная верификация прогноза - верификация путем сопоставления его с прогнозом или данными полученными из других источников.

Инверсная верификация - верификация прогноза путем проверки адекватности прогностической модели в ретроспективном периоде.

Консеквентная верификация - верификация путем аналитического или логического вывода прогноза из ранее полученных прогнозов.

Верификация оппонентом - верификация путем опровержения критических замечаний оппонента по прогнозу.

Верификация экспертом - верификация сравнением прогноза с мнением эксперта.

После выполнения и верификации прогноза необходимо оценить его качество. Для этой цели используют следующие показатели:

Полнота прогноза - доля вариантов прогноза из множества возможных и(или) доля функций объекта прогнозирования, рассмотренных в процессе прогнозирования.

Точность прогноза - оценка доверительного интервала прогноза для заданной доверительной вероятности.

Достоверность прогноза - оценка доверительной вероятности осуществления прогноза для заданной точности (доверительного интервала).

Ошибки прогноза - апостериорная величина отклонения прогноза от действительного состояния объекта.

Источник ошибки прогноза - фактор, могущий привести к появлению ошибки прогноза.

При выборе метода прогнозирования следует учесть для какого типа управления предполагается использовать прогноз. Это объясняется тем, что различные типы управления предъявляют различные требования к виду результатов и точности прогнозирования.

Текущее управление. При таком управлении предполагается, что последствия управляющего воздействия будут аналогичны ранее наблюдавшимся при управлении другими объектами. В таких случаях используют прогнозирование по аналогии (прецедент или модель).

Системное управление предполагает необходимость анализа множества элементов объекта и среды, а также связей между ними. При таком типе управления чаще всего используют экспертное, функционально-логическое, структурное прогнозирование.

Ситуационное управление предполагает необходимость в прогнозе последствий принимаемых решений. Результат такого прогноза может носить качественный (хуже, лучше или предпочтительно, недопустимо и т.д.) или количественный характер. Поэтому такой тип управления чаще должен использовать экспертное, функционально-логическое, структурное или математическое прогнозирование.

## 8. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОСНОВА КАРТ ГИС

Математическая основа является одним из фундаментальных понятий геоинформатики и ГИС.

Наличие математической основы карт ГИС является принципиальным отличием ГИС от САПР и других информационных систем.

Именно математическая основа (МО) дает возможность интеграции различных данных, как на глобальном (общеземном), так и на других уровнях.

Технологически МО является теоретической базой построения цифровых моделей и базовых карт геоинформационных систем (ГИС), обеспечивает взаимоднозначное и топологическое соответствие пространственных объектов и явлений природы и общества и их изображения на картах.

Её разработка, выбор и использование зависит от принятой в данной стране геодезических систем координат и высот, общей теории картографических проекций, теории классов и отдельных вариантов проекции, а также других её элементов — главных масштабов, компоновок и разграфок карт.

При создании карт ГИС необходимо, чтобы исходные картографические материалы были приведены в геодезическую систему координат и картографическую проекцию базовой карты, принятые для карт данной ГИС, ее математическая основа обеспечивала бы оптимальные условия решения задач ГИС по картам.

Кратко рассмотрим её основные положения.

### 8.1. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ И ВЫСОТ

Физическая поверхность Земли, как и других небесных тел, имеет сложную форму. Её изучение является первоосновой для многих наук, в том числе математической картографии.

При этом используется понятие о поверхности геоида, которое ввел в 1873 году немецкий физик Листинг. В настоящее время под поверхностью

геоида понимают уровенную поверхность, проходящую через точку начала отсчета высот.

Уровенной поверхностью называется поверхность, ортогональная к отвесным линиям, по которым в каждой точке поверхности данного небесного тела направлен вектор силы тяжести. Строгое определение геоида связано со знанием строения земной коры.

М. С. Молоденский предложил вместо геоида определять поверхность квазигеоида, которую можно строго определить без привлечения различных гипотез о строении земной коры и которая совпадает с поверхностью геоида на морях и океанах и отступает от неё до 2 метров на континентальной части Земли.

В геодезии измерения, выполненные на физической поверхности, переносят на математическую, наиболее близкую к физической, которая может быть описана соответствующими уравнениями. В этой связи изучают и используют общеземной эллипсоид и референц-эллипсоиды.

Эллипсоид вращения, плоскость экватора и центр которого совпадает с плоскостью экватора и центром масс Земли и наилучшим образом аппроксимирует поверхность геоида (квазигеоида) в планетарном масштабе, называется общеземным эллипсоидом.

Эллипсоид, на поверхность которого отображаются материалы астрономо-геодезических работ и топографических съемок, и который наиболее полно соответствует поверхности геоида на соответствующие территории Земли, называется референц-эллипсоидом. Эти поверхности называются так же поверхностями относимости. В разных странах приняты свои референц-эллипсоиды, различающиеся своими параметрами.

В математической картографии, чтобы отобразить на плоскости физическую поверхность Земли и других реальных поверхностей, необходимо от этих поверхностей перейти к математическим. В качестве таких поверхно-

стей принимают поверхности шара, эллипсоида вращения, и в отдельных случаях — трехосного эллипсоида.

К элементам геодезической основы относят опорные пункты, определённые в системе геодезических координат, принятой в данном государстве, и координатные сетки, связанные с этими опорными пунктами.

Геодезические системы координат включают:

- параметры референц-эллипсоида (величина большой полуоси  $a$  или малой  $b$ , сжатие  $\alpha$  или эксцентриситет  $e$ );
- высоту геоида над референц-эллипсоидом в начальном пункте;
- исходные геодезические даты (геодезические широта и долгота начального пункта, азимут на ориентирный пункт).

В работах по геодезии, топографии и картографии, выполняемых в России, используется эллипсоид Красовского ( $a=6378245\text{ м}$ ;  $\alpha=1/298.3$ ), начальный пункт Пулково; превышение геоида над референц-эллипсоидом в начальном пункте равно нулю.

Принята Балтийская система высот. Счёт высот в этой системе ведётся от нуля Кронштадтского футштока. В процессе выполнения картосоставительских работ определяют геодезическую систему координат и систему высот, которые были приняты при создании исходного картографического материала. Это выявляется по формулярам листов карт или по литературно-описательным источникам.

В случаях когда геодезическая основа исходного материала, используемого для создания карт, имеет другую геодезическую систему координат, необходимо осуществить преобразование этой системы в геодезическую систему координат, принятую в данном государстве.

Эта задача, как правило, решается аналитически — путем введения так называемых дифференциальных поправок первого и второго рода. Во многих книгах по высшей и сфероидической геодезии даны формулы для определения дифференциальных поправок первого рода ( $dB''$ ,  $dL''$ ), учитываю-

щих изменения начала координат и азимута в начальном (исходном) пункте, и второго рода ( $dB^s, dL^s$ ), учитывающих изменения сжатия и большой полуоси исходного и нового эллипсоидов. В настоящее время разработаны и используются алгоритмы таких преобразований с промежуточным переходом в геоцентрические координаты.

## 8.2. ОБЩАЯ ТЕОРИЯ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ.

Включает совокупность теоретических положений, являющихся основой получения и использования всего множества картографических проекций.

### 8.2.1. Системы координат принятые в ГИС

В теории и практике ГИС применяются пространственные прямоугольные, криволинейные, плоские прямоугольные и полярные системы координат.

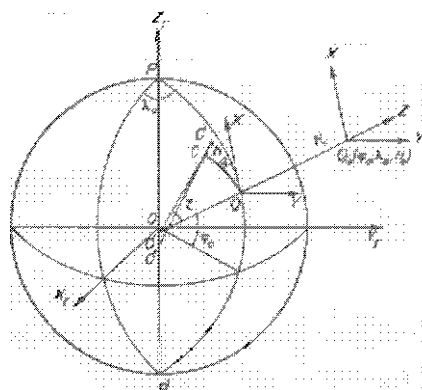


Рис. 8.1. Геоцентрическая горизонтальная и сфероидическая (сферическая) полярная системы координат.

В произвольной точке  $Q(\varphi_0, \lambda_0)$  эллипсоида проведем нормаль  $QO'$  к этой поверхности (рис. 8.1.), через которую можно провести бесчисленное множество нормальных сечений. Из них мы выберем два главных: сечение, совпадающее с плоскостью меридиана  $PQO'$ , называемое меридианным, и сечение, ортогональное первому в точке  $Q$ , называемое сечением первого



вертикала. С учётом этого определяют и используют различные системы координат: геодезическую, геоцентрическую, топоцентрическую, сфероидическую (сферическую), изометрическую и локальные системы.

В геодезической системе определяются геодезическая широта точки  $\varphi$  - угол между нормалью  $QO'$  к поверхности эллипсоида в данной точке эллипсоида  $Q$  и плоскостью экватора и долгота этой точки  $\lambda$  - двугранный угол между плоскостями начального меридиана и меридиана данной точки. В пространственной геоцентрической системе координат  $OX_r Y_r Z_r$  начало совмещено с центром масс Земли (с центром эллипсоида вращения), ось  $Z_r$  - направлена на средний северный полюс Земли, ось  $X_r$  - в точку пересечения Гринвичского меридиана с экватором, ось  $Y_r$  - на восток.

Связь геоцентрической и геодезической системы координат выражается формулами:

$$X_r = N \cos \varphi \cos \lambda;$$

$$Y_r = N \cos \varphi \sin \lambda;$$

$$Z_r = N(1 - e^2) \sin \varphi,$$

где  $N = a / (1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2}$  - радиус кривизны сечения первого вертикала в данной точке

$a, e^2$  - соответственно большая полуось эллипсоида вращения и квадрат первого его эксцентриситета.

Топоцентрической горизонтной системой координат (рис. 8.1.) будем называть систему, в которой начало совмещено с произвольной точкой пространства  $Q$  ( $\varphi_0, \lambda_0, H_0$ ), ось  $X$  лежит в плоскости меридиана точки  $Q$  и направлена на северный (средний) полюс, ось  $Z$  совпадает с нормалью  $O'Q_0$  к поверхности эллипсоида в точке  $Q$ , ось  $Y$  - дополняет систему до левой.

Формулы связи топоцентрической и геодезической систем координат имеют вид:

$$X = (N + h) \left[ \sin \varphi \cos \varphi_0 - \cos \varphi \sin \varphi_0 \cos(\lambda - \lambda_0) \right] + \\ + e^2 (N_0 \sin \varphi_0 - N \sin \varphi) \cos \varphi_0;$$

$$Y = (N + h) \cos \varphi \sin(\lambda - \lambda_0),$$

$$Z = (N + h) \left[ \sin \varphi \sin \varphi_0 + \cos \varphi \cos \varphi_0 \cos(\lambda - \lambda_0) \right] + \\ + e^2 (N_0 \sin \varphi_0 - N \sin \varphi) \sin \varphi_0 - (N_0 + H_0),$$

где  $\varphi, \lambda, \varphi_0, \lambda_0$  — соответственно географические координаты в текущих точках и точке полюса;

$H_0$  — высота точки полюса относительно поверхности эллипсоида;

$h$  — превышения точек.

В сфероидической полярной системе координат  $z = \text{const}$ ,  $a = \text{const}$   $\alpha$  — углы между нормальными плоскостями в точке полюса  $Q$ ,  $z$  — углы между нормалью  $O'Q_0$  и направлениями в точке  $O'$  на текущие точки  $C$ , лежащие в соответствующих нормальных плоскостях;  $h$  — превышения точек поверхности Земли (при отображении поверхности эллипсоида все  $h=0$ ).

С точностью до членов с  $e^4$  получаем формулы связи полярных сфероидических и геодезических систем координат

$$\sin z \cos \alpha = t_1 + e^2 \tau [t_1 \sin \varphi - \cos \varphi_0] + \dots;$$

$$\sin z \sin \alpha = \cos \varphi \sin(\lambda - \lambda_0),$$

$$\cos z = t_3 + e^2 \tau [t_3 \sin \varphi - \sin \varphi_0] + \dots;$$

$$\text{где } t_1 = \sin \varphi \cos \varphi_0 - \cos \varphi \sin \varphi_0 \cos(\lambda - \lambda_0)$$

$$t_3 = \sin \varphi \sin \varphi_0 + \cos \varphi \cos \varphi_0 \cos(\lambda - \lambda_0)$$

$$\tau = \sin \varphi - \sin \varphi_0$$

Изометрическую систему координат определяют под условием, чтобы при равенстве дифференциалов изометрических широт и долгот  $dq$  и  $d\lambda$  соответствующие им бесконечно-малые дуги меридианов  $d\sigma_1$  и параллелей  $d\sigma_2$

были также равны, что имеет важное значение при разработке и использовании ряда картографических проекций (равноугольных).

Формула изометрической широты точек эллипсоида вращения имеет вид:

$$q = \ln V;$$

$$V = \operatorname{tg}(45^\circ + \varphi/2) / \operatorname{tg}^*(45^\circ + \psi/2);$$

$$\psi = \arcsin(e \sin \varphi).$$

Локальные системы координат функционально связаны с прямоугольной системой координат создаваемой карты (модели ГИС) и предназначены для решения трёх основных задач:

ввода в память ЭВМ изображения с исходных картографических материалов;

построения системы условных знаков и непосредственного математического описания исследуемых кривых;

устранения (ослабления) искажений из-за деформации бумаги, не совмещения красок при печати, ошибок составления и т.п.

### 8.2.2. Определения картографических проекций, картографические сети

Дадим два определения проекции:

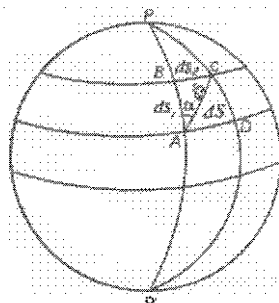
1. Картографической проекцией называется математически выраженный способ отображения поверхности Земли или других небесных тел, принимаемых за эллипсоид, сферу или иные регулярные поверхности, на плоскости.
2. Картографической проекцией называется способ установления взаимно-однозначного соответствия точек отображаемой поверхности и плоскости.

Изображение на картах линий меридианов и параллелей в принятой картографической проекции называется картографической сеткой. Частота её

линий устанавливается в зависимости от назначения карты. Вид картографической сетки зависит от уравнений данной проекции.

### 8.2.3. Бесконечно малая сфероидическая трапеция и ее изображение на плоскости

Элементами бесконечно малой сфероидической трапеции являются (рис. 8.2):



$ds_1 = M d\varphi$  — бесконечно малый отрезок меридиана;

$ds_2 = r d\lambda$  — бесконечно малый отрезок параллели;

$ds = (ds_1^2 + ds_2^2)^{1/2}$  — линейный элемент эллипсоида;

Рис. 8.2 Элементы сфероидической трапеции

$\alpha = \arctg\left(\frac{rd\lambda}{Md\varphi}\right)$  — азимут линейного элемента;

$dS = ds_1 ds_2 = Mr d\varphi d\lambda$  — площадь бесконечно малой трапеции,

где  $M = a(1 - e^2) / (1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{3/2}$  — радиус кривизны меридианного сечения;

$r = N \cos \varphi$  — радиус кривизны параллели.

Элементами изображения бесконечно малой сфероидической трапеции на плоскости являются (рис. 8.3):

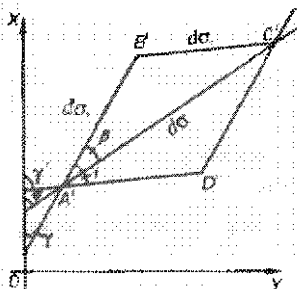


Рис. 8.3. Элементы изображения бесконечно малой сферической триангуляции

$d\sigma = [e d\varphi^2 + 2 f d\varphi d\lambda + g d\lambda^2]^{1/2}$  — линейный элемент на плоскости;

$d\sigma_1 = \sqrt{e} d\varphi$  — изображение на плоскости бесконечно малого отрезка меридиана;

$d\sigma_2 = \sqrt{g} d\lambda$  — изображение на плоскости бесконечно малого отрезка параллели;

$i = \arctg \frac{h}{f}$  — угол между изображениями меридианов и параллелей в точках проекции;

$\varepsilon = i - 90^\circ = \arctg \left( -\frac{f}{h} \right)$  — отклонение угла  $i$  от прямого;

$\beta = \text{arccotg} \left[ \frac{e}{h} \frac{r}{M} \text{ctg} \alpha + \frac{f}{h} \right]$  — азимут линейного элемента на проекции;

$d\Omega = d\sigma_1 d\sigma_2 \sin i = h d\varphi d\lambda$  — площадь изображения бесконечно малой триангуляции на проекции.

Здесь:  $e, f, g$  — коэффициенты Гаусса:

$$e = x_\varphi^2 + y_\varphi^2; f = x_\varphi x_\lambda + y_\varphi y_\lambda;$$

$$g = x_\lambda^2 + y_\lambda^2; h = x_\varphi y_\lambda - x_\lambda y_\varphi.$$

#### 8.2.4. Масштабы

В теории картографических проекций рассматриваются понятия и формулы линейных масштабов и масштабов площадей. Линейные масштабы подразделяются на главный (общий см п. 8.2.10.) и частные масштабы длин. Частным масштабом длин отображения в данной точке по данному направлению называется отношение бесконечно малого отрезка на проекции к соответствующему бесконечно малому отрезку на поверхности эллипсоида (сферы).

Формула частных масштабов длин в каждой точке проекции по заданному направлению  $\alpha$  имеет вид:

$$\mu^2 = m^2 \cos^2 \alpha + mn \cos i \sin 2\alpha + n^2 \sin^2 \alpha.$$

При азимутах направления соответственно  $\alpha = 0$  и  $\alpha = 90^\circ$  получаем

$$m = \frac{1}{M} [x_\varphi^2 + y_\varphi^2]^{1/2} - \text{формула частного масштаба длин вдоль меридианов;}$$

$$n = \frac{1}{N} [x_\lambda^2 + y_\lambda^2]^{1/2} - \text{формула частных масштабов длин вдоль параллелей;}$$

$x_\varphi, y_\varphi; x_\lambda, y_\lambda$  — частные или обыкновенные производные прямоугольных координат проекции по широте  $\varphi$  и долготе  $\lambda$ .

Частным масштабом площади называют отношение бесконечно-малой площадочки  $dL$  на проекции к соответствующей бесконечно-малой площадке на поверхности эллипсоида (сферы)  $dS$ .

Формулы частных масштабов площадей  $p$  имеет вид

$$p = \frac{h}{Mr} = mn \cos \varepsilon = ab,$$

где  $\varepsilon = \arctg\left(-\frac{f}{h}\right)$  — отклонение угла  $i$  между изображениями меридианов и параллелей на проекции от прямого;

$$f = x_\varphi x_\lambda + y_\varphi y_\lambda; \quad h = x_\varphi y_\lambda - x_\lambda y_\varphi$$

В каждой точке по двум ортогональным направлениям частные масштабы длин принимают экстремальные значения:  $a$  — наибольший,  $b$  — наименьший частные масштабы. Направления, по которым частные масштабы экстремальны называются главными. В проекциях с ортогональной картографической сеткой главные направления совпадают с направлениями меридианов и параллелей.

Экстремальные частные масштабы длин определяются по формулам

$$a = \frac{A+B}{2}; b = \frac{A-B}{2},$$

$$\text{где } A = [m^2 + n^2 + 2mn \cos \epsilon]^{1/2};$$

$$B = [m^2 + n^2 - 2mn \cos \epsilon]^{1/2}.$$

### 8.2.5. Условия отображения поверхности эллипсоида (сферы) на плоскости

Картографические проекции могут быть равноугольными, равновеликими и произвольными (в частных случаях равнопромежуточными) по характеру искажений. При получении этих проекций необходимо добиться, чтобы их уравнения удовлетворяли соответствующим условиям отображения.

Равноугольными проекциями называют такие, в которых отсутствуют искажения углов и азимутов линейных элементов, т.е. в которых одновременно выполняется два условия: картографические сетки этих проекций должны быть ортогональны и в каждой точке проекции, частные масштабы длин не должны зависеть от направлений, по которым они определяются.

Эти условия принимают вид

$$m = n; \epsilon = 0$$

$$\text{или } x_A = -\frac{r}{M} y_e; y_A = \frac{r}{M} x_e \quad (\text{условие Коши--Римана})$$

Равновеликими проекциями называются такие, в которых площади  $S$  и  $\Sigma$  указанных областей на поверхности эллипсоида (сферы) и на плоскости тождественно равны (пропорциональны).

В этих проекциях должно быть

$$p = 1; \text{ или } h = Mr; \text{ или } mn \cos \epsilon = ab = 1.$$

Равнопромежуточными называются проекции, сохраняющие длины по одному из главных направлений. Наиболее часто к ним относят проекции с ортогональной картографической сеткой, в которых сохраняются длины либо вдоль меридианов, либо вдоль параллелей.

### 8.2.6. Искажения картографических проекций

Важнейшим фактором выбора и использования картографических проекций являются величины и характер искажений используемых проекций. Их анализ позволяет оценить достоинства рассматриваемых проекций и использовать полученные данные для решения ряда практических и научных задач.

Обычно отмечается, что на картах имеют место два вида искажений:

искажения длин во всех проекциях; углов и площадей — во всех проекциях, кроме соответственно равноугольных и равновеликих проекций, возникающие из-за изменений частных масштабов в точках проекций и дающие характеристику отображений в этих точках;

искажения в длинах конечных прямолинейных отрезков и углах между ними, а также в азимутах этих направлений, возникающие при выполнении измерений на картах из-за кривизны изображения геодезических линий. Геометрическую интерпретацию искажения даёт понятие об эллипсе искажения (см. рис. 8.4, 8.5).

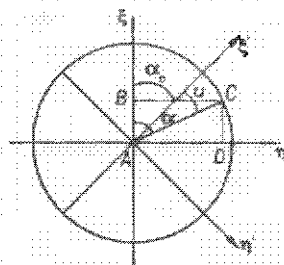


Рис. 8.4. Бесконечно малые окружность и трапеция на эллипсоиде

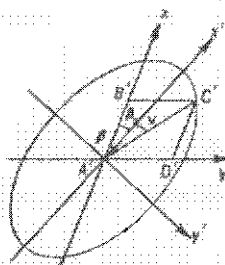


Рис. 8.5. Схема построения эллипса искажений

В общем случае бесконечно малая окружность на поверхности эллипсоида (сферы) изображается на плоскости бесконечно малым эллипсом. В частных случаях, а именно в равноугольных (конформных) и полуконформных проекциях, в которых частные масштабы длин вдоль меридианов и параллелей равны ( $m=n$ ), бесконечно малая окружность на поверхности эллипсоида (сферы) изображается на плоскости подобной бесконечно малой окружно-



стью. Отметим, что для геометрической интерпретации искажений удобнее использовать не бесконечно малые, а конечные величины. Исходя из этого, эллипсом искажений или индикатрисой (указательницей) Тиссо назвали эллипс конечных размеров (например, при радиусе окружности  $R=1$ ), соответствующий полученному на плоскости бесконечно малому эллипсу.

Если по рис. 8.4, 8.5 определить углы  $\mu$  и  $\nu$  между главными направлениями и направлениями на текущие точки на эллипсоиде и плоскости и обозначить через  $\frac{w}{2}$  наибольшую их разность  $\frac{w}{2} = \mu_0 - \nu_0$ , то наибольшие искажения углов проекции определяются формулами:

$$\sin \frac{w}{2} = \frac{a-b}{a+b}; \quad \cos \frac{w}{2} = \frac{2\sqrt{a \cdot b}}{a+b}; \quad \operatorname{tg} \frac{w}{2} = \frac{a-b}{2\sqrt{a \cdot b}}$$

где  $a, b$  — экстремальные частные масштаба длин

Искажения длин на проекции характеризуются тремя показателями

Различают относительные искажения длин в данной точке проекции по данному направлению, относительные искажения длин в данной точке по всем направлениям и среднеквадратические (среднеарифметические) величины искажений в пределах всей изображаемой области.

За меры относительных искажений длин в данной точке по данному направлению принимают следующие величины:

$$v_1 = \mu - 1; \quad v_2 = \ln \mu; \quad v_3 = 1 - \frac{1}{\mu}; \quad v_4 = \frac{1}{2}(\mu' - 1).$$

Все эти величины различаются между собой лишь малыми второго или более высоких порядков малости относительно самих их величин.

За общую меру относительных искажений длин в данной точке по всем направлениям принимают формулы, предложенные различными учеными и называемые критериями по их именам:

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_{\mathcal{A}_1}^2 &= \frac{1}{2} [(a-1)^2 + (b-1)^2]; \\ \epsilon_{\mathcal{A}_2}^2 &= \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{a}{b} - 1 \right)^2 + (ab-1)^2 \right] \end{aligned} \right\} \text{ критерии Эйри;}$$

$$\epsilon_{\mathcal{A}_K}^2 = \frac{1}{2} [\ln^2 a + \ln^2 b] \text{ — критерий Эйри-Каврайского;}$$

$$\epsilon_{\mu}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (\mu - 1)^2 d\alpha \text{ — критерий Иордана}$$

$$\epsilon_{\mu-K}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \ln^2 \mu d\alpha \text{ — критерий Иордана-Каврайского}$$

$$\alpha = \arctg \left\{ \frac{\left( \frac{a}{b} - 1 \right)}{(ab-1)} \right\} \text{ — критерий Конусовой, при помощи которого оце-}$$

нивается или задается характер искажений проекций:

$\alpha = 0$  — для равноугольных проекций,

$\alpha = \frac{\pi}{2}$  — для равновеликих проекций,

$0 < \alpha < \frac{\pi}{2}$  — для проекций произвольных по характеру искажений.

Кроме указанных, для оценки достоинств картографических проекций были также предложены и использовались другие критерии (Клингача, Вебера, Эйзенлора, Фролова и др.).

Заметим, что для проекций с ортогональной картографической сеткой во всех указанных критериях экстремальные частные масштабы « $a$ » и « $b$ » принимают значения частных масштабов длин вдоль меридианов  $m$  и вдоль параллелей  $n$ .

Величины искажений длин в пределах всей изображаемой области оцениваются при помощи критериев минимаксного или вариационного типов. Критерием минимаксного типа является критерий П.Л.Чебышева, согласно которому для исследуемой проекции определяется (в пределах всей изображаемой области) отношение наибольшего значения частного масштаба длин  $\mu_{\max}$  к наименьшему значению  $\mu_{\min}$ . При использовании критериев вари-

ционного типа определяется для рассматриваемой проекции (в пределах всей изображаемой территории) значения одного из функционалов  $E^2$ :

$$E^2 = \frac{1}{F} \int_F e^2 dF \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2,$$

где  $e^2$  вычисляется по одному из указанных критериев  $e^2$  и им аналогичным.

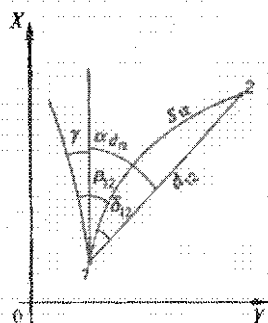


Рис. 8.6. Азимут и дирекционный угол.

Искажения площадей определяются из выражения  $v_p = p - 1$ .

Следует отметить, что при разработке проекции, если добиваться устранения искажений площадей, то примерно вдвое увеличатся искажения углов и наоборот.

При выполнении измерений азимутов (углов) и длин отрезков по карте кроме указанных искажений возникает ещё искажения в азимутах (углах)

$\delta_{12}$  и длинах  $\Delta s_{12} = s_{12} - d_{12}$  из-за кривизны изображения на картах геодезических линий. Эти величины искажений (поправок) при использовании карт, составленных в равноугольных проекциях можно определить по формулам:

$$\delta_{12} = k_1 S_{12} + \dots$$

$$\Delta S_{12} = S_{12} - d_{12} = \frac{1}{24} k_1 S_{12}^3 + \dots$$

где  $k_1$  — кривизна изображения рассматриваемой линии в начальной (первой) точке, определяемая по формуле

$$k = \frac{1}{rm} \left[ \frac{\partial \ln m}{\partial q} \sin \alpha - \frac{\partial \ln m}{\partial \lambda} \cos \alpha \right]$$

где  $r$  — радиус кривизны параллели;

$m$  — частный масштаб длин в первой точке;

$\alpha$  — азимут направления линии  $S_{12}$ ;

$d_{12}$  — хорда линии  $S_{12}$ .

Определение величин этих искажений, особенно при использовании неравноугольных проекций, представляет определенные трудности.

### 8.2.7. Методы преобразования картографических проекций при создании карт ГИС

Во многих случаях создания карт ГИС исходные картографические материалы составлены в проекциях, отличающихся от проекций создаваемых карт.

Возникает необходимость выполнения их преобразований и, следовательно, преобразование всего изображения карт.

Существует два основных способа решения этой задачи.

Первый предполагает предварительное определение геодезических координат по прямоугольным координатам точек исходного картографического материала, а затем по этим геодезическим координатам — вычисление (по формулам математической картографии) прямоугольных координат создаваемой карты.

Во втором способе устанавливается непосредственная связь прямоугольных координат проекции исходного картографического материала и создаваемой карты. Поскольку определить аналитическую связь этих систем координат весьма сложно, для решения этой задачи применяют различного вида полиномы, весьма подробно рассмотренные в работах [5], [6].

Основной частью первого способа является определение геодезических координат по прямоугольным координатам точек исходного картматериала, так как вычисление прямоугольных координат второй проекции по известным формулам затруднений не вызывает. Решение этой задачи можно выполнить на основе использования цепочки формул, определенной для каждой проекции, или методом итераций, рассмотренных в учебниках по математической картографии, например в [5], [10].

Этот способ имеет ряд преимуществ по сравнению со вторым способом, так как обеспечивает высокую точность преобразований и свободен от всяких ограничений.

Второй способ целесообразно применять в случае, когда отсутствуют данные о проекциях исходного картографического материала, а также в случае преобразования малых по площади участков карты.

В этом способе возникают ограничения, связанные с различиями в характере искажений рассматриваемых картографических проекций, в различиях в отображении географических полюсов и характера симметричности картографических сеток относительно среднего меридиана и экватора.

При использовании этого способа размеры малых участков преобразования устанавливают из расчета, чтобы на стыке этих участков несовмещения изображения одних и тех же контуров не превосходили 0,3-0,4 мм в масштабе карты.

#### **8.2.8. Факторы и способы выбора картографических проекций для создания карт ГИС**

Выбор картографических проекций должен обеспечить оптимальные условия решения задач ГИС по картам.

Выбор картографических проекций зависит от многих факторов, которые можно разбить на три группы.

К первой отнесем факторы, характеризующие объект картографирования. Это географическое положение изображаемой территории, ее размеры, конфигурация, значимость отдельных ее частей, степень показа смежных с картографируемой областью территорий.

Вторая группа включает факторы, характеризующие создаваемую карту.

В эту группу входит содержание и назначение карты ГИС в целом, способы и условия ее использования при решении задач ГИС, требования к точности их решения.

К третьей группе отнесем факторы, которые характеризуют получаемую картографическую проекцию. Это условие обеспечения минимума искажений, допустимые максимальные величины искажений, характер их распределения, кривизна изображения линий меридианов, параллелей, ортодромии, локсодромии.

Выбор картографических проекций осуществляется в два этапа: на первом устанавливается в основном с учетом факторов первой и второй групп совокупность проекций (или их свойств), из которой целесообразно производить их выбор; на втором — определяют искомую проекцию. Перед выбором новых проекций определяют нельзя ли в соответствии с поставленными требованиями использовать проекции, которые ранее применялись для аналогичных карт.

При выборе исходной совокупности проекции стремятся, чтобы центральные линии или точка проекций, вблизи которых масштабы мало изменяются, находились в центре картографируемой территории, а центральные линии направлены, по возможности, по направлению наибольшего распространения этих территорий.

Поэтому для многих карт выбирают:

- цилиндрические проекции — для территорий, расположенных вблизи и симметрично относительно экватора (экватора косой или поперечных систем) и вытянутых по долготе;
- конические проекции — для таких же территорий, но не симметричных относительно экватора или расположенных в средних широтах;
- азимутальные проекции — для изображения полярных областей.

Для всех проекций выбранной совокупности по формулам математической картографии [5, 8, 9, 13] вычисляют частные масштабы и искажения.

Для двух-трех из них, имеющих наименьшие величины искажений, выводят на экран монитора картографические сетки с изоколами (линиями равных искажений) и выбирают ту из них, в которой обеспечиваются наимень-

шие величины искажений, лучший и более простой вид картографической сетки, а при равных условиях — более простой математический аппарат проекции.

### 8.2.9. Картографические проекции карт ГИС, решающих задачи изучения и освоения космического пространства

При разработке ГИС указанного назначения решается комплекс различных задач, например:

- выполняется изучение закономерностей развития космического пространства, эволюции развития небесных тел в пространстве, их взаимодействие;
- осуществляется дистанционное зондирование поверхностей небесных тел, их картографирование, изучение строений и морфологий этих тел;
- разрабатываются принципы и методы организации космических экспедиций на поверхности небесных тел и определяют оптимальные условия их посадки на поверхности этих тел;
- разрабатываются картографические проекции для создания карт поверхностей небесных тел, многие из которых имеют форму существенно отличающуюся от формы поверхностей шара или эллипсоида вращения.

Ряд небесных тел, например, многие астероиды, ядра комет, имеют еще более сложную форму поверхностей, чем форма поверхности трехосного эллипсоида.

Известные картографические проекции шара и эллипсоида вращения непригодны для создания карт этих поверхностей.

Отсюда возникли две задачи:

первая — это разработка теории и конкретных формул проекций для отображения поверхностей трехосного эллипсоида и других регулярных поверхностей;

вторая — это разработка теории и конкретных формул для картографирования поверхностей небесных тел еще более сложной формы.

Первая задача, включающая разработку общей теории и конкретных проекций для отображения поверхностей небесных тел, которые можно аппроксимировать регулярными поверхностями, в основном нашла решение в работе [7].

Общие уравнения проекций, разрабатываемых в целях картографирования поверхностей более сложной формы, можно представить в виде:

$$x = f_1(\varphi, \lambda, h);$$

$$y = f_2(\varphi, \lambda, h);$$

где  $h$  — превышение точек реальной поверхности относительно промежуточной поверхности (поверхности шара или эллипсоида вращения)

$\varphi, \lambda$  — геодезические координаты соответствующих точек промежуточной поверхности.

При картографировании реальных поверхностей могут быть использованы различные картографические проекции промежуточных поверхностей, выбор которых зависит от условия их отображения:

для создания карт на планетарном уровне могут быть использованы цилиндрические, псевдоцилиндрические и поликонические проекции;

при создании карт полушарий — азимутальные проекции;

для создания карт на региональном уровне конические, псевдоконические, азимутальные и другие проекции.

Основной проблемой получения проекции реальных поверхностей является необходимость определения превышения  $h$  точек этих поверхностей относительно промежуточных поверхностей.

Эта задача может быть решена на основе получения и использования материалов дистанционного зондирования, выполнения гравиметрических, геодезических и фотограмметрических работ и в какой-то мере наземных наблюдений. При наличии небольшого количества высот опорных точек представляется возможным разрабатывать модели высот, на основе использования различных аппроксимирующих зависимостей.



### 8.2.10. Главные масштабы, компоновки и разграфки карт, координатные сетки и номенклатуры

Главный (общий) масштаб карты, подписываемый на ее полях, показывает во сколько раз уменьшены линейные размеры земного эллипсоида (шара) при его изображении на карте. Он устанавливается до определения картографической проекции, сохраняет свою величину только в отдельных точках или линиях карты.

При проектировании новой карты или серии карт выбор масштаба карты зависит от таких факторов, как территориальный охват картографируемой территории, от назначения карты, характера ее использования, темы карты, значимости изображаемой территории, ее географических особенностей, наименьших площадей, которые могут быть изображены на карте, возможности наглядного и хорошо читаемого изображения наиболее сложных участков территории, необходимой и возможной степени нагрузки карты элементами общего и специального содержания, обеспечения составления карт материалами в приемлемых масштабах.

Принципиально можно выделить два основных подхода к установлению масштаба карты, вытекающие из назначения карты и характера ее использования.

Первый подход – выбор масштаба для карт, по которым предполагается выполнять картометрические работы. Основное требование: обеспечить заданную точность измерений по создаваемой карте.

Второй подход, когда требования к точности измерений на карте не играют определяющей роли. Тогда основными факторами выбора масштаба являются размеры и формат создаваемых, в принятых проекциях, карт и атласов.

Разработка масштабных рядов для конкретных систем, видов, типов карт в общем случае представляет весьма сложную задачу. 17 июля 1934 г. был установлен масштабный ряд топографических карт СССР: 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000 и 1:1 000 000. Одновременно были

установлены стандартные масштабы для выполнения съемок и изготовления топографических планов: 1:500, 1:1 000, 1:2 000, 1:5 000.

В зарубежных странах, согласно сводке официальных данных, выполненной Экономическим и Социальным советом ООН, топографические карты стран мира включают масштабы четырех масштабных групп: первая группа 1:1 250 - 1:31 680 (в нее входят масштабы 1:1 250, 1:2 500, 1:5 000, 1:10 000, 1:25 000 и др.); вторая группа 1:40 000 - 1:75 000 (1:50 000); третья группа 1:100 000 - 1:126 720; четвертая группа 1:140 000 - 1:253 000 (1:200 000, 1:250 000).

При создании мелкомасштабных карт масштабный ряд чрезвычайно разнообразен.

Практическим путем определены наиболее удобные коэффициенты перехода масштабов: 1:2; 1:2,5 иногда 1:3. При этом облегчается сопоставление карт разных масштабов на одну и ту же территорию.

Под компоновкой карты понимают установление положения рамок карты, размещения названия карты, ее легенды, врезных (дополнительных) карт и графиков относительно картографической сетки, решение вопросов разграфки карты, т.е. ее деления на листы.

Проектирование компоновки зависит от многих факторов, к числу которых относятся:

- назначение карты, ее проектируемое содержание;
- картографическая проекция и главный масштаб создаваемой карты, которые выбираются еще до начала проектирования компоновки карты;
- условия применения карты (настольная, настенная, многолистная или однолистная, в атласе или отдельно, ориентировка изображения относительно севера и т.п.), условия анализа картографической информации (визуально, с помощью ЭВМ или с помощью различных методов исследований);

требования экономической эффективности (обеспечение заданных размеров карты и ее листов, наиболее полное использование полезной площади печатных форм при издании, использование картографической бумаги стандартных размеров, обеспечение издания многолистовой карты при минимально возможном количестве листов).

Важным вопросом при проектировании компоновки карты является вопрос ее разграфки, т.е. деления на листы.

Компоновка однолистовых, многолистовых карт и карт атласа имеет свою специфику. Компоновка и разграфка многолистовых карт стандарты для каждого типа карты и определяются соответствующими инструкциями по созданию карт заданного типа. Известны три системы разграфки карт:

- по линиям картографической сетки,
- по линиям координатной сетки,
- по линиям, параллельным и перпендикулярным к среднему меридиану (так называемая прямоугольная разграфка)

Компоновка по линиям картографической сетки в основном применяется при создании топографических карт. По линиям координатной сетки компоновка применяется редко. Прямоугольная разграфка применяется главным образом, при создании мелкомасштабных карт и сопровождается вспомогательными таблицами (схемами), в которых указывается размещение листов. Так например разграфка (нарезка) морских навигационных карт проектируется так, чтобы генеральными картами (масштаба от 1:500 000 до 1:5000 000) покрывалось всё море, путевыми картами (масштаба от 1:100 000 до 1:500 000) — определённая полоса моря вдоль берега; частными картами (масштаба от 1:25 000 до 1:75 000) и планами (масштаба от 1:500 до 1:25 000) — отдельные районы (бухты, порты, и т.д.).

При компоновке атласных карт соблюдается строго установленный формат (общие размеры всей карты) и географическая целостность территории, изображенная в пределах отдельных листов.

На географических картах дается изображение с заданной частотой сетки меридианов и параллелей, называемая картографической сеткой. На топографических картах дополнительно к картографической сетке, а на некоторых картах (например, английских и шведских) – взамен её даются координатные сетки (система взаимно-перпендикулярных линий, называемые так же километровыми сетками).

Кроме этих сеток или вместо них на некоторых картах могут даваться изображения других систем линии – специальных сеток, предназначенных для решения навигационных и других задач (изображение двух семейств линий гипербола, расстояний от двух базисных станций в виде дальномерных систем для двух семейств окружностей и т.д.).

Разграфка карт на листы требует их обозначения. Система обозначений листов данной карты называется её номенклатурой. Основные системы номенклатур – это система табличных обозначений и система цифровых указателей. Наибольшее распространение получили табличные системы – каждый лист карты получает цифровые или буквенные обозначения.

Эта система, например, принята в России для всех топографических и обзорно-топографических карт. Система цифровых указателей заключается в том, что номенклатурой служат координаты одной из точек данного листа, написанные в определённом порядке. Номенклатура имеет вид дроби – в числителе указывается широта и долгота угла листа карты, ближайшего к экватору и Гринвичскому меридиану, а в знаменателе размеры листа (без деления градусов и минут).

### **8.3. ТЕОРИЯ КЛАССОВ И ОТДЕЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ**

Важнейшим вопросом создания и использования базовых карт ГИС является выбор картографических проекций, обеспечивающих оптимальное решение пространственных задач ГИС по картам.

Каждая картографическая проекция обладает теми или иными достоинствами и недостатками. Их выбор зависит от назначения создаваемой карты, особенностей картографической территории и свойств рассматриваемых проекций.

Картографические проекции могут классифицироваться по различным признакам:

- по ориентировке картографической сетки в зависимости от положения точки полюса принятой системы координат;
- по виду нормальной картографической сетки линий  $\varphi = \text{const}$ ,  $\lambda = \text{const}$ ;
- по виду общих уравнений картографических проекций;
- по характеру искажений (свойствам изображения);
- по способам получения проекций и другим.

Классификация проекции по ориентировке картографической сетки зависит от широты  $\varphi_0$  точки полюса  $Q$  используемой системы координат. При  $\varphi_0 = 90^\circ$  полюс принятой системы совпадает с географическим полюсом — получаем прямые проекции, в которых сетка меридианов и параллелей  $\lambda = \text{const}$ ,  $\varphi = \text{const}$  имеет наиболее простой вид; её называют нормальной. При  $\varphi_0 = 0$  — получаем поперечные проекции, при  $0^\circ < \varphi_0 < 90^\circ$  — косые. В косых и поперечных проекциях нормальная сетка совпадает с сеткой вертикалов и альмукантаратов, а линии меридианов и параллелей изображаются кривыми.

По характеру искажений проекции подразделяются на равноугольные, равновеликие и произвольные, в частности равнопромежуточные по одному из главных направлений (по направлениям меридианов или параллелей — для проекций с ортогональной картографической сеткой). По виду нормальной картографической сетки, общих уравнений выделяют следующие основные классы проекции: цилиндрические; псевдоцилиндрические, конические, азимутальные, псевдоконические, псевдоазимутальные, поликонические проекции в широком и узком смыслах. Кроме того рассматривают перспек-

тивные азимутальные проекции с "позитивным" изображением — математические модели кадровых космических снимков, проекции Гаусса-Крюгера и UTM — основных проекций топографических карт, проекцию Чебышева — наилучшую равноугольную проекцию и другие.

Кратко рассмотрим основные особенности этих проекций.

### 8.3.1. Цилиндрические проекции

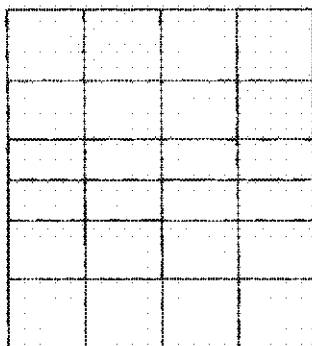


Рис. 8.7. Цилиндрические проекции

В них меридианы изображаются равностоящими параллельными прямыми, а параллели — прямыми параллельными прямыми (рис. 8.7), ортогональными меридианам.

Общие уравнения цилиндрических проекций и формулы частных масштабов длин вдоль меридианов ( $m$ ) и параллелей ( $n$ ), наибольших искажений углов ( $\omega$ ) имеют вид:

$$x = f(\varphi); \quad y = r_0 \lambda;$$

$$m = x_\varphi / M; \quad n = r_0 / r,$$

$$\sin \frac{\omega}{2} = |m - n| / (m + n)$$

где  $r$ ,  $r_0$  — соответственно радиусы кривизны текущих параллелей и параллели  $\varphi_0 = \text{const}$ , на которой нет искажений длин.

Конкретные формулы цилиндрических проекций с различным характером искажений, как и другие классы и варианты проекций приведены в книгах [5, 8, 9, 13].

Эти проекции могут быть равноугольными (в них  $m = n$ ), равновеликими (в них  $p = m \cdot n = 1$ ) и равнопромежуточными вдоль меридианов (в них  $m = 1$ ). Наибольшее значение из этих проекций имеет равноугольная цилиндрическая проекция — проекция Меркатора (особенно для создания навигационных и аэронавигационных карт), в которой локсодромии (линии, пере-

секающие на поверхности эллипсоида все меридианы под постоянными углами), изображаются прямыми линиями, что существенно облегчает решение навигационных задач по этим картам. Цилиндрические проекции целесообразно применять для картографирования территорий, расположенных вблизи экватора, симметрично к нему и сильно вытянутых по долготе.

### 8.3.2. Псевдоцилиндрические проекции

Псевдоцилиндрическими называются проекции в которых параллели изображаются прямыми линиями, а меридианы — кривыми, симметричными относительно среднего прямолинейного меридиана (рис.8.8).

Общие уравнения этих проекций, формулы частных масштабов длин вдоль меридианов ( $m$ ), параллелей ( $n$ ), площадей ( $p$ ), наибольших искажений углов ( $\omega$ ) и отклонений углов между меридианами и параллелями на проекции от прямого  $\varepsilon$  имеют вид:

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

$$m = x_0 \sec \varepsilon / M; \quad n = y_1 / r;$$

$$\lg \frac{\omega}{2} = \frac{1}{2} \left[ \left( m^2 + n^2 \right) / P - 2 \right]^{1/2};$$

$$\lg \varepsilon = -y_2 / x_0.$$

В псевдоцилиндрических проекциях можно изобразить всю картографируемую поверхность, а при необходимости повторить части изображения по долготе.

Географические полюса можно показать точками или линиями, которые параллельны экватору и называются полярными линиями.

Меридианы имеют заданный вид, изображаются чаще всего эллипсами или синусоидами, но можно получить псевдоцилиндрические проекции, в которых меридианы имеют вид парабол, гипербол и других кривых.





$$m = -P_0/M; \quad n = \alpha\rho/r;$$

$$\sin \frac{\alpha}{2} = |m \cdot n| / (m + n).$$

Проекции имеют два постоянных параметра  $\alpha$  и  $k$ .

Они могут быть равноугольными (в них  $m = n$ ), равновеликими (в них  $\rho = m$ ), равнопромежуточными (в них  $m = 1$  или  $n = 1$ ) и произвольными по характеру искажения. Их целесообразно использовать для картографирования территорий расположенных в средних широтах или в южных широтах, асимметричных к экватору и сильно вытянутых по долготе, например при создании многих карт России.

#### 8.3.4. Азимутальные проекции

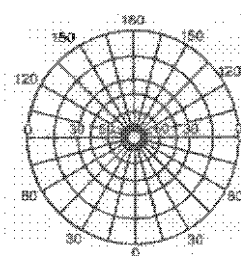


Рис. 8.10. Нормальная  
азимутальная  
проекция

Азимутальными называют проекции, в которых параллели (альмукантары) изображаются концентрическими окружностями, а меридианы (вертикалы) — прямыми линиями, пересекающимися в центре окружностей под углами, равными разностям долгот соответствующих меридианов (рис. 8.10).

В азимутальных проекциях шара их общие уравнения и формулы частных масштабов длин вдоль меридианов ( $\mu_1 = m$ ), параллелей ( $\mu_2 = n$ ) и наибольших искажений углов ( $\omega$ ) записываются с использованием полярных координат  $z$ , а в виде

$$x = \rho \cos \alpha; \quad y = \rho \sin \alpha; \quad \rho = f(z),$$

$$\mu_1 = \rho_1/R; \quad \mu_2 = \rho/R \sin z;$$

$$\sin \frac{\omega}{2} = |\mu_2 - \mu_1| / (\mu_2 + \mu_1),$$

где  $R$  — радиус земного шара.

Для получения азимутальных проекций эллипсоида в целях картографирования полярных областей используют конические проекции, в которых полагают, что постоянный параметр  $\alpha = 1$ .

Эти проекции могут быть равноугольными (в них  $\mu_1 = \mu_2$ ), равновеликими (в них  $\rho = \mu_1 \mu_2$ ), равнопромежуточными вдоль меридианов и параллелей (вертикалов и альмукантаров) (в них  $\mu_1 = 1$  или  $\mu_2 = 1$ ), произвольными по характеру искажений. Их целесообразно использовать, как проекции эллипсоида, при картографировании полярных областей и, как проекции шара для картографирования других территорий, не имеющих округлые очертания. Из этих проекций, особое внимание заслуживает равноугольная азимутальная (стереографическая) проекция, которая является единственной проекцией в которой нет искажений форм конечных фигур.

При картографировании других территорий, кроме полярных, в качестве азимутальных проекций эллипсоида используют равноугольную проекцию Лагранжа, в которой полагают, что постоянный параметр  $\alpha = 1$ .

### 8.3.5. Перспективные азимутальные проекции

Эти проекции подразделяют на проекции с «негативным» и «позитивным» изображениями.

В первых проектирование отображаемой поверхности из точек пространства, называемых точками зрения, прямолинейными визирными лучами на картинную плоскость осуществляется со стороны вогнутости этой поверхности, во вторых — со стороны выпуклости отображаемой поверхности.

К перспективным азимутальным проекциям с «негативным» изображением относятся:

гномоническая проекция, в которой ортодромии, — линии кратчайших расстояний на поверхности сферы, изображаются прямыми (точка зрения находится в центре шара);

стереографическая проекция, которая является равноугольной проекцией и единственной, в которой нет искажений форм конечных фигур (точки зрения располагаются на поверхности шара);

ортографическая проекция, в которой нет искажений вдоль альмукантаратов (точка зрения располагается в бесконечности и поэтому эту проекцию используют для создания некоторых карт небесных тел).

Перспективные азимутальные проекции с «позитивным» изображением — являются математическими моделями кадровых космических снимков.

Формулы прямоугольных координат этих проекций эллипсоида на горизонтальную картинную плоскость и частных масштабов для проекций шара имеют вид:

$$X = \frac{A}{B}, \quad Y = \frac{B}{B},$$

где

$$A = (N + h) \left[ \sin \varphi \cos \varphi_0 - \cos \varphi \sin \varphi_0 \cos (\lambda - \lambda_0) \right] + \\ + e^2 (N_0 \sin \varphi_0 - N \sin \varphi) \cos \varphi_0,$$

$$B = (N + h) \left[ \cos \varphi \sin (\lambda - \lambda_0) \right],$$

$$B = (N + h) \left[ \sin \varphi \sin \varphi_0 + \cos \varphi \cos \varphi_0 \cos (\lambda - \lambda_0) \right] + \\ + e^2 (N_0 \sin \varphi_0 - N \sin \varphi) \sin \varphi_0 - (N_0 + H),$$

$h$  — превышение точек местности над поверхностью эллипсоида.

Формулы частных масштабов для этих проекций шара принимают вид

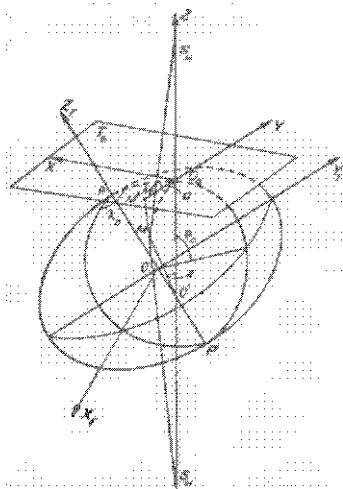


Рис. 8.11. Перспективно-азимутальные проекции при отображении на горизонтальную картинную плоскость.

$$\mu_1 = \frac{H[D \cos \varphi_0 - R]}{(D - R_0 \cos \varphi)^2},$$

$$\mu_2 = \frac{H}{D - R \cos \varphi},$$

$H$  – высота фотографирования

Прямоугольные координаты данной проекции на наклонную картинную плоскость (математической модели перспективного кадрового космического снимка) можно представить следующими формулами:

$$x - x_0 = -f \frac{a_1 X + b_1 Y - c_1 H}{a_3 X + b_3 Y - c_3 H};$$

$$y - y_0 = -f \frac{a_2 X + b_2 Y - c_2 H}{a_3 X + b_3 Y - c_3 H},$$

где  $f, x_0, y_0$  – элементы внутреннего ориентирования снимка ( $f$  – фокусное расстояние,  $x_0, y_0$  – прямоугольные координаты главной точки снимка),

$a_i, b_i, c_i$  – направляющие косинусы, определяемые по значениям угловых элементов внешнего ориентирования снимка, вычисляемые в той или иной принятой системе этих элементов.

Использование этих проекций позволяет дать математическое описание космических снимков, выполнить их преобразование для создания карт, решать по ним ряд задач.

### 8.3.6. Псевдоконические проекции

Псевдоконическими называются проекции, в которых параллели представляют собой дуги концентрических окружностей, а меридианы – кривые, симметричные относительно среднего прямолинейного меридиана, на котором расположен центр параллелей (рис. 8.12).

Уравнения этих проекций и формулы их характеристик можно представить в виде:

$$x = \rho_x - \rho \cos \delta; \quad y = \rho \sin \delta;$$

$$\rho = f_1(\varphi), \quad \delta = f_2(\varphi, \lambda)$$

$$f = \rho^2 \delta_\varphi \delta_\lambda; \quad h = -\rho \rho_\varphi \delta_\lambda$$

$$\operatorname{tg} \varepsilon = (\rho \delta_\varphi) / \rho_\varphi;$$

$$m = \frac{\rho_\varphi}{m} \sec \varepsilon; \quad n = \frac{\rho \delta_\lambda}{r};$$

$$\operatorname{tg} \frac{\omega}{2} = \frac{1}{2} [(m^2 + n^2) / p - 2]^{1/2};$$

Из определения этих проекций следует, что в них картографические сетки неортогональны, а длины дуг меридианов являются функциями широты, и долготы.

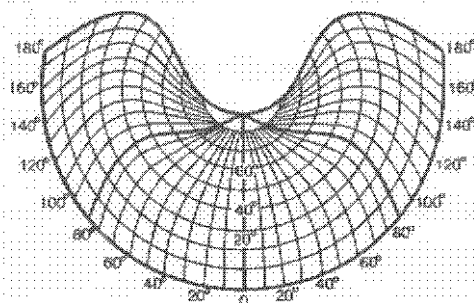


Рис. 8.12. Псевдоцилиндрическая проекция

Следовательно, эти проекции не могут быть равноугольными и сохранять длины вдоль меридианов. Они могут быть только равновеликими (в них  $p = n \cos \varepsilon = 1$ ) и произвольными по характеру искажений.

Из этих проекций наибольшее распространение (особенно во Франции и зависимых от нее странах) получила равновеликая псевдоцилиндрическая проекция Бонна.

### 8.3.7. Псевдоазимутальные проекции

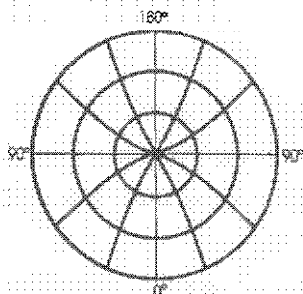


Рис. 8.13. Нормальная псевдоазимутальная проекция

Псевдоазимутальными называются проекции, в которых параллели изображаются концентрическими окружностями, а меридианы — кривыми или прямыми, сходящимися в центре параллелей. При этом меридианы с долготами  $0^\circ$ ,  $360^\circ$  совпадают и изображаются либо прямыми (рис. 8.13.), либо кривыми, в каждой точке которых имеют одинаковую кривизну. Проекция применяется только в косой ориентировке для создания эффекта сферичности

при рассматривании карт, созданных в этих проекциях.

### 8.3.8. Поликонические проекции

Поликоническими называются проекции, в которых параллели — дуги эксцентрических окружностей с центрами, расположенными на среднем прямолинейном меридиане, а меридианы — кривые, симметричные относительно среднего меридиана и экватора (рис. 8.14).

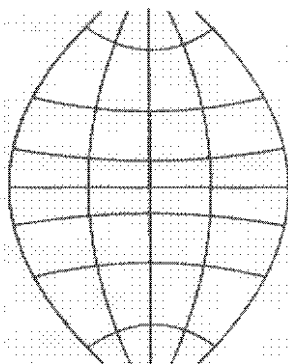


Рис. 8.14. Поликоническая проекция

Эти проекции могут быть равноугольными (в них  $m = n$ ,  $c = 0$ ), равновеликими (в них  $p = mncos\varphi = 1$ ) и произвольными по характеру искажений. Различают поликонические проекции в широком смысле, из которых наибольшее применение и значение имеет равноугольная проекция, в которой все меридианы и параллели изображаются окружностями

(проекция Лагранжа).

В поликонических проекциях в узком смысле радиусы параллелей равны  $\rho = N \operatorname{ctg} \varphi$  и частный масштаб длин вдоль среднего меридиана  $m_0 = \operatorname{const}$ , в частности  $m_0 = 1$ .

Из этих проекций наибольшее распространение (особенно в США) получила простая поликоническая проекция для создания карт в широкой и узкой зонах, в которой дополнительно вводится условие, что частные масштабы длин вдоль параллелей  $n = 1$ .

Для создания площадной авиационной карты масштаба 1:1 000 000 во многих странах используется видоизмененная простая поликоническая проекция. Эта проекция используется, как многогранная, каждый лист определяется в своем варианте проекции, все меридианы изображаются прямыми линиями, отсутствуют искажения длин на крайних параллелях и на меридианах, отстоящих от среднего на  $\Delta\lambda = \pm 2^\circ$ , средние параллели определяются пропорциональным делением по широте вдоль прямолинейных меридианов.

### 8.3.9. Проекции Гаусса-Крюгера и UTM

Проекция Гаусса-Крюгера определяется для картографирования территории в узкой зоне (для топографических карт) и в широкой зоне.

В первом случае проекцию получают, исходя из трех условий: она симметрична относительно среднего меридиана и экватора, она прямоугольна и в ней на среднем меридиане нет искажений длин.

Проекция Гаусса-Крюгера в широкой зоне получают путем последовательного выполнения трех прямоугольных отображений: вначале прямоугольно отображают эллипсоид на поверхность шара по способу Мольвейде, затем определяют прямоугольные координаты проекции шара Гаусса-Ламберта и наконец отображают плоскость на плоскость под условием сохранения длин на среднем меридиане.

Формулы прямоугольных координат, частных масштабов длин и сближения меридианов проекции Гаусса-Крюгера имеют вид:

$$x = S + \frac{\lambda^2}{2} N \cos \varphi \sin \varphi + \dots$$

$$y = \lambda N \cos \varphi + \frac{\lambda^3}{6} N \cos^3 \varphi [1 + \eta^2 - 3\eta^2 \varphi] + \dots$$

$$m = 1 + \frac{\lambda^2}{2} \cos^2 \varphi (1 + \eta^2) + \frac{\lambda^4}{24} \cos^4 \varphi (5 - 4\eta^2 \varphi)$$

$$\gamma = \lambda \sin \varphi + \frac{\lambda^3}{3} \cos^2 \varphi \sin \varphi (1 + 3\eta^2)$$

где  $S$  — длина дуги меридиана от экватора до данной параллели;

$$\eta^2 = e'^2 \cos^2 \varphi;$$

$e'^2$  — квадрат второго эксцентриситета эллипсоида.

Проекция UTM, нашедшая широкое распространение в странах НАТО, отличается от проекции Гаусса-Крюгера тем, что в ней на среднем меридиане частный масштаб длины  $m_0$  не равен единице, как в проекции Гаусса-Крюгера, а величина  $m_0 = 0.9996$ .

С учетом этого формулы связи этих проекций принимают вид:

— при определении проекции UTM в левой системе прямоугольных координат

$$x_{UTM} = kx_{ГК}, y_{UTM} = ky_{ГК}, m_{UTM} = km_{ГК}, T_{UTM} = T_{ГК}$$

— при определении проекции UTM в правой системе прямоугольных координат

$$x_{UTM} = ky_{ГК}, y_{UTM} = kx_{ГК}, m_{UTM} = km_{ГК}, T_{UTM} = T_{ГК}$$

где  $k = 0.9996$

Нулевые изогоны в проекции UTM проходят примерно параллельно среднему меридиану при удалении от него в обе стороны около 200 км.

### 8.3.10. Проекция Чебышева. Состояние решения общей проблемы изыскания наилучших проекций.

Приоритет в постановке и решении проблемы о наилучших картографических проекциях принадлежит российским ученым.



В 1853 г. великий русский математик П.Л. Чебышев сформулировал теорему о наилучших равноугольных проекциях, согласно которой наилучшими из них являются проекции, в которых на контуре картографируемой территории натуральный логарифм частного масштаба длин имеет постоянное значение. Эту теорему в 1894 г. доказал Д.А. Граве. Определение этих проекций сводится к решению двух задач.

Вначале на основе решения уравнения Лапласа при заданных граничных условиях определяются частные масштабы длин в точках области картографирования по их постоянным значениям на контуре территории.

Затем, записав уравнения частных производных прямоугольных координат по широте и долготе с учетом полученных значений масштабов, определяют прямоугольные координаты проекции.

В настоящее время разработан ряд способов вычисления проекции Чебышева, использование которой обеспечивает уменьшение искажений на картах до 4 раз по сравнению с другими равноугольными проекциями.

В 1898 г. Н.Я. Цингер высказал гипотезу о получении наилучших равновеликих проекций. В 1933 г. В.В. Каврайский показал недостаточность этой гипотезы, но конкретных решений этой проблемы не дал.

В 1968 г. Г.А. Мещеряков опубликовал монографию, в которой критиковал исследования Н.Я. Цингера и В.В. Каврайского, сформулировал и доказал теорему о получении наилучшей равновеликой проекции для картографирования территории полушарий. Но общего решения также не дал.

Таким образом, проблема получения наилучших равновеликих и других по характеру — искажений проекции пока еще не решена.

## **9. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ БАЗОВЫХ КАРТ И МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЗАДАЧ ГИС ПО КАРТАМ.**

ГИС является интегрированной информационной системой.

Основная унифицированная форма информации в ГИС, с которой работает пользователь, — картографическая.

Именно карты содержат обширную, разнообразную обобщенную информацию об объектах и явлениях реального мира, представленную в соответствующих системах координат.

Карты обеспечивают возможность решать разнообразные задачи ГИС на основе использования отображенной на них пространственно локализованной информации.

Следовательно, пользователь ГИС должен иметь достаточные знания:

- о способах создания карт, их свойствах и особенностях, способах отображения на них элементов природы и общества;
- уметь определять по картам картографическую информацию на основе использования существующих математических и других методов ее анализа и синтеза.

Ниже рассматриваются основные положения создания и использования карт.

## 9.1. ЭТАПЫ И ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ КАРТ

Географические карты, в том числе базовые карты ГИС, создаются в четыре этапа, включающие:

- редакционно-подготовительные работы;
- создание составительских оригиналов;
- подготовку карт к изданию;
- издание карт.

### 9.1.1. Редакционно-подготовительные работы.

Включают проектирование карт, организационно-подготовительные работы, разработку редакционных документов.

В процессе проектирования карт выполняется:

уяснение целевого назначения карты, характеристик объектов и явлений, подлежащих картографированию;

проектирование геодезической и математической основ, содержания карты, способов картографического изображения, системы условных знаков и легенды карты;

проектирование оформления карт и технологии выполнения работ.

В результате проектирования карты разрабатываются оптимальные ее параметры и создается основа для разработки редакционных документов.

Редакционные документы подразделяются на общие или основные и редакционные документы по созданию конкретных карт.

К общим документам относятся: основные положения, инструкции, руководства, нормы и правила, таблицы условных знаков, программы крупных картографических произведений.

На их основе разрабатываются редакционные планы, редакционные указания, редакционные схемы, конкретизирующие общие редакционные документы применительно к созданию конкретных карт.

Редакционные документы включают следующие разделы:

Общие сведения о карте, о ее назначении и другие основные характеристики карты;

Математическая основа карты, указания по ее построению;

Картографические материалы, указания по порядку и способам их использования;

Географическая характеристика и другие сведения об объектах картографирования;

Элементы содержания карты, указания по их составлению и генерализации;

Технология составления, подготовки к изданию и издания карты.

Обязательное приложение: макет компоновки, таблица условных знаков. При необходимости могут быть разработаны образцы генерализации, образец карты (или ее фрагмент).

Одновременно с разработкой этих документов выполняются организационно-подготовительные работы, включающие сбор и систематизацию картографических материалов, их редактирование, просмотр и оценку, разработку технических заданий, документов по нормированию работ, их планированию и т.п.

### 9.1.2. Составление оригиналов карт

Составление оригиналов ведется в строгом соответствии с редакционными документами, с учетом особенностей картографируемой территории, исходных картографических материалов, данных дежурных материалов на которых отражаются все изменения происходящие на местности. При проектировании и составлении карт осуществляются:

- изменение и преобразование геодезической основы, картографической проекции основных исходных материалов в геодезическую основу, проекцию создаваемой карты (при необходимости);
- сглаживание и фильтрацию исходной информации;
- выполнение картографической генерализации и на этой основе составление содержания карты;
- построение и выбор шкал.

Разработка методов выполнения различных преобразований рассматривается в курсах математической картографии и сферической геодезии, например [4].

Осуществление сглаживания, фильтрации информации, формализации изображения особенно важно при автоматизированном составлении карт. Фильтрация изображения — это процесс исключения случайных составляющих, неподдающихся математическому описанию, а также элементов изображения (мелких извилин, малозначащих мелких объектов и т.п.), ус-

пожияющих чтение карты; это замена исходных кривых более плавными кривыми, но передающих общий характер изображения.

Картографическая генерализация — это процесс выявления и отображения на карте типичных свойств и характерных особенностей отображаемых объектов и явлений.

Полнота и подробность картографической генерализации зависит от назначения карты, ее главного масштаба, особенностей картографируемой территории (на одних территориях те или иные объекты показываются обязательно, например, колодцы в пустыне, на других нет или с отбором, например, в обводненной местности), от условий использования карты (настенная, настольная и т.п.), от принятой на карте системы условных знаков, от качества генерализации на исходной карте, а также от способа считывания картографической информации по карте — визуально или с помощью автоматических устройств. При практическом выполнении генерализации наряду с ее факторами учитываются типы всех отображаемых элементов местности (типы берегов, речных систем, населенных пунктов, рельефа и т.п.).

В процессе разработки использования способов выполнения картографической генерализации применяются различные подходы к ее осуществлению.

К их числу можно отнести:

Эмпирические способы определения математических зависимостей для выполнения картографической генерализации, предложенные, например, в работах Ф. Топфера, Э. Сринка, К.А. Салищева, В.И. Сухова, М.К. Бочарова, А.М. Комкова, А.Н. Николаева, Н.И. Шилова и др;

Способы применения аппроксимирующих зависимостей для обобщения (в основном) линейных объектов;

Способы генерализации с учетом особенностей картографируемых территорий, что связано с их районированием по отдельным или по совокупности элементов;

Опытнo-статистические способы картографической генерализации, к которым относится способ экспертных оценок; способ основанный на анализе нормативных картографических материалов, а также способ определения оптимальных условий генерализации на основе разработки образцов генерализации с различными параметрами изображения и экспертизы этих образцов;

Способ объективизации картографической генерализации.

С позиции цифровой картографии под автоматизированной картографической генерализацией понимают математическую обработку цифровой картографической информации в автоматическом режиме с использованием моделей картографической генерализации, которая представляет собой систему логических и математических правил, определяющих процесс обработки исходного цифрового изображения, либо обработку информации в режиме диалога картографа с ЭВМ с целью отбора и обобщения исходного изображения.

Для осуществления картографической генерализации применяются три основных способа:

- способ обобщения качественных и количественных показателей;
- способ отбора;
- способ обобщения контуров.

Обобщение качественных и количественных показателей выполняется в два этапа. На первом устанавливаются правила, параметры и порядок обобщения, которые отражаются в инструкциях, наставлениях и т.д., а на втором, в соответствии с этими правилами и особенностями исходного материала картограф выполняет практическое обобщение.

Обобщение качественных характеристик осуществляется путем замены дробных показателей обобщенными (например, замена знаков типов лесов одним знаком лес), а также исключением низших ступеней классификации, и уменьшение количества градаций отображения того или иного элемента

(например, исключением изображения огнестойкости строений, характер застройки и т.п. при переходе к составлению более мелкомасштабных карт)

Обобщение количественных характеристик заключается в уменьшении их количества на карте, в переходе от непрерывной шкалы, к ступенчатой, а затем к укрупнению ступеней отображения.

Для составления топографических карт в существующих инструкциях и наставлениях даны соответствующие рекомендации.

При составлении мелкомасштабных карт для решения этой задачи с успехом можно использовать указанную выше группу опытно-статистических способов. Так, например, при использовании созданных образцов генерализации задача успешного выполнения обобщения количественных и качественных показателей во многом зависит от привлечения опытных, знающих специалистов, как для создания образцов, так и для их экспертизы.

Необходимость выполнения отбора объектов вытекает из противоречия между тем, что есть на отображаемой поверхности и тем, что можно изобразить на карте данного назначения и масштаба.

Отбор объектов выполняется с использованием подспособов цензов и нормативов. Для определения цензов, т.е. количественных показателей отбора, могут быть использованы эмпирические способы и способы генерализации с учетом особенностей картографируемых территорий.

При решении задачи районирования (дифференциации) территорий (объектов) могут быть использованы способы, основанные на определении коэффициентов частоты, плотности, извилистости, применении таксономических способов, дискриминантного и кластерного анализов и другие.

Районирование территории (объектов) может осуществляться по одному, двум факторам или их совокупности.

При создании общегеографических карт соблюдается единый подход к изображению природных и социально экономических элементов, все они

отображаются с достаточной полнотой и подробностью на картах данного масштаба и назначения.

В этом случае более предпочтительно выполнение районирования территории отдельно по каждому изображаемому элементу.

При создании тематических карт более четко проявляется их назначение, в соответствии с которым устанавливается основное тематическое содержание этих карт.

В этом случае дифференциации объектов (территории) целесообразно осуществлять по совокупности факторов с использованием таксономических методов, дискриминантного или кластерного анализа и другим, которые достаточно подробно рассмотрены в работе [13].

После выполнения районирования устанавливается среднее и максимальное количество данных объектов, которые надлежит показать в каждом районе.

При использовании способа «обобщение контуров линейных объектов» осуществляется обобщение геометрии рисунка, утрирование изображения линейных и площадных элементов и переход от изображения отдельных объектов к их собирательным понятиям.

Геометрическая сторона этого способа состоит в выделении основных, характерных точек и отрезков линий, в исключении мелких нехарактерных деталей контура и внутренней структуры, упрощении плановых очертаний линейных объектов, при котором сохраняются особенности контура, характерные для данного объекта и подчеркивающие его существенные признаки.

Одновременно осуществляется утрирование (преувеличение) масштабного изображения объектов, сокращение числа однородных деталей внутренней структуры объекта.

Группировка однородных объектов или переход к собирательным единицам изображения заключается в замене изображения отдельно расположенных, небольших по размеру, однородных объектов изображением общего



контура или их заменой единым условным обозначением. Математическая сущность данного способа генерализации состоит в замене исходного множества точек меньшим множеством точек аппроксимирующей кривой, задаваемой в аналитической форме. При этом осуществляется фильтрация и сглаживание изображения. Обобщение должно быть направлено к усилению качественных различий, а не к их сглаживанию.

Важным способом, который в определенной мере решает задачи и отбора объектов и обобщения контуров, является объективизация картографической генерализации, основанная на использовании космических снимков мелких масштабов. На этих снимках в результате существенного уменьшения масштабов изображения, фильтрации высоких частот (при выполнении съемки) возникает эффект оптической генерализации, в результате чего более наглядно и объективно раскрываются, прежде всего, крупные формы элементов местности и практически осуществляется отбор мелких объектов, устраняются мелкие извилины, детали.

Важно подчеркнуть, что все закономерности выполнения картографической генерализации одинаково обязательны для их использования, как в традиционной, так и в автоматизированной (автоматической) картографии.

Отметим, что для создания карт в системе машинной обработки информации до сих пор еще не создана полностью разработанная математическая модель картографической генерализации. Поэтому при автоматизированном составлении генерализацию осуществляют в два этапа — на предварительном разрабатывают алгоритмы генерализации по всем элементам, устанавливают по каждому из них соответствующие признаки, с учетом которых применяется тот или иной элемент этого алгоритма, разрабатывают и алгоритмизируют способы фильтрации и сглаживания изображения и на этой основе выводят на экран монитора первоначальное генерализованное изображение. Окончательную генерализацию осуществляет оператор-картограф в диалоге с ЭВМ.

Составление оригиналов обычно выполняется в следующей последовательности: изображаются элементы гидрографии, затем населенные пункты, различные сооружения, дорожная сеть, рельеф, почвенно-растительный покров, границы и ограждения.

Государственные границы показываются на этапе составления, когда обеспечивается их точное отображение, без всяких обобщений. При этом составление госграниц ведется в точном соответствии с официальными документами России.

Особое внимание при составлении оригиналов карт обращается на точное изображение госграниц, использование дежурных материалов, на которых отражаются изменения, происшедшие среди показываемых объектов, и на современное выполнение сводок по рамкам листов карт. Одновременно с выполнением составительских работ ведется формуляр создаваемого оригинала карты, в котором отражаются все особенности этих работ.

### 9.1.3. Подготовка карт к изданию и их издание.

В процессе подготовки карты к изданию осуществляется ее оформление, изготавливается издательский оригинал карты.

Издательский оригинал должен иметь высокое качество черчения (гравирования) и оформления, полностью и строго соответствовать составительскому оригиналу, требованиям редакционных документов и условных знаков.

Его изготовление может осуществляться:

На чертежной бумаге, наклеенной на жесткую основу, в масштабе издания или в увеличенном масштабе, совмещено или разделено по каждому элементу содержания, печатаемых различными красками;

Черчением на прозрачных пластиках, покрытых специальными лаками;

Гравированием изображения на пластиках, покрытых гравировальным слоем.

При этом особое внимание обращается на изображение (без обобщений) государственных границ в соответствии с официальными документами России, на использование дежурных материалов, на своевременное выполнение сводок по рамкам оригинала.

Все особенности выполняемых работ отражаются в формуляре данного оригинала карты.

Издание карты осуществляется в соответствии с процессами и средствами полиграфической технологии и техники и включает изготовление печатных форм, печать тиража на офсетных машинах и отделку готовой продукции.

В случае создания издательских оригиналов совмещенным вычерчиванием на чертежной бумаге всех элементов содержания, то вначале по каждому элементу, печатаемым различными красками, изготавливаются негативы и выполняется их расчленительная ретушь, в результате которой на каждом из них остается негативное изображение только одного элемента.

По этим негативам и негативам, полученным по издательским оригиналам, вычерченным на чертежной бумаге расчлененно, изготавливаются в копировальных рамках печатные формы.

При изготовлении издательских оригиналов путем вычерчивания или гравирования содержания карты на прозрачных пластиках печатные формы создаются непосредственно с использованием этих оригиналов.

Отделка готовой продукции включает разрезку отпечатанного тиража по номенклатурным листам (на печатных формах может быть размещено сразу до шести номенклатурных листов), сортировку и отбраковку тиражных оттисков, их счет, упаковку с заданным количеством листов в пачках и сдачу этой продукции.

## 9.2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ, РЕШЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЗАДАЧ ГИС ПО КАРТАМ

### 9.2.1. Некоторые сведения о картографической информации

Карты, как основные модели реальной действительности, характеризуются рядом особенностей. Они обладают заданной степенью абстрагирования, чему способствует выполнение генерализации картографического изображения. В них обеспечивается взаимно однозначное соответствие по наиболее существенным элементам содержания и топологическое – для прочего содержания. Они характеризуются также непрерывностью, метричностью, оборотностью и наглядностью изображения, возможностью избирательного отображения факторов, явлений, процессов, которые в действительности протекают совместно; и наоборот, – отображением изолированных явлений в виде целостного (синтетического) изображения. Карты обладают важнейшими информационными и гносеологическими, т.е. познавательными свойствами, они обеспечивают возможность верно передавать географические закономерности размещения объектов и явлений, на них могут оперативно отображаться изменения, происходящие в природе и обществе.

Принятая на картах система условных знаков дает непосредственную возможность получить с карты разнообразную и обширную пространственно локализованную информацию. Но одновременно на основе использования этой информации и соответствующих методов анализа и синтеза возникает возможность получения по карте дополнительной, как бы скрытой информации. Например, можно получить данные о взаимосвязи явлений, отображаемых на карте, о ведущих факторах, которые следует учитывать при решении тех или иных народнохозяйственных задач, сведения, необходимые для выполнения оптимальной дифференциации (районирования) территории и объектов, устанавливать основные закономерности исследуемых явлений.

Полученная картографическая информация, особенно дополнительная, которая нередко становится основной ее частью, дает не только необходи-

мые сведения, но и возможность вскрывать новые закономерности объективного мира, открывает возможности создания новых, так называемых, производных карт.

Геометрические особенности, полнота получаемой информации зависит, прежде всего от используемой математической основы, методов проектирования и составления карт, от достоверности, полноты и подробности содержания используемых карт, а также от подготовленности читателя карты, его знаний математических и других методов выполнения исследований по картам, от уровня его специальной подготовки, наличия современной техники. Таким образом, для успешного решения задач науки и народного хозяйства, связанных с использованием карт, необходимы:

Доброкачественные достоверные топографические, общегеографические, тематические карты и атласы различных масштабов, назначения, содержания и территориального охвата, поддерживаемых на современном уровне.

Дальнейшая разработка теории математической картографии, теории, методов и технологий создания карт и атласов с использованием не только традиционных картографических источников, но и материалов дистанционного зондирования, изготовление на этой основе новых картографических произведений с оптимальными свойствами.

Разработка теории, математических и других методов выполнения исследований по картам, получения разнообразных синтетических характеристик, использования карт и этих характеристик для решения научных и практических задач, создания производных карт.

Приведение до начала исследования всех материалов, элементов ГИС в единые геодезические системы координат и высот, единую проекцию, размерность, систему измерений.

Совершенствования технической базы решения указанных задач на основе развития и внедрения автоматических систем.

Определение последовательности выполнения исследований и решение связанных с этим задач.

### 9.2.2. Общая математическая модель процессов и явлений реального мира. Основные методы их исследования, решение задач ГИС по картам.

Все процессы и явления действительности можно выразить в четырехмерном пространстве  $X, Y, Z, t$  с помощью математической модели:

$$T(X, Y, Z, t) = D(X, Y, Z, t) + B(X, Y, Z, t) + C,$$

где  $D(X, Y, Z, t)$  — детерминированная составляющая, определяющая основные закономерности изучаемых объектов явлений, описываемых с помощью логико-математических соотношений, выражающих взаимоднозначное соответствие компонентов модели и реальной действительности;  $B(X, Y, Z, t)$  — вероятностная (стохастическая) составляющая, изучаемая на основе теории вероятности и математической статистики и возникающая, как правило, в случаях, когда имеются общие случайные факторы, влияющие на изучаемые явления наряду (совместно) с другими случайными факторами;  $C$  — чисто случайная составляющая, не поддающаяся математическому описанию, которая должна быть отфильтрована в процессе математической обработки измерений.  $X, Y, Z, t$  — пространственные координаты объектов и время.

Следовательно, для получения по ним требуемых данных и выполнения соответствующих исследований, необходимо изучение и использование как детерминированных методов (моделей), так и методов, основанных на использовании теории вероятностей и математической статистики, а также и других методов.

Между детерминированными и вероятностными методами, с точки зрения их использования, строгой границы нет. Одни и те же задачи могут нередко решаться теми и другими методами.

С определенной долей условности к числу детерминированных методов относятся следующие:

- визуального анализа;
- графические;
- определения синтетических характеристик полей;
- картометрического и морфометрического анализов;
- дифференциации территории или объектов (таксономические, теории граф, кластерного анализа и т.п.);
- методы численного анализа, аппроксимации, интерполяции, экстраполяции и фильтрации;
- решения задач навигации, аэронавигации, локализации объектов и явлений, отображенных на аэрокосмических снимках или указанных в статистических и других материалах;
- решения задач охраны природы, землеустройства, лесоустройства, планирования размещения производительных сил и т.п.

К группе методов, основанных на теории вероятностей и математической статистике, относятся следующие:

- планирование и получение по картам выборочных данных;
- определение закона распределения случайных величин;
- установления формы и тесноты связи (корреляционный анализ);
- определение связи зависимых и независимых случайных переменных (регрессионный анализ);
- выявление влияния факторов на средние результаты исследуемых явлений (дисперсионный анализ);
- определение ведущих факторов размещения и развития явлений (компонентный, многофакторный анализ, канонические корреляции);
- статистического районирования и дифференциации территории (дискриминантный анализ, теорема Байеса);

изучение динамики и предсказания случайных и неслучайных величин, процессов и явлений;

определение эмпирических зависимостей, позволяющих при малом числе измерений получать с необходимой точностью искомые результаты без выполнения сплошных измерений.

Кроме того, могут использоваться методы теории информации, например, для оценки степени однородности и взаимного соответствия явлений, структурный и ковариационный анализы и др.

К числу методов исследований, основанных на преобразовании картографического изображения, относятся методы построения нетрадиционных картографических (анаморфированных карт, анаморфоз, картондов и др.) и методы получения традиционно преобразованных изображений (методы преобразования метрик, свойства и способов картографического изображения).

### 9.2.3. Визуальный анализ

Визуальный анализ дает преимущество качественные характеристики изучаемых объектов и явлений, позволяет получать и количественные характеристики по подписям и глазомерным оценкам расстояний, площадей и т.п., дает возможность устанавливать закономерности размещения, относительность положения, пространственных форм, структуры и взаимосвязи элементов содержания карт, наличие их изменений во времени.

Визуальный анализ сопровождается описаниями и используется как на начальной стадии исследования для общего ознакомления с изучаемыми объектами и явлениями, планирования исследований, так и на завершающей стадии для проведения содержательной интерпретации результатов исследований.

Выполняя визуальное исследование и приступая к описанию, необходимо оценивать качество самой карты или серии карт. Для этих целей устанавливают следующие сведения:



название и назначение карты, изображаемую территорию, математическую основу карты (проекцию, ее свойства, масштаб, компоновку), выходные данные (когда, кем и по каким материалам составлена и издана); содержание карты по элементам, ее полноту, подробность, принципы классификации изображаемых объектов и явлений, способы изображения, систему условных знаков, их соответствие назначению карты, легенду карты;

оценку геометрической точности, качество генерализации, современность карты — ее соответствие действительному состоянию местности, отображаемым объектам и явлениям;

согласование данных карты с другими данными.

Изучение целесообразно выполнять от общего к частному, т.е. вначале необходимо получить характеристику всей карты в целом, ее основных и определяющих характеристик, а затем ее отдельных элементов, особенностей.

Описания должны быть выполнены строго последовательно, логично, содержать систематизацию фактов, элементы сравнения, завершаться объективными, четкими оценками и выводами.

Большинство сведений при анализе карты определяют непосредственно по самой карте.

#### 9.2.4. Графические методы анализа.

Включают построение по картам различных графиков, профилей, разрезов, диаграмм, а также получение изображений способами наложения, вычитания, умножения, логарифмирования, дифференцирования, интегрирования поверхностей.

Способы построения графиков, профилей, разрезов, энкор, диаграмм и т.п. подробно рассмотрены в работах ряда авторов.

Остановимся на вопросе о преобразованиях поверхностей.

Используемые для этого исходные показатели, как правило, определяются по картам, на которых они отображены в изолиниях. В случаях, когда явле-

ния отображены на картах не в изолиниях, предварительно преобразуют исходное картографическое изображение в изолинейную форму, представляя его в виде соответствующей статистической поверхности.

Задача сложения возникает, например, при определении каких-то суммарных показателей явлений, заданных на определенный период, вычитания — при подсчете объема земляных работ, объема свесенного и отложенного материала, дифференцирования в заданных направлениях — для увеличения четкости изображения, выделения определенных контуров и линий (при использовании фотоснимков). Эти преобразования могут осуществляться относительно объектов одного или разных типов. Например, к задачам первого типа можно отнести операцию сложения поверхностей на основе подсчета суммы температур, общего количества осадков за какой-то период времени и т.п. К задачам второго типа можно отнести, например, операцию сложения приведенных в единую систему относительных показателей плотности населения на единицу площади и густоты дорожной сети на ту же единицу площади, суммарная характеристика которых может облегчить решение некоторых социально-экономических задач, в частности, задачи использования трудовых ресурсов.

Сложение поверхностей сводится к определению в заданной сетке точек аппликат исходных поверхностей  $Z_{1i}$  и  $Z_{2i}$ , получению их суммарного значения  $Z_{\Sigma i} = Z_{1i} + Z_{2i}$  и построению по этим суммарным аппликатам изолиний, выражающих суммарную поверхность.

Вычитание, умножение и другие преобразования поверхностей выполняются аналогично. При этом любые из них могут выполняться относительно двух, трех или большего числа поверхностей, быть комбинированными, т.е. включающими различные виды преобразований, но при условии, что аппликаты этих исходных поверхностей приведены к единой системе измерений.

### 9.2.5. Картометрические методы исследований

Они позволяют определять геодезические, прямоугольные и полярные координаты точек поверхностей; относительные и абсолютные высоты, глубины, мощности, т.е. аппликаты отображенных на картах объектов и явлений; длины прямых и кривых линий, расстояния между объектами, углы и направления в горизонтальной и вертикальной плоскостях; площади участков плоских и криволинейных поверхностей, объемы участков этих поверхностей или объектов (объемы ледников, осадков, океанических котловин и т.п.).

Картометрические измерения могут выполняться по крупномасштабным, среднемасштабным или мелкомасштабным картам, по фотоснимкам, с помощью ручных (настольных) измерительных инструментов и приборов или с использованием автоматических средств (устройства ввода картографической информации, состыкованных с ЭВМ). В зависимости от этого применяются различные способы выполнения картометрических измерений и получения искомых характеристик.

В наибольшей мере разработаны и освещены в литературе способы решения этих задач по крупномасштабным и среднемасштабным топографическим и гипсометрическим картам с использованием ручных измерительных инструментов и устройств.

Измерение длин (кривых и ломаных линий) обычно осуществляется двумя циркулями-измерителями с микрометрическими винтами, установленными на разные малые растворы (1,0; 1,5; 2,0; 4,0 мм). Например, по формуле А.К. Маловичко можно получить:

$$\ell_0 = \ell_1 + \frac{1}{3}(\ell_1 - \ell_2) - \frac{1}{3}k(\ell_1 - \ell_2),$$

где  $\ell_0$ ,  $\ell_1$ ,  $\ell_2$  — искомая длина и длины кривых, полученных при измерениях циркулями с растворами  $d_1$  и  $d_2$ ,  $d_2 > d_1$ ;

$$k = (0,5d_2 - d_1)/(d_2 - d_1).$$

В последние годы вместо измерений двумя циркулями стали использовать нитяные макеты, изготавливаемые из тонких и гибких проволочек, которым придают необходимую форму (извилистость). В полученные результаты измерений вводят редукции по эмпирическим формулам, позволяющим повысить точность измерений.

Измерение суммарной длины  $\sum \ell$  извилистых линий на некотором участке (например, длины горизонталей, эрозионной сети в речном бассейне) можно выполнить с помощью прозрачной палетки, на которую нанесена сетка квадратов со стороной  $d$ , используя формулы:

$$\sum \ell = \frac{\pi}{4} d n,$$

где  $n$  — число пересечений извилистых линий со сторонами квадратов.

Измерения углов и направлений можно выполнять с помощью транспортира (с точностью до  $15'$ ) или графоаналитическим способом. Определяют длины стороны и перпендикуляра на другую сторону или измеряют длины всех трех сторон  $l_1, l_2, l_3$ . Тогда искомый угол  $\beta$  определяется по известным формулам:

Данная задача легко решается по прямоугольным координатам точек 1, 2, 3, измеренным по карте в любой прямоугольной системе координат, по формуле  $\beta = \arctg \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} - \arctg \frac{y_3 - y_1}{x_3 - x_1}$ .

Измерение площадей осуществляется планиметром или путем взвешивания, или с помощью различных прозрачных палеток.

Средние относительные погрешности при двух измерениях площадей участков от 5 до 4000 мм<sup>2</sup> палеткой с квадратами 1-4 мм<sup>2</sup> находятся в пределах от 14,5 до 0,16%.

Измерение объемов можно выполнить либо по горизонтальным слоям, либо по вертикальным профилям, определяемым по изолиниям.

При измерении объектов по горизонтальным слоям при постоянной высоте сечения

$$V = \frac{Z}{2} \left( \sum_{i=1}^{n-1} 2S_i + S_1 + S_n \right) + \frac{1}{3} S_n \Delta Z,$$

при переменной высоте сечения

$$V = \sum_{i=1}^{n-1} S_{i,ср} Z_i + \frac{1}{3} S_n \Delta Z,$$

где  $S_1, S_2, \dots, S_n$ ;  $S_i$  — площади слоев;

$S_{i,ср}$  — средняя площадь двух смежных слоев;

$Z_i$  — высота сечения между двумя смежными слоями;

$\Delta Z$  — высота вершины над верхним слоем.

### 9.2.6. Морфометрические методы исследований.

Морфометрические исследования по картам получили значительное распространение. В настоящее время наиболее разработана геоморфологическая морфометрия, определяющая количественные характеристики земной поверхности. Получили развитие структурная морфология в геологии, сравнительная морфометрия Луны и планет, гидрологическая, океанографическая, ландшафтная и социально-экономическая морфометрии и др. При этом разработано большое число морфометрических показателей. Они в большинстве случаев являются относительными величинами и выражают соотношения между длинами и высотами, длинами и площадями, углами наклона и площадями и т.п.

К основным из них применительно к геоморфологической морфометрии можно отнести:

коэффициенты частоты и плотности;

показатели горизонтального и вертикального расчленений;

уклоны поверхностей;

коэффициенты извилистости линий и контуров, изображенных на карте;

показатели формы контуров, объектов и др.

Коэффициенты частоты и плотности выражают встречаемость и относительную площадь исследуемых объектов и явлений на местности (карте).

Коэффициентом частоты называют отношение числа объектов  $n$ , изображенных на карте, к общей площади участка  $S$ ,

$$K_n = n/S$$

Коэффициент плотности дает отношение площади  $s$ , занимаемой рассматриваемыми объектами или явлениями, к общей площади участка  $S$ ,

$$K_s = s/S$$

Показатели горизонтального и вертикального расчленений рассчитываются по природным районам, территориальным единицам, ландшафтам, элементарным бассейнам или по геометрическим ячейкам. Устанавливают расчленяющие линии, к которым относят оси максимумов и минимумов поверхности: линии водоразделов и впадин (для рельефа), оси циклонов и антициклонов (для барического рельефа), оси валов и антиклиналей, прогибов и синклиналей (для геолого-структурных поверхностей) и т.д.

К показателям горизонтального расчленения можно отнести: среднюю площадь элементарных скатов, общую длину орографических (расчленяющих) линий, суммарную длину рек, коэффициент густоты орографических (расчленяющих) линий, среднюю относительную высоту элементарных скатов.

Наиболее часто используется показатель отношения суммарной длины расчленяющих линий  $\sum \ell$  к площади  $S$  участка

$$K_{rp} = \frac{\pi}{4} dm/S$$

К показателям вертикального расчленения относят: среднюю высоту участка  $H$ , амплитуду абсолютных высот  $\Delta H$ , средний угол наклона элементарных скатов  $\alpha$ ,

$$\Delta H = H_{\max} - H_{\min}$$

При определении уклонов поверхностей устанавливают фактический угол наклона поверхности в данной точке, как отношение высоты сечения горизонталей к величине их заложения в направлении, ортогональном к изолиниям в данной точке, а также средний уклон участка поверхности, определяемый по формуле Финстервальдера-Волкова.

Для характеристики извилистости незамкнутых кривых используются три коэффициента.

относительной извилистости — отношение длины кривой  $\ell$  к аппроксимирующей ее сглаженной кривой  $s$ .

$$K_o = \ell/s$$

извилистости общих очертаний — отношение кривой  $s$  к хорде  $d$ .

$$K_\beta = s/d$$

общей извилистости — отношение рассматриваемой кривой  $s$  к хорде  $d$ .

$$K_\gamma = \ell/d.$$

Показатели формы разработаны недостаточно. Одним из ее показателей является отношение радиусов вписанной и описанной в данный контур окружностей.

### 9.2.7. Методы дифференциации (классификации) территорий и объектов.

Классификации, представляющие собой упорядочение объектов (явлений) по совокупности определяемых характеристик (показателей, признаков, и др.), относятся к фундаментальным процессам в науке.

При решении вопросов дифференциации (районирования) территорий и объектов важно определить не только структурные внутренние признаки (параметры) территориальных комплексов, но и соотношения между этими комплексами, устанавливаемые по совокупности внутренних признаков

(показателей), характерных для рассматриваемых территориальных единиц (объектов).

Задачи дифференциации территорий или объектов по совокупности показателей можно решать с использованием таксономических методов, дискриминантного и кластерного анализов, теоремы Байеса и других методов.

Сущность таксономических методов заключается в следующем.

Для рассматриваемых территорий (объектов) устанавливается количество  $m$  территориальных единиц (объектов), для каждой из которых определены значения характеристик  $X_k$  по  $n$  показателям. Принимаем эти показатели за координаты в  $n$ -мерном пространстве и определяем для каждой пары единиц таксономические расстояния

$$d_{kj} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{ki} - X_{ji})^2} \quad (k, j = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n)$$

Составляем матрицу этих расстояний  $D$ , с использованием которой выполняется дифференциация территорий (объектов) по различным алгоритмам.

Например, в способе, описанном Б. Берри в 1961 г. дифференциация осуществляется поэтапно. Вначале имеем  $m$  исходных территориальных единиц (или объектов). На первом этапе находим в матрице  $D$  наименьшее таксономическое расстояние  $d_{ij}$  между территориальными единицами  $i$  и  $j$  и объединяем их в одну новую матрицу. Устанавливаем для нее показатели, являющиеся среднесрифметическими из показателей исходных территориальных единиц.

В результате таких вычислений вместо  $m$  территориальных единиц их будет образовано  $m-1$ . По показаниям этих  $m-1$  единиц вновь вычисляем таксономические расстояния, составляем матрицу этих расстояний  $D$ , находим в ней наименьшее расстояние  $d_{kl}$ , объединяем единицы  $k$  и  $l$  в одну новую матрицу, имеющую усредненные показатели. В итоге получаем  $(m-2)$  территориальные единицы.



Этот процесс может продолжаться до тех пор, пока не образуется одна территориальная единица, или пока не будет достигнута необходимая степень дифференциации (необходимое число таксонов).

Рассмотренный способ простой, но требует многократного последовательного вычисления таксономических расстояний; таксоны определяются механически, а различия между ними не всегда могут быть устойчивыми.

Задачу можно решить иначе. Вначале определяют эталонные единицы на основании мнений специалистов (географов, картографов и других) или с помощью того или иного алгоритма.

Затем решают задачу отнесения каждой территориальной единицы к той или иной эталонной совокупности с использованием того или иного алгоритма, например, дискриминантного или кластерного анализа.

Теорему Байеса применяют для дифференциации объектов и явлений, имеющих случайное происхождение.

#### **9.2.8. Некоторые основные элементы математической статистики и теории вероятности.**

Теория вероятностей — это математическая наука, изучающая количественные закономерности случайных явлений.

К ним относятся явления, которые при неоднократном воспроизведении одного и того же опыта, наблюдения протекают каждый раз несколько по-иному.

Законы распределения случайных величин устанавливаются на основе экспериментальных данных. Методы описания и анализа этих данных, составляющих статистические совокупности, разрабатываются математической статистикой. В геоинформационных системах изучают пространственные и временные статистические совокупности, которые обычно выражаются на картах в виде статистических поверхностей, представляющих собою поверхности непрерывного распределения определенного количественного признака.

Отдельные значения, определенные в ряде точек по картам или в результате выполнения других измерений, называют в математической статистике вариантами. Если эти варианты расположить в порядке возрастания или убывания их количественного признака, то получим вариационный ряд.

Возьмем ряд измерений, например, длин рек  $L_1, L_2, \dots, L_n$  и составим вариационный ряд. Разобьем этот ряд на части, получим  $n$  интервалов  $\Delta L$ .

Количество измерений находящихся в пределах данного интервала, называется частотой  $f$ .

Частотой  $\omega$  называют частоту  $f$ , отнесенную к общему числу измерений.

Плотностью распределения  $p$  называют частоту  $f$ , приходящуюся на единицу ширины интервала  $\Delta L$  вариационного ряда.

Относительной плотностью распределения  $p'$  называют частоту  $\omega$ , приходящуюся на единицу ширины интервала.

Наглядное представление статистических характеристик дает графическое изображение вариационных рядов в форме гистограммы, полигона или интегральной кривой.

Гистограмма строится по двум переменным — частоте или частости и интервалам вариационного ряда. Соответственно будем иметь гистограмму частот или частостей.

В математической статистике для обобщения характеристики вариационных рядов, анализа нескольких выборок, полученных с разных карт, и других источников, используются различные обобщающие показатели. К ним относятся средние величины (медиана, мода, средняя арифметическая, средневзвешенная арифметическая) и показатели разнообразия (среднее квадратическое отклонение, дисперсия, размах и коэффициент вариации). Между понятиями математической статистики и теории вероятности имеются различия и связи. Основные из них состоят в следующем:

статистические характеристики относятся к эмпирическим, а вероятностные характеристики — к теоретическим понятиям;

в математической статистике изучают выборочные совокупности исследуемых предметов и явлений, а в теории вероятностей - их генеральную совокупность, т.е. всё множество однородных величин, все возможные значения исследуемой совокупности;

статистические характеристики изменчивы, а вероятностные - устойчивы, постоянны, являются как бы теоретическими, идеальными значениями к которым при определённых условиях стремятся эмпирические величины.

Показателям, понятиям математической статистики соответствуют показатели, понятия теории вероятностей.

Так, теоретическое понятие вероятности, можно определить как предел, к которому стремится частость или относительная плотность распределения при возрастании числа наблюдений.

Таким показателям, как средняя арифметическая, взвешенная средняя арифметическая, в теории вероятностей соответствует математическое ожидание, которое можно рассматривать как вероятное предельное значение взвешенной среднеарифметической, характеризующее центр распределения. Дисперсия и среднее квадратическое отклонение являются в теории вероятностей характеристикой рассеяния случайной величины относительно центра распределения. Именно в наличии таких связей состоит практическая польза методов математической статистики.

Создаётся возможность от эмпирических распределений перейти к теоретическим, выраженным соответствующими формулами, использование которых позволяет при задании численных значений переменных предвычислить и затабулировать вероятность событий.

Задача о возможной замене эмпирических закономерностей теоретическими сводится к определению согласия эмпирических и теоретических законов распределения.

Известно множество теоретических законов распределения: нормальное, биномиальное, полиномиальное, гипергеометрическое распределения, распределение Пуассона и др.

При решении задач ГИС наиболее часто встречается нормальное распределение (распределение Гаусса), при котором варианты располагаются симметрично относительно средней величины.

Основная формула нормального закона распределения

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\bar{x})^2/2\sigma^2}$$

где  $F(x)$  - вероятность появления случайной величины  $x$ ;  $x, \bar{x}$  - численные значения случайной величины и её среднее арифметическое (взвешенное) значение;  $e$  - основание натурального логарифма;  $\sigma$  и  $\sigma^2$  - стандарт и дисперсия.

Теоретическая функция распределения обычно вычисляется по данным эмпирического ряда распределения.

Оценка согласия эмпирических и теоретических законов распределения осуществляется с использованием специальных показателей, называемых критериями согласия.

Широко используется критерии Пирсона  $\chi^2$  и А. Н. Колмогорова  $\lambda$ , которые соответственно выражаются формулами

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_i - f'_i)^2}{f'_i},$$

$$\lambda = \frac{|\sum f_i - \sum f'_i| \max}{\sqrt{m}},$$

где  $f_i$  - частоты, количество измерений, находящихся в пределах данного интервала вариационного ряда;

$f'_i$  - теоретические частоты классов, определяемые по формуле

$$f'_i = F(x) m \Delta L,$$

$m$  — число измерений;

$n$  — число интервалов, на который разделен вариационный ряд;

$\Delta L$  — ширина интервала;

$\Delta \sum f_{\text{э}}, \Delta \sum f_{\text{т}}$  — суммы накопленных частот эмпирического и теоретических распределений.

### 9.2.9. Определение формы и тесноты связи явлений и объектов (корреляционный анализ).

Объекты и явления реальной действительности находятся между собой в той или иной взаимосвязи. Эти связи могут быть функциональными или статистическими. Последние характеризуются тем, что одна случайная переменная реагирует на изменение другой изменением своего закона распределения. Между некоторыми явлениями связь может отсутствовать.

При решении научно-технических задач возникает необходимость установления формы и тесноты связей между двумя или большим числом различных явлений, изображенных, например, на картах разной тематики, или между различными состояниями одного явления на два или более различных моментов или отрезков времени.

Эффективными методами исследования указанных взаимосвязей являются корреляционный и регрессионный анализы, при использовании которых исходят из предположения о том, что исследуемые явления подчинены определенным вероятностным законам.

При определении взаимосвязей явлений с помощью аппарата корреляционного анализа могут быть исследованы:

наличие и форма взаимосвязи между двумя или большим числом явлений природы и общества;

способы определения взаимосвязей с использованием результатов измерений, представленных в различных формах (количественной, качественной или смешанной);

различные виды связей и, следовательно, различные виды коэффициентов корреляции.

Предварительное представление о форме и тесноте связи можно получить с помощью графиков, образующих поля корреляции (диаграммы рассеяния).

При использовании количественных показателей изучается параметрическая корреляция, при наличии качественных характеристик — непараметрическая корреляция.

Рассмотрим различные виды коэффициентов параметрической корреляции.

При наличии двух зависимых случайных величин  $x$  и  $y$  математическое ожидание выражения  $M(x - \bar{x})(y - \bar{y})$  называют ковариацией случайных величин  $x$  и  $y$ .

Разделив ковариацию на среднеквадратические истинные отклонения этих величин, получаем истинный коэффициент корреляции

$$\rho = \frac{M(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{S_x \cdot S_y}$$

Эмпирическая мера тесноты линейной связи между рассматриваемыми величинами определяется с помощью простого (выборочного) коэффициента корреляции, величины же линейной зависимости одной переменной от нескольких измеряются множественным коэффициентом корреляции.

Выборочный парный коэффициент корреляции вычисляется по формуле

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n\sigma_x\sigma_y}$$

где  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ ,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  — средние арифметические значения и стандарты. Числовые значения  $r$  находятся в пределах  $-1 \leq r \leq 1$ . При  $r=1$  или  $r=-1$  между явлениями существуют точные прямые или обратные прямолинейные связи (функциональные зависимости).

В случае, когда  $r = 0$ , между явлениями прямой корреляционной связи нет (может быть криволинейная связь).

Для оценки значимости коэффициента корреляции  $r$  при числе наблюдений  $m \geq 50$  применяется формула В. И. Романовского:

$$m_r = \frac{1-r^2}{\sqrt{m}}$$

Связь считается установленной, если выполняется условие  $|r| \geq 3m_r$ .

В случае, когда число наблюдений  $m < 50$  оценка значимости коэффициента корреляции может быть определена с использованием критерия Фишера:

$$z = \frac{1}{2} \{ \ln(1+|r|) - \ln(1-|r|) \},$$

который подчиняется нормальному закону распределения.

Среднее квадратическое отклонение величины  $z$  вычисляется по формуле

$$\delta(z) = \frac{1}{\sqrt{n-3}}$$

Определяют пределы возможного изменения  $z$

$$z_1 \leq z \leq z_2,$$

где  $z_1 = z - \delta(z)$ ,  $z_2 = z + \delta(z)$  и вычисляют по значениям  $z_1$  и  $z_2$  коэффициенты корреляции  $r_1$ ,  $r_2$  и  $\Delta r = r_2 - r_1$  по формуле

$$r_{1,2} = \frac{e^{2z} - 1}{e^{2z} + 1}.$$

В случае, если доверительный интервал  $\Delta r$  меньше коэффициента корреляции  $r$ , то наличие линейной корреляции между рассматриваемыми явлениями можно считать установленным.

Частные коэффициенты корреляции позволяют оценить связь между двумя рассматриваемыми переменными при исключении влияния взаимодействия этих двух переменных с другими оставшимися переменными.

В частности при рассмотрении трёх явлений  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , этот коэффициент имеет вид

$$r_{abc} = \frac{r_{ab} - r_{ac}r_{bc}}{\sqrt{1-r_{ac}^2}\sqrt{1-r_{bc}^2}}$$

и даёт возможность оценить связь между первыми двумя явлениями при исключении влияния третьего.

Значения этого коэффициента корреляции заключены в пределах между  $-1$  и  $+1$ ; нуль означает, что явления  $a$  и  $b$  независимы, когда величины переменных  $c$  и  $d$  фиксированные.

Множественный коэффициент корреляции даёт возможность установить меру линейной зависимости между данным явлением  $X_1$  и другими  $X_2, X_3, \dots, X_m$ .

Для трёх переменных формула коэффициента множественной корреляции имеет вид:

$$R_{1,23} = \sqrt{\frac{r_{12}^2 + r_{13}^2 - 2r_{12}r_{13}r_{23}}{1 - r_{23}^2}}, \text{ где } 0 \leq R \leq 1.$$

Значение  $R_{1,23} = 1$  указывает на полную линейную зависимость переменной  $X_1$  от линейной комбинации переменных  $X_2, X_3, \dots$ . Нулевое значение этого коэффициента означает, что переменная  $X_1$  линейно не зависит от набора переменных  $X_2, X_3, \dots$ .

Из коэффициентов непараметрической корреляции наибольшее применение находят ранговые коэффициенты корреляции. В ряде случаев исследуемые объекты (явления) или их признаки не имеют точной количественной оценки, но имеется возможность их сравнения по качественным показателям. Для этого по рассмотренному признаку устанавливают ранги объектов, которыми являются порядковые номера, начиная с единицы, и увеличивающиеся по мере убывания признака. Единицу присваивают, например, объекту, имеющему наибольшую протяженность по длине, или наибольшую пло-



щадь. В том случае, когда объекты получают одинаковые ранги и делают при этом места, например 5,6,7,8, всем этим объектам присваивается среднее арифметическое значение ранга 6,5.

Вычисления ранговых коэффициентов корреляции можно выполнить по формулам Спирмена или Кендалла. Более широкое использование нашла формула Спирмена:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^m (P_i - P_n)^2}{m^3 - m}$$

где  $m$  - число пар измерений в выборке, в частности совпадающей с числом районов на картах (например, ареалов лесов, почв и т.п.), по которым определяются ранги.

Гипотеза о наличии линейной связи между явлениями считается подтвержденной, если вычисленные значения ранговых коэффициентов по Спирмену будут больше табличных при наибольшем числе измерений:

Число измерений	10	20	24	30
Уровень существенности:				
0,05 .....	0,564	0,377	0,343	0,306
0,01 .....	0,746	0,534	0,485	0,432

#### 9.2.10. Определение связи зависимой и независимой случайных переменных (регрессионный анализ)

В регрессионном анализе рассматриваются статистические зависимости между одной переменной, называемой зависимой переменной, и другой или несколькими, называемыми независимыми (объясняющими) переменными. Эта связь переменных выражается в виде определенной функции – уравнения регрессии зависимой переменной по независимым переменным, в которое входит также набор неизвестных параметров.

При этом возможны следующие варианты:

функция линейна относительно постоянных параметров и независимых переменных;

функция линейна относительно постоянных параметров, но нелинейна относительно независимых переменных;

функция нелинейна относительно и параметров, и независимых переменных.

Статистическими задачами регрессионного анализа являются:

получение наилучших оценок неизвестных параметров регрессии  $\beta_i$ ;

проверка гипотез относительно этих параметров;

решение задач предсказания в пространстве и во времени.

Если устанавливается связь одной зависимой переменной от другой независимой, то получаем уравнение одномерной линейной регрессии, например, в виде:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + U$$

где  $\beta_0$  и  $\beta_1$  — постоянные параметры;  $U$  — возмущающая переменная, характеризующая величину отклонения линии регрессии от истинных значений функции  $Y(X)$ .

При наличии линейной связи одной зависимой и других независимых переменных можно записать уравнение множественной линейной регрессии:

$$Y = \beta_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_m X_m + U$$

где  $\beta_i$  постоянные параметры ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) оценку которых определяют по способу наименьших квадратов.

При наличии трех переменных уравнение линейной регрессии принимает вид:

$$Y = \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 X_2 + \hat{\beta}_3 X_3,$$

где  $\hat{\beta}_1$ ,  $\hat{\beta}_2$ ,  $\hat{\beta}_3$  — оценки теоретических значений параметров, которые можно определить по формулам

$$\hat{\delta}_2 = b_{123} = r_{123} \frac{\delta_{13}}{\delta_{23}}; \quad \hat{\delta}_3 = b_{123} = r_{112} \frac{\delta_{12}}{\delta_{32}}$$

$$\hat{b}_1 = \bar{Y} - \hat{\delta}_2 \bar{X}_2 - \hat{\delta}_3 \bar{X}_3;$$

$$r_{123} = \frac{r_{12} - r_{13}r_{23}}{\sqrt{1-r_{13}^2}\sqrt{1-r_{23}^2}}; \quad r_{112} = \frac{r_{13} - r_{12}r_{23}}{\sqrt{1-r_{12}^2}\sqrt{1-r_{23}^2}}$$

$$\delta_{12} = \delta_1 \sqrt{1-r_{12}^2}; \quad \delta_{23} = \delta_2 \sqrt{1-r_{23}^2};$$

$$\delta_{32} = \delta_3 \sqrt{1-r_{32}^2}; \quad \delta_{31} = \delta_3 \sqrt{1-r_{31}^2}.$$

$\delta_1, \delta_2, \delta_3$  — стандарты, вычисляемые по формуле

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{m}}$$

$\bar{Y}, \bar{X}_2, \bar{X}_3$  — средние значения переменных;

$r_{ij}$  — парные коэффициенты корреляции.

Уравнениям линейной регрессии, нелинейной относительно независимых переменных можно придать различный вид. Так при наличии двух переменных можно записать:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^m \beta_i X^i + U$$

Когда имеется более двух переменных, получим

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^m \beta_i X_i + \sum_{i,j=1}^m \beta_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^m \beta_{ii} X_i^2 + \dots + U$$

где  $\beta_0, \beta_i, \beta_{ij}, \beta_{ii}$  — теоретические значения коэффициентов регрессии, оценку которых также можно выполнить по способу наименьших квадратов.

Решение задачи оценки параметров нелинейной регрессии и по параметрам и по аргументам представляет определённые трудности.

Отметим что в настоящее время всё большее применение находит решение задачи определения оптимальных вариантов уравнений регрессии, назы-

ваемой пошаговой регрессией, на основе определения состава и вида независимых переменных, которые входят в рассматриваемые уравнения регрессии, путём выполнения процедур включения и исключения переменных (перебора переменных).

### 9.2.11. Выявление влияния изменений факторов на средние результаты исследуемых явлений (дисперсионный анализ)

Дисперсионный анализ представляет собой статистический метод анализа результатов наблюдений, зависящих от различных одновременно действующих факторов, позволяющий установить в какой мере существенно влияние того или иного фактора или их комбинаций на рассматриваемый признак, оценить влияние тех или иных факторов или их групп на изменчивость средних значений изучаемого явления.

Различают одно-, двух-, трёх-, и многофакторный варианты дисперсионного анализа, в ходе которых проверяется действие одного или большего одновременно действующего числа факторов.

Рассмотрим вариант дисперсионного анализа, когда проверяется действие одного фактора при одинаковом и разном количестве измерений.

Пусть, например, имеем  $m$  приборов и каждым из них измерены одни и те же физические величины (длины, углы, площади, высоты и др.)  $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$  раз. Необходимо выяснить, являются ли результаты наблюдений однородными, характеризующимися систематическими ошибками одного порядка, или имеются индивидуальные систематические ошибки, вызываемые особенностями используемых приборов (наблюдателей).

Для решения данной задачи дисперсия выборочной совокупности раскладывается на составляющие, обусловленные влиянием различных факторов.

Составляются вспомогательная и основная таблица. В первой помещают результаты наблюдений (измерений) и их средние значения. Во второй вычисляют дисперсию по факторам, остаточную и полную (общую) дисперсию и число степеней свободы для каждой из них. Поделив эти составляющие

дисперсии на соответствующие числа степеней свободы, получают средние значения квадратов дисперсии по факторам  $S_1^2$  и остаточной дисперсии  $S_2^2$ , а затем критерий  $F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$ .

При одинаковом количестве измерений указанные таблицы принимают вид

Табл. 1

Прибор наблюд атели	Результаты наблюдений						среднеарифметичес ие значения
	1	2	3	...	j	г	
1	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$		$X_{1j}$		$\bar{X}_1$
2	$X_{21}$	$X_{22}$	$X_{23}$		$X_{2j}$		$\bar{X}_2$
i	$X_{i1}$	$X_{i2}$	$X_{i3}$		$X_{ij}$		$\bar{X}_i$
m	$X_{m1}$	$X_{m2}$	$X_{m3}$		$X_{mj}$		$\bar{X}_m$

 $\bar{x}$ 

Табл. 2

Компонент ы дисперсии	Сумма квадратов	Число степе ней свободы	Среднее значе ние квадрата	Вычисленный критерий
Дисперсия по факторам	$n \sum_{i=1}^m (\bar{x}_i - \bar{x})^2 = Q_1$	$k_1 = m - 1$	$S_1^2 = \frac{Q_1}{K_1}$	
Остаточная дисперсия	$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 = Q_2$	$k_2 = m(n - 1)$	$S_2^2 = \frac{Q_2}{K_2}$	$F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$

Полная (общая) дисперсия	$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x})^2 = Q$	$k = mn - 1$	$S^2 = \frac{Q}{k}$	
--------------------------------	--	--------------	---------------------	--

Для случая, когда число наблюдений в сериях неодинаково, изменяются только формулы для вычисления суммы квадратов рассеяния  $Q_1$  и  $Q_2$ :

$$Q_1 = \sum_{i=1}^m n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2;$$

$$Q_2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2,$$

где  $n_i$  — число наблюдений в  $i$ -ой группе (в серии).

В случае, когда вычисленное значение меньше или равно табличному, т.е.  $F \leq F_{\text{таб}}$ , результаты наблюдений считаются однородными, индивидуальных систематических ошибок, вызванных влиянием рассматриваемого фактора (прибора, наблюдателя), нет, т.е. можно считать, что все измерения, выполненные на всех приборах (всеми наблюдателями) представляют собой выборку из одной и той же генеральной совокупности.

Аналогично решается задача для двух трех и многофакторных вариантов дисперсионного анализа.

#### 9.2.12. Определение ведущих факторов размещения и развития явления (компонентный, многофакторный анализы)

При решении многокомпонентных задач народного хозяйства, например, определении оптимального размещения производственно-территориальных комплексов, зон санаторно-курортного лечения и т.п., приходится принимать во внимание многочисленные природные и социально-экономические факторы, одновременно влияющие на объект исследования.

Возникают большие трудности в отображении множества разнообразных показателей на картах, принятии с их использованием достаточно обоснованных решений.

Отсюда появляется необходимость сжатия информации, выявления из многочисленных, порой противоречивых, показателей, характеристик, разных по своей значимости и важности, ведущих, а так же выполнения при необходимости районирования отображаемых территорий и объектов и создания соответствующих синтетических карт.

Эффективному решению этих задач способствует использование многомерного анализа, в частности компонентного и многофакторного, а так же латентно-структурного анализа и метода канонической корреляции. Рассмотрим основные положения компонентного анализа.

Имеем исходную корреляционную матрицу  $R$ , в которой дисперсии по столбцам имеют величины, которые изменяются в произвольном порядке. Задача заключается в том, чтобы путём ортогонального преобразования исходной матрицы  $R$  перейти к новой системе координат — от исходных переменных  $x_1, x_2, \dots, x_n$  к искомым главным компонентам  $z_1, z_2, \dots, z_n$ . В преобразованной при этом матрице дисперсии по столбцам по своей величине должны расположиться в убывающем порядке. В этом случае наибольшую долю общей (суммарной) дисперсии выбирает первая главная компонента, затем вторая и т.д., а первые несколько компонент выберут главную часть общей дисперсии. Представляется возможным вместо всех компонент использовать для дальнейшей обработки только эти первые компоненты.

Основная формула компонентного анализа может быть представлена в виде

$$z_r = \sum_{p=1}^n w_{pr} x_p$$

где  $x_p, z_r$  — соответственно  $p$ -я исходная переменная и  $r$ -я компонента;  
 $w_{pr}$  — вес  $p$ -й переменной в  $r$ -й компоненте (компонентные нагрузки).

Задача получения значений главных компонент по исходным переменным и наоборот сводится к определению компонентных нагрузок. Она решается

на основе использования понятий о собственных значениях и собственных векторах.

Известно, что ненулевой вектор  $x \neq 0$  называется собственным вектором матрицы  $R$ , если в результате соответствующего линейного преобразования этот вектор переходит в коллинеарный ему, т.е. отличается от исходного только скалярным множителем

$$Rx = \lambda x.$$

Здесь  $\lambda$  — называется собственным значением или характеристическим числом матрицы  $R$ , соответствующим данному собственному вектору  $x$ .

Из полученного выражения можно записать уравнение в матричной форме

$$(R - \lambda E)x = 0.$$

Развертывая определитель  $(R - \lambda E) = 0$ , получаем характеристический полином, различные корни уравнения которого являются собственными значениями  $\lambda_i$  матрицы  $R$ .

Представим этот полином в виде

$$\det(\lambda E - R) = \lambda^n + P_1 \lambda^{n-1} + \dots + P_n$$

и используя корреляционную матрицу  $R$ , вычислим вспомогательные матрицы

$$R^2 = RR; \quad R^3 = R^2 R; \quad \dots \quad R^c = R^{c-1} R,$$

где  $c = 2, 3, \dots, n$ .

Находим суммы диагональных элементов:  $S_1$  — по матрице  $R$ ,  $S_2$  — по матрице  $R^2$ , ...,  $S_c$  — по матрице  $R^c$ .

Получаем коэффициенты характеристического полинома

$$P_0 = 1$$

$$P_1 = -S_1;$$

$$\dots$$



$$P_n = -\frac{1}{n} \{S_n + P_1 S_{n-1} + \dots + P_{n-1} S_1\}.$$

Находим приближенные собственные значения

$$\lambda_1 = -P_1/P_0; \quad \lambda_2 = -P_2/P_1; \quad \lambda_n = -P_n/P_{n-1}.$$

Записываем производную от характеристического полинома и методом итераций находим точные величины собственных значений по способу Ньютона

$$\lambda_j = \lambda_{j, \text{ис}} - \frac{F(\lambda_{j, \text{ис}})}{F'(\lambda_{j, \text{ис}})}$$

Получив собственные значения  $\lambda_j$ , подставляем последовательно их величины в полученное выше уравнение (стр. 189), из его решения находим собственные вектора, соответствующие используемым в этих уравнениях собственным значениям. Теперь компонентные нагрузки  $W_j$  для каждого  $j$ -го столбца равны произведению  $j$ -тых собственных векторов на корень квадратный из  $j$  собственных значений. В преобразованной матрице дисперсии по столбцам будут располагаться в убывающем порядке, первые две - три главные компоненты выберут основную часть общей дисперсии, что позволяет выполнить вычисления исходных переменных только по значениям трёх, двух или только одной компоненты т.е. осуществляется сжатие информации, выделение ведущих факторов.

Это дает возможность, используя вычисленные значения главных компонент, составить отдельно по каждой из них или сразу по нескольким компонентам карты соответствующих синтетических характеристик, наглядно характеризующих результаты компонентного анализа и обеспечивающие решение по ним разнообразных научных и практических задач.

Основное предложение многофакторного анализа выражается уравнением

$$x_p = \sum_{i=1}^k \ell'_{pi} f_i + e_p, \quad (p=1, 2, 3, \dots, n),$$

где  $x_p, f_r$  — соответственно  $p$ -ая исходная переменная и  $r$ -й фактор;

$\ell_{pr}$  — нагрузка  $r$ -ого фактора на  $p$ -ую переменную;  $n, k$  — числа соответственно исходных переменных и факторов ( $k < n$ );  $e_p$  — остаток.

В данном методе решают задачу преобразования исходной корреляционной матрицы  $R$ , имеющей  $n \times n$  элементов ( $k < n$ ), в матрицу факторных нагрузок с  $n \times k$  элементами. При этом полагают, что наблюдаемые переменные  $x_p$  подчиняются многомерному нормальному закону распределения случайных величин.

Факторные нагрузки определяют решения матричного уравнения

$$R = LL' + V,$$

где  $L, L'$  — матрица факторных нагрузок и ее транспонированная матрица.

Однако решение этого уравнения не является однозначным и данный метод менее эффективен по сравнению с методом компонентного анализа.

При создании карт с использованием одного из двух указанных методов синтетические характеристики отображаются на них способом изолиний, реже применяется способ картограмм.

### 9.2.13. Методы теории аппроксимации.

Сущность аппроксимации состоит в замене аналитических функций, вид которых неизвестен, приближенными зависимостями, обеспечивающими наилучшее приближение.

К числу основных задач, решаемых с использованием таких функций относятся:

преобразования картографических изображений (проекции), дискретных способов отображений в непрерывные, локальных систем координат в системы картографических проекций;

описание физических и статических поверхностей, выделение фоновой (трендовой) и остаточной поверхностей;

интерполяция и экстраполяция пространственно-временных закономерностей;

действия связанные со сложением, вычитанием, логарифмированием, дифференцированием, интегрированием поверхностей, с их использованием для определения картометрических и морфометрических характеристик и др.

В качестве аппроксимирующих функций могут применяться различные полиномы одного, двух и более аргументов, дающих приближение в пределах всего отрезка данной линии или всей площади данного участка; кусочные функции, дающие приближение в пределах данного отрезка или участка и их границ, а также точечные полиномы или соответствующие им функции.

При изучении вероятностной (стохастической) составляющей модели реальных процессов решение рассматриваемых вопросов весьма близка к задаче исследования и использования случайных функций в теории предсказания.

Из интерполяционных и аппроксимирующих функций одного аргумента применяются интерполяционные формулы Лагранжа, Стефенсена, тригонометрические полиномы, интерполяционные формулы с центральными разностями, итерационно-интерполяционный метод Эйткена и др., степенные полиномы, ряды, членами в которых являются функции ортогональных систем (тригонометрической, систем функций Бесселя, Радемакера, Уолша, системы собственных функций задачи Штурма-Лиувилля) и особенно ортогональные полиномы Лежандра, Чебышева, Якоби, обобщающие два предыдущих вида полиномов (многочлены Лагерра и Эрмита), тригонометрический ряд Фурье и др.

К аппроксимирующим полиномам двух аргументов относятся: алгебраические, гармонические, мультиквадратичные полиномы, полиномы Ньютона, гомографического и аффинного соответствия, ортогональные системы двух переменных, двойные ряды Фурье, сплайн-функции и другие.

Наиболее часто используются следующие из них. Степенные алгебраические полиномы

$$Z = \sum_{k=0}^{\xi_1} \sum_{n=0}^{\xi_2} a_{kn} \xi^k \eta^n + v.$$

Гармонические полиномы

$$Z = \sum_{k=0}^{\xi_1} Q_k \psi_k + \sum_{k=1}^{\xi_2} b_k \theta_k + v$$

или

$$Z = \sum_{k=0}^{\xi_1} a_k \psi_k + v_1,$$

где по рекуррентным формулам В.П. Морозова

$$\varphi_k = \xi \psi_{k-1} - \eta \theta_{k-1}, \quad \theta_k = \xi \theta_{k-1} + \eta \varphi_{k-1}.$$

Мультиквадратичные полиномы

$$z = a_0 + \sum_{k=1}^{\xi} a_k \left[ (\xi - \xi_k)^2 + (\eta - \eta_k)^2 + \alpha_k \right]^{\frac{k}{2}} + v.$$

Полиномы типа Ньютона

$$z = a_0 + \sum_{j=1}^{\xi} a_j \prod_{k=1}^j [(\xi - \xi_k) + (\eta - \eta_k)]$$

Полиномы гомографического соответствия

$$X = \frac{a_1 x + a_2 y + a_3}{c_1 x + c_2 y + c_3}; \quad Y = \frac{b_1 x + b_2 y + b_3}{c_1 x + c_2 y + c_3}; \quad (c_3 \text{ можно принять равным } 1)$$

Полиномы аффинного соответствия

$$x = a_0 + a_1 \xi + a_2 \eta,$$

$$y = b_0 + b_1 \xi + b_2 \eta,$$

определяемые при наличии не менее 3-х опорных точек, не лежащих на одной прямой.

Двойные ряды Фурье

$$Z = \sum_{n,m=0}^{\infty} \lambda_{nm} [a_{nm} \cos n\xi \cos m\eta + b_{nm} \sin n\xi \cos m\eta + c_{nm} \cos n\xi \sin m\eta + d_{nm} \sin n\xi \sin m\eta],$$

$$\text{где } \lambda_{nm} = \begin{cases} 1/4, & m=n=0 \\ 1/2, & n \geq 1, m=0 \text{ и } n > 0, m \geq 1 \\ 1, & n \geq 1, m \geq 1 \end{cases}$$

$$n=0, 1, 2, \dots, m=0, 1, 2, \dots$$

$$a_{nm} = \frac{1}{\pi^2} \iint_k f(\xi, \eta) \cos n\xi \cos m\eta d\xi d\eta,$$

$$b_{nm} = \frac{1}{\pi^2} \iint_k f(\xi, \eta) \sin n\xi \cos m\eta d\xi d\eta,$$

$$c_{nm} = \frac{1}{\pi^2} \iint_k f(\xi, \eta) \cos n\xi \sin m\eta d\xi d\eta,$$

$$d_{nm} = \frac{1}{\pi^2} \iint_k f(\xi, \eta) \sin n\xi \sin m\eta d\xi d\eta,$$

$$k\{-\pi \leq \xi \leq \pi, -\pi \leq \eta \leq \pi\}.$$

В этих формулах  $\alpha_n$  — параметры принимающие заданные значения;  $a_k, b_k, c_k$  — постоянные параметры, определяемые из решения систем указанных уравнений;  $\xi, \eta$  — исходные переменные.

Кроме того могут быть использованы ряды по полиномам Лежандра и присоединенным функциям, полиномы получаемые методом ортогонализации.

Кусочные функции, дающие приближенные в пределах выбранного участка (отрезка) и его границ в основном основаны на применении сплайн-функций.

#### 9.2.14. Определение синтетических характеристик полей.

К числу карт, на которых отображаются не только аналитические показатели, выражающие исследуемое явление в его прямых характеристиках, но и

интегральные (синтетические) показатели, дающие обобщенную характеристику рассматриваемого явления, относятся карты полей.

Условно их можно подразделить на две группы: карты полей физических и карты статистических поверхностей (расчетных полей).

Для построения статистических поверхностей можно использовать различные способы в том числе:

способы скользящего и взвешивающего кружка, разработанные В.А.Червяковым в 1978 г.;

способ аппроксимации;

центрографический способ;

способ построения на одной основе карты плотности дорожной сети и населения в изолиниях;

способ потенциалов, который имеет ряд разновидностей.

Среди последних важной значение имеет разработка способов определения демографического потенциала, дающего интегральную характеристику группы социально-экономических явлений: количества населения, частоты размещения населенных пунктов, дорожных сетей.

Данные модели могут быть названы псевдогравитационными, так как они подобны гравитационным моделям Земли и других небесных тел.

Степенью взаимодействия указанных факторов может быть выражено формулой потенциала для каждого  $j$  населенного пункта

$$F_j = \sum_{i=1}^n \frac{P_{(i)}}{KD_j}$$

где  $P_{(i)}$  — людность населенных пунктов, для каждого из которых  $i=j$ ;

$D_j$  — расстояние от рассматриваемого населенного  $i=j$  пункта до других;

$K$  — постоянные коэффициенты, позволяющие перейти от реальных расстояний к ортодромическим.

При использовании этой модели, в которой  $D'_y = D_y$ , в точках локализации каждого населенного пункта  $D_y = 0$  и возникает разрыв изображения. Чтобы избежать этот недостаток для точек населенных пунктов  $I=j$  стали полагать  $D_y = 1$ , что приводит к вспучиванию потенциала в этих точках. Для избежания указанных недостатков можно положить, что

$$D'_y = D_{yD} + c,$$

где  $c$  — постоянная величина, мало влияющая на определение величин потенциала.

В картографической литературе рассматриваются и другие способы решения этой задачи.

#### 9.2.15. Динамика развития объектов и явлений.

Изучение процесса возникновения, развития объектов и явлений, т.е. их динамики позволяет выявлять их внутреннюю сущность, определять направления и тенденции их изменений во времени и в пространстве, служит основой для их научного прогноза.

При этом нередко используются ряды динамики, которые представляют собой совокупности числовых значений того или иного статистического показателя, называемые уровнями ряда.

Ряды динамики могут быть моментными и интервальными, уровни которых соответственно характеризуют явления по состоянию на определенные моменты времени или в итоге за определенный период времени. Уровни последних можно складывать (дробить) и в результате получать динамические характеристики с нарастающим итогом.

Временные ряды могут выражаться абсолютными показателями и на их основе относительными и средними величинами.

В качестве основных характеристик рядов динамики используют средние уровни рядов, абсолютный прирост, темп роста и темп прироста (относительные показатели).

Для интервальных рядов и рядов средних величин средний уровень вычисляют как среднее арифметическое из отдельных уровней ряда. Для моментных рядов вначале определяют средние арифметические величины между каждыми двумя уровнями смежных моментов, а по ним получают общее среднее арифметическое значение. При определении среднего уровня вычисляют также среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации.

Абсолютный прирост определяется как разность между двумя уровнями ряда; темпы роста и прироста (относительные показатели) показывают, во сколько раз или на сколько процентов уровень данного периода отличается от базисного уровня.

При использовании динамических рядов возникает задача их смыкания, т.е. объединения в один более длинный ряд двух или нескольких рядов, уровни которых определены по разной методике. Поскольку уровни динамических рядов со временем меняются под воздействием различных причин, то при их изучении выделяют три компонента: тенденцию, выражающую долговременное движение, кратковременные систематические и случайные составляющие (движения). Для выявления этих составляющих выполняется обработка рядов динамики.

Динамические ряды могут быть представлены в статистической форме, в виде таблиц, но могут быть отображены на разновременных картах одних и тех же явлений.

В качестве разновременных карт могут быть использованы любые карты, дающие отображение одних и тех же территорий, объектов, процессов, явлений на различные моменты или интервалы времени.

В свою очередь по разновременным картам можно составить динамические ряды, выявить по ним изменения, происшедшие за рассматриваемый период.



Динамика явлений и процессов за определенный период времени может быть отображена на одной карте с использованием повторяющейся или специальной системы условных знаков.

При создании карт динамики важнейшими материалами, обеспечивающими оперативное изучение и слежение за изменениями (развитием) явлений, многократное определение состояния и пространственного их положения на заданные моменты времени, являются космические снимки и другие данные дистанционного зондирования. Использование этих материалов, как и оперативных (непрерывно и быстро создающихся) равноновременных карт, позволяет решать задачу мониторинга природной среды.

В процессе анализа карт динамики, рассмотрении рядов динамики во многих случаях представляется возможность выявлять зависимости уровней последующих периодов от предшествующих. Такую зависимость можно выразить при помощи коэффициента автокорреляции.

$$r_{\text{аут}} = \frac{\sum y_t y_{t-1} - n(\bar{y}_t)^2}{\sum y_t^2 - n(\bar{y}_t)^2},$$

где  $y_t, y_{t-1}$  — исходные и сдвинутые на один период уровни ряда.

При этом, чтобы ряд не сокращался, в сдвинутом уровне  $y_{t-1}$  принимают уровень  $y_t = y_1$  (при условии, что значение последнего уровня мало отличается от первого).

Коэффициенты корреляции вычисляют между уровнями, сдвинутыми как на один, так и на несколько периодов (единиц времени). Величина такого сдвига называется временным лагом.

При изучении и использовании динамических характеристик и данных других явлений и процессов в ГИС широко используются компьютерные технологии. Их применение позволяет последовательно рассматривать равноновременные карты динамики, что создает эффект движения и изменения

объектов, процессов и явлений, возможность установления закономерностей этих изменений.

Возникло понятие динамического картографирования, включающее методы определения динамических характеристик на различные моменты или временные интервалы и методы их отображения на картах, а также моделирования и создания динамических фильтров обеспечивающих возможность прослеживания этапов развития объектов природы и общества в любом порядке (в прямом или обратном направлении) на основе применения ГИС-технологий.

Возник также термин анимационного картографирования, как средства визуализации динамической информации. [3]

Изучение динамики процессов и явлений является основой для выполнения их прогнозирования.

#### 9.2.16. Прогнозирование явлений и процессов.

Разработка методов прогнозирования явлений и процессов, в частности прогнозов наличия природных ресурсов, состояния природной среды и экономических возможностей, является важнейшей задачей науки и практики особенно при разработке перспективного долгосрочного планирования развития народного хозяйства.

Прогнозы могут осуществляться в пространстве и во времени на основе анализа статических материалов, данных, полученных по картам, и непосредственно путем изучения и исследования явлений, отображенных на них.

Прогнозы во времени связаны с изучением климатических и метеорологических явлений, эрозионных процессов и современной тектонической активности, урожайности различных сельскохозяйственных структур и других динамических явлений. Прогнозы в пространстве подразделяются на прогнозы по вертикали (например, при исследовании океанических глубин, в геологии и геоморфологии для предсказания наличия и размещения полезных ископаемых) и по горизонтали (например, на основе изучения ландшаф-

тов-аналогов высказываются предположения об особенностях малоизученных территорий).

Прогнозы могут быть долгосрочными и краткосрочными, например, при прогнозе урожайности на 5-10 лет или на текущий год. Выделяют сверхдолгосрочные (на тысячелетия и более), долгосрочный (несколько десятилетий), среднесрочный (10-15 лет), краткосрочный (3-5 лет) и сверхкраткосрочный прогноз. Различные способы прогноза рассмотрены в работах многих ученых.

К числу таких способов прогноза, например, относится способ картографического прогноза [2], когда исследуемые явления представлены не в аналитической, а в картографической форме и представляется возможным на основе их изучения распространить закономерности этих явлений на другие территории или будущее время.

Для выполнения прогноза можно использовать уравнения авторегрессии, регрессии и аппроксимации, способ коррелят с использованием формул конечных разностей, линейного и нелинейного сглаживания, способ линейного предсказания стационарных случайных процессов, способ основанный на спектральном разложении стационарной случайной функции на конечном участке, способ предсказания стационарных случайных процессов методом последовательной обработки данных с использованием экспоненциального сглаживания, экспертные модели прогноза, способы прогноза, основанные на составлении и решении систем дифференциальных уравнений с использованием непрерывно поступающей информации о развитии явлений и процессов и другие.

Так, например, решение задачи прогнозирования может осуществляться с использованием рассмотренных выше уравнений одномерной и множественной линейной регрессии:

$$Y = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 X_1$$

$$Y = \hat{b}_1 + \hat{b}_2 X_2 + \hat{b}_3 X_3 + \dots + \hat{b}_m X_m,$$

а также уравнений нелинейной регрессии.

Эти уравнения выражают основные закономерности линейной (или нелинейной) связи зависимой (прогнозируемой) переменной  $Y$  и независимых переменных  $X_i$  и позволяют по значениям  $X_i$  определить величины  $Y$  как внутри таблицы (интерполяция), так и за ее пределами (экстраполяция).

Прогноз явлений (процессов) на основе использования аппроксимирующих функций выполняется следующим образом.

Как отмечалось выше, то или иное явление объективной реальности может быть описано общей математической моделью, включающей детерминированную, стохастическую и чисто случайную составляющие.

Детерминированная составляющая этой модели может быть представлена в виде соответствующей поверхности в аналитической или в картографической формах.

Уравнение рассматриваемой поверхности  $Z = f(x, y)$ , как правило неизвестно. Оно аппроксимируется различными зависимостями, главным образом указанными выше полиномами. Использование последних обеспечивает выявление ряда основных закономерностей данного явления, возможность построения карт поверхности тренда и остаточной поверхности, вычисление значения аппликата (характеристик) этого (прогнозируемого) явления по заданным прямоугольным или другим координатам как внутри исследуемой области, так и за ее пределами.

Следует только иметь в виду, что при использовании полиномов необходимо, чтобы исходные переменные были нормированы под условием, чтобы  $\xi_{\max} \leq 1$  и  $\eta_{\max} \leq 1$  с учетом максимального распространения территории, на которую предполагается осуществлять прогноз.

Для выполнения прогноза можно последовательно использовать уравнения регрессии, а затем аппроксимирующие зависимости (полиномы) или наоборот.

Для решения рассматриваемой задачи последовательно или отдельно, применяются также качественные методы прогноза, содержащие большей частью словесные описания будущего события, основанные, главным образом, на мнениях, опыте, специальных знаниях.

### 9.12.17. Понятия теории информации и их применение в картографии

Одним из основных понятий теории информации является энтропия, представляющая собой сумму произведений вероятностей  $P$  различных состояний системы на логарифмы этих вероятностей, взятую с обратным знаком.

Пусть  $A_1, A_2, \dots, A_n$  — полная группа несовместных событий. Тогда энтропия этой группы событий определяется формулой

$$H(A) = - \sum_{i=1}^n P(A_i) \log_a P(A_i). \quad (99)$$

Энтропия  $H(X)$  дискретной случайной величины  $X$ , принимающей значения  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , с вероятностями  $P_1, P_2, \dots, P_n$  определяется выражением

$$H(X) = - \sum_{i=1}^n P_i \log_a P_i. \quad (100)$$

При этом принято брать логарифмы вероятностей при основании  $a=2$ .

Энтропия может быть вычислена с использованием абсолютных и относительных характеристик, представленных в количественной или качественной форме. Для этого необходимо только определить на исследуемой карте долю  $\omega_i$  каждого контура или линейного объекта, под которой понимают отношение площади данного  $i$  — го контура (длины данной  $i$  — й линии) площади всех  $n$  контуров (к суммарной длине  $n$  всех линий) на карте. Отметим, что согласно с известными положениями эти доли (частности) могут приниматься за эмпирические вероятности, и следовательно, в формулах (99), вместо значений  $p_i$  можно записать величины  $\omega_i$ .

Функция энтропии обладает следующими свойствами:

при  $n=1$  она обращается в нуль;

при увеличении состояний  $n$  энтропия возрастает, достигая максимального значения в случае равенства вероятностей  $p_1=p_2=\dots=p_n=1/n$ ;

при  $n=0$  принято считать, что энтропия также равна нулю;

при объединении независимых систем энтропии этих систем суммируются, т. е.

$$H(A+B) = H(A) + H(B) = -\sum_{i=1}^n \omega_{a_i} \log_2 \omega_{a_i} - \sum_{j=1}^m \omega_{b_j} \log_2 \omega_{b_j}$$

при объединении в какой-то мере зависимых явлений  $A$  и  $B$ , в которых некоторые из контуров  $a_i$  (например, на карте почв) совпадают на данной территории с контурами  $b_j$  (например, на карте растительности), энтропия системы  $AB$  будет равна

$$H(AB) = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \omega_{a_i b_j} \log_2 \omega_{a_i b_j}$$

где  $\omega_{a_i b_j}$  — поля (частоты) совпадения контуров.

Разность  $T(AB)$  между суммой энтропии двух или более отдельных карт и энтропией совмещенного изображения характеризует степень совпадения ареалов рассматриваемых явлений

$$T(AB) = H(A) + H(B) - H(AB),$$

при этом  $H(A) + H(B) \geq H(AB)$ .

Энтропия служит мерой неопределенности системы, под которой в картографии понимают степень пространственной дифференцированности явлений, характеризующей неоднородность картографического изображения этого явления.

Учитывая эти свойства, в картографии рассматриваются вопросы об определении показателя неоднородности  $H(A)$  (энтропии) явлений, отображенных на картах, и коэффициента взаимного соответствия контуров. Величина показателя неоднородности  $H(A)$  на картах зависит от двух причин: от числа

показанных на ней контуров и от площади, приходящейся на долю каждого из них.

Неоднородность может изменяться от нуля при изображении на участке карты одного контура и возрастать, стремясь к бесконечности (при увеличении числа контуров, изображаемых на этом участке карты). В случае, когда на данном участке карты отображается фиксированное число контуров, величина неоднородности зависит от относительных размеров, площадей каждого из них, т. е. от значений долей  $\omega_{a,b}$  этих контуров.

Неоднородность достигает максимума, если все доли  $\omega_{a,b}$  равны, т. е.  $\omega_1 = \omega_2 = \dots = \omega_n$ . В этом случае

$$H(A)_{\max} = \log_2 n$$

Кроме абсолютной энтропии, вычисляют также относительную энтропию по формуле

$$H(A)_{\text{отн}} = \frac{H(A)}{H(A)_{\max}} = \frac{-\sum_{i=1}^n \omega_i \log_2 \omega_i}{\log_2 n}$$

Этот показатель характеризует относительную неоднородность. Его значения изменяются от 0 до 1.

Если принять, что максимальная неоднородность картографического изображения равна единице, то

$$E(A) = 1 - H(A)_{\text{отн}} = \frac{H(A)_{\max} - H(A)}{H(A)_{\max}}$$

Теперь, используя приведенные выше выражения, можно привести формулу коэффициента взаимного соответствия (например, контуров почв и растительности):

$$K(AB) = \frac{T(AB)}{H(AB)}$$

Этот коэффициент выражается в процентах или в долях единицы в пределах  $0 \leq K(AB) \leq 1$ .

### 9.2.18. Методы преобразования картографического изображения для решения задач ГИС.

Изучение и исследование объективной реальности нередко более эффективно, если оно осуществляется не по обычным исходным картам, а по картографическим изображениям (КИ), специально приспособленным для решения поставленных задач. [13]

Получение КИ, обладающего желаемыми свойствами и отвечающего заданным требованиям, возможно различными методами, принадлежащим двум группам. Первая группа предусматривает решение поставленной задачи за счет разработки новых, отличных от традиционных, классов КИ. Во второй группе достаточным является приведение основных элементов исходной карты к требуемому виду, т.е. достаточно создавать традиционные КИ, но преобразованные по отношению к исходному изображению.

*Нетрадиционные преобразования КИ.* Известные в настоящее время способы позволяют создавать следующие новые классы преобразованных изображений: анаморфированные карты; анаморфозы; топологические картограммы; картоиды; ментальные карты.

*Анаморфированные карты.* В настоящее время по особенностям используемой математической основы различают три типа анаморфированных карт, составляемых соответственно в варивалентных проекциях, переменномасштабных проекциях, а также проекциях с измененной метрикой пространства.

Варивалентные проекции характеризуются тем, что в их уравнения входят не только широты  $\varphi$  и долготы  $\lambda$ , но и дополнительные функции  $f$ . Использование этих проекций позволяет:

дополнительно отобразить на карте те или иные показатели объектов (явлений), которые передать традиционными способами не представляется



возможным, поскольку они уже использовались для показа других объектов (явлений);

повысить информационную емкость карты за счет увеличения количества отображаемой информации без привлечения различных систем условных обозначений;

экономично решать задачи по машинному считыванию информации с тематических карт.

Переменно — масштабные проекции обеспечивают возможность избирательного и эффективного отображения важных объектов, неравномерно распространенных в пространстве, отображать в более крупных масштабах регионы, наиболее значимые с точки зрения назначения карты, при сохранении общих размеров картографируемой территории и главного масштаба карты. Проекция данного класса позволяет отказаться в ряде случаев от составления карт врезок того же содержания, что и основная карта, улучшают передачу коммуникационных связей между различными территориями, дают возможность передать максимум информации в наиболее узких и трудных для изучения местах карты.

В проекциях с измененной метрикой пространства предусматривается установление соответствия географических расстояний, связывающих объекты, с каким-либо функциональным показателем (стоимостью, временем, издержками и т. д.). Тогда можно получить преобразованные расстояния, которые отражают не столько физическую, сколько функциональную близость объектов. Проекция, обеспечивающие выполнение указанного преобразования и отображения объектов (явлений) с учетом полученных расстояний, получили название проекций с измененной метрикой пространства. Различают одно-, двух-, и трехполосные проекции этого класса, по которым можно определять соответствующие функциональные (преобразованные) расстояния.

**Анаморфозы.** Отличительными особенностями анаморфоз являются следующие. Их создание осуществляется без разработки соответствующих картографических проекций, в них обеспечивается только топологическое соответствие.

В настоящее время можно выделить два типа анаморфоз:

анаморфозы, у которых размеры территориальных ячеек пропорциональны какому-либо показателю (например, численности населения);

анаморфозы, на которых расстояния отождествляются с функциональным показателем (например, временем проезда).

Анаморфозы, имея внешнее сходство с анаморфированными картами, составляемыми в варивалентных проекциях и проекциях с измененной метрикой пространства, отличаются от них. Они не являются картами, так как не обеспечивают строгого однозначного соответствия между исходным и конечным изображениями; не позволяют осуществлять обратное отображение, т. е. перейти от преобразованного КИ к исходному.

**Картоиды.** По определению Б. В. Роломана географический картоид представляет собой чертеж, несущий в себе те же функции, что и традиционная карта, но отличающийся от нее хотя бы одним из следующих признаков: 1) конкретная реальная территория изображается частично или полностью неметрически, с искажением очертаний, не поддающихся одному правилу; 2) показывают воображаемый объект, соединяющий в себе черты многих реальных объектов. При этом картоиды, удовлетворяющие первому требованию, определяются как индивидуальные, а второму — как типологические.

К индивидуальным картоидам относятся следующие три категории КИ:

картосхемы, составляемые традиционными способами, но чрезмерно генерализованные и слабо нагруженные;

художественные картографические изображения на плакатах, обложках книг, значках, эмблемах и т. п.;

нечеткие изображения, целенаправленно показывающие территориальную структуру без затеняющих ее деталей.

В соответствии с исследованиями все картоиды можно подразделить на следующие.

Конкретные картоиды-изображения относятся к конкретной территории, но отображают не ее размеры, а составляющие части этой территории пропорционально выбранному показателю.

Площадь каждой территориальной единицы соответствует величине показателя, приходящегося на данную единицу. Данный тип картоидов является некоторым аналогом анаморфоз того же назначения, но при построении такой картоиды не учитываются конкретные пространственные отношения.

При построении обобщенной картоиды рассматривается реальная или вымышленная территория в качестве некоторого «ключа», который характеризует заданную достаточно общую ситуацию.

Абстрактные картоиды передают изображение воображаемой местности или иллюстрируют какое-либо географическое явление без точной пространственной локализации.

Топологические картограммы представляют собой пространственные модели, которые отображают географические и другие отношения между явлениями (объектами) природы (общества) в виде определенной системы отношений близости геометрических фигур, расположенных на плоскости. Основу топологических картограмм составляют разные способы составления шкал для отображения различных количественных значений показателей в виде системы абстрактных геометрических фигур, как правило, в виде прямоугольников и квадратов, площади которых и поставлены в соответствие величинам картографируемого показателя. При этом взаимное расположение фигур определяется посредством анализа расположения составных частей исходных картографических изображений.

Другое направление в создании топологических картограмм заключается в преобразовании извилистых линий исходного картографического изображения в прямые, сохраняющие отношения соседства, взаимной упорядоченности и связности исходного КИ. При этом топологические картограммы составляются либо в метрике заданного пространства, либо в евклидовой метрике. Преобразованные изображения данного типа нашли применение в практике отображения следования остановочных пунктов и взаимного положения маршрутов электропоездов, автобусов, трамваев и метро.

Ментальные (или когнитивные) карты представляют собой изображения, целью которых является иллюстрация психологического восприятия географической среды (территории), т. е. искажения территории, которые имеют место в представлении людей. Территории регионов, контуры городов на этих изображениях показывают в соответствии с представлением потребителей об их значении, а не соответственно их действительным размерам. Ментальные карты не являются картами в общепринятом смысле, однако такое название укрепились за ними более 20 лет назад.

В настоящее время рассматривается два типа ментальных карт. В первом отображение объектов (явлений) общества (природы) осуществляется путем их простого обозначения в соответствии с уровнем их восприятия и не содержит никаких элементов оценки. В картах второго типа при построении изображения учитываются некоторые оценки, производимые индивидуумами.

Для ментальных карт не выполняется закон топологического соответствия.

*Традиционные преобразованные КИ.* Все многочисленные варианты получения традиционных преобразованных изображений можно подразделить на три группы:

получаемые преобразованием внутренней или картографо-геодезической метрики КИ;

получаемые преобразованием структуры (характера) КИ;

получаемые преобразованием способов КИ.

Преобразование внутренней и картографо-геодезической метрики КИ. Под внутренней метрикой понимают метрику объектов картографирования. Изменение внутренней метрики изображения состоит в изменении размерности его показателей, переходе от одной системы к другой (от абсолютных показателей к относительным и наоборот), в изменении ступеней шкал, количества градаций и т. п., что приводит к преобразованиям расстояний между точками изображения объектов.

Существо преобразования картографо-геодезической метрики заключается в следующем. В соответствии с принятой картографо-геодезической метрикой пространственная локализация изображения объектов на карте описывается общими уравнениями:

$x=f_1(\varphi, \lambda); y=f_2(\varphi, \lambda)$ , где  $\varphi, \lambda$  – геодезические координаты точек отображаемой поверхности;  $x, y$  – прямоугольные координаты в заданной проекции. Изменение геодезической системы координат  $\varphi, \lambda$  как и отображающих функций  $f_1, f_2$  характеризующих конкретные картографические проекции, влечет за собой изменение прямоугольных координат  $x, y$  на карте.

Конкретные способы этих преобразований как при изменении систем геодезических координат, так и при переходе от проекции исходной карты к проекции создаваемой карты, характеризующихся монотонным изменением масштабов изображения в пределах всей области картографирования, рассмотрены в работе [13].

Преобразование структуры (характера) картографического изображения может быть осуществлено путем однократного или многократных преобразований, которые можно разделить на два вида:

преобразования с получением изображений или показателей в аналитической (комплексной) форме;

преобразования с получением изображений или показателей в синтетической (интегральной) форме.

К числу преобразований первого вида относятся следующие:

1. Выделение и отображение отдельных элементов из комплексного картографического изображения, что повышает наглядность и удобство их восприятия, способствует обнаружению закономерностей, которые по исходному изображению в явном виде не проявились. К таким преобразованиям, например, относятся карты экспозиции склонов, углов наклона и т. п., получаемых путем выделения именно этих элементов из гипсометрического изображения.
2. Обобщение, упрощение рисунка картографического изображения (схематизация), выполненное с целью устранения мелких деталей, затрудняющих выявление и отображение основных закономерностей объектов (явлений).
3. Преобразование КИ в более подробное (детализация). Например, получение карт равнопорядковых долин (методом В. П. Философова) по топографическим картам, на которых поднимаются все тальвеги вплоть до самых мелких, характеризующихся небольшими затяжками горизонталей. Создание таких карт обеспечивает, например, отображение всех особенностей конфигурации эрзионной сети.
4. Преобразование качественных характеристик изучаемого явления, отображенного на карте, в количественную форму (квантификация). Например, карты речной сети, размещения оврагов, промоин и т. п. преобразуются в карты обводненности, овражности (с использованием показателей частоты или плотности).
5. Преобразование КИ, содержащего количественные показатели, в качественную форму (квалификация). Применяется редко, например, при сопоставлении карт разной тематики, показатели на которых отображены в разных формах.

6. Преобразование дискретного КИ в непрерывное (континуализация) используется, например, при составлении карт полей.

7. Преобразование непрерывного КИ в дискретную форму (дискретизация), что связано с получением выборочных данных в сетке точек с помощью любых палеток, сеток или соответствующих операторов.

8. Преобразование исходной поверхности изучаемого явления, отображенного на карте, с выделением фоновой (трендовой) и остаточной (аномальной) поверхностей (разложение поверхностей на составляющие компоненты), например, с использованием полиномов, регрессионного анализа и т. п.

9. Преобразование КИ путем интеграции трендовой поверхности с остаточными.

10. Преобразование КИ путем замены одного содержания другим.

Преобразование структуры (характера) картографического изображения второго вида связано с использованием рассмотренных выше методов корреляционного, регрессионного, многомерного анализов, дифференциации территории (объектов) и т. п., позволяющих определять различные синтетические показатели и создавать соответствующие синтетические карты взаимосвязи, районирования, ведущих факторов и т. п., имеющих важнейшее значение для уяснения интегральных характеристик изучаемых явлений, принятия обоснованных решений при разработке территориально-экономических комплексов и др.

Преобразование способов построения К И. Получение КИ данного класса связано с взаимным преобразованием следующих способов: точечного и значкового, изолиний, линейных знаков и линий движения, качественного фона и ареалов, картограмм, локализованных диаграмм и картодиаграмм, линейных растров. Эти способы и их преобразования достаточно полно рассмотрены в картографической литературе.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афифи А., Эйзех С. Статистический анализ. Подход с использованием ЭВМ. - М.: Мир, 1982.
2. Берлянт А.М. Картографический метод исследования - МГУ, 1988.
3. Берлянт А.М., Ушакова Л.А. Картографические анимации - М.: Народный мир, 2000.
4. Вилия Ю.С., Васмут А.С. Проектирование и составление карт. - М.: Недра, 1984.
5. Бугаевский Л.М. Математическая картография. - М.: Златоуст, 1998.
6. Бугаевский Л.М., Портнов А.Н. Некоторые способы предсказания случайных процессов при решении задач по одиночным космическим снимкам. // Геодезия и аэрофотосъемка, 1981, № 5 с. 89 -94.
7. Бугаевский Л.М., Портнов А.Н. Теория одиночных космических снимков. - М.: Недра, 1984.
8. Бугаевский Л.М. Теория картографических проекций регулярных поверхностей - М.: Златоуст, 1999.
9. Бугаевский Л.М., Вахрамеева Л.А. Геодезия. Картографические проекции. - М.: Недра, 1992.
10. Bugaevskiy Lev M., Snyder John P. Map projections. A Reference Manual. - Taylor & Francis, London, 1995/.
11. Бугаевский Ю.Л. Переменно-масштабные проекции для создания аноморфированных тематических карт // Геодезия и аэрофотосъемка. 1986. №6, с.139 - 144.
12. Бугаевский Ю.Л. Вариавалентная проекция типа псевдоцилиндрическая для аноморфированных карт // Геодезия и аэрофотосъемка. 1986. №6, с.139 - 144.
13. Васмут А.С., Бугаевский Л.М., Портнов А.М. Автоматизация и математические методы в каргосоставлении. - М.: Недра, 1991.



14. Вахрамеева Л.А., Бугаевский Л.М., Козакова З.Л. Математическая картография. - М.: Недра, 1986.
15. Громико Г.Л. Статистика. - М.: МГУ, 1981.
16. Джонсон Дж. Эконометрические методы. - М.: Статистика, 1981.
17. Жуков В.Т., Сербенюк С.Н., Тикунов В.С. Математико-картографическое моделирование в картографии. - М.: Недра, 1980.
18. Картография. Зарубежные концепции и направления исследований. Выпуск 1, 2, 3. - М.: Прогресс, 1983-1988.
19. Максимович Г.Ю., Романенко А.Г., Самойлюк О.Ф. Информационные системы. - М.: Рос. эконом. академия, 1999.
20. Максудова Л.Г., Савиных В.П., Цветков В.Я. Интеграция наук об окружающем мире в геоинформатике // Исследование Земли из космоса. - 2000. №1. С. 46-50.
21. ОФИЦИАЛЬНЫЕ ТЕРМИНЫ И ПОНЯТИЯ. ОСТ ВШ. Термины и определения 01.002-95. Дата введения 01.03.96. - М.: Госкомвуз, 1996.
22. Савиных В.П., Цветков В.Я. Особенности интеграции геоинформационных технологий и технологий обработки данных дистанционного зондирования // Информационные технологии, 1999, №10. с. 36-40.
23. Савиных В.П., Цветков В.Я. Особенности интеграции технологий ГИС и технологий обработки данных дистанционного зондирования Земли // Исследование Земли из космоса. - 2000. №2. С. 83-86.
24. Цветков В.Я. Разработка и эксплуатация интегрированного машиностроительного производства. - М.: ГКНТ, ВПТИЦентр, 1989.
25. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. / Учебное пособие. - М.: МГУТпК, 1996.
26. Цветков В.Я. Автоматизированные системы обработки экономической информации / ЭИ - М.: МГТУ (МАМИ), 1998, гос. Регистр баз данных, рег. Номер 0229804848.

27. Цветков В.Я. Особенности развития информационных стандартов в области новых информационных технологий // Информационные технологии, №8, 1998 с 2-7.
28. Цветков В.Я. Особенности развития информационных стандартов в области новых геоинформационных технологий // Геодезия и картография, №7, 1998 с 8-11.
29. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. - М.: Финансы и статистика, 1998.
30. Цветков В.Я. Основы геоинформатики // Электронный учебник -М: Министерство общего и профессионального образования РФ. Центр информатизации, 1998.
31. Цветков В.Я. Основы геоинформационного моделирования // Геодезия и аэрофотосъемка. 1999 №4, с.55 - 59.
32. Цветков В.Я. Геоинформационное моделирование // Информационные технологии, 1999, №3. с. 23- 27.
33. Цветков В.Я. Эргатические аспекты обработки информации в ГИС // Геодезия и аэрофотосъемка. 1999 №3, с. 144-153.
34. Цветков В.Я. Основы геоинформационного моделирования // Геодезия и аэрофотосъемка. 1999 №4, 0.4,
35. Цветков В.Я. Оценка качества информации в ГИС // Геодезия и аэрофотосъемка. 1999 №6. с.136-140
36. Цветков В.Я. Особенности защиты информации в геоинформационных системах // Информатика – машиностроение № 1 1999, с.11-13.
37. Цветков В.Я. Методы прогнозирования в геоинформационных технологиях // Информатика - машиностроение, 1999, № 4. с. 44- 47.
38. Цветков В.Я. Проблемы интеллектуализации геоинформационных систем // Информатика – машиностроение № 5-6 1999, с.30-31.

39. Цветков В.Я. О подготовке электронных изданий в области геоинформатики // Геодезия и картография. №8, 1999, с. 37- 39.
40. Цветков В.Я. Геоинформационные системы как системы пространственно-локализованных данных. / ЭИ. - М.: НИИ ИГГ, 1999, - 113 с. № гос.рег. 032900095
41. Цветков В.Я. Геомаркетинг. - М.: Машиностроение, 2000.
42. Цветков В.Я. Защита информации в системах обработки данных и управления. - М.: ВНИИЦ, 2000.
43. Цветков В.Я., Жукова О.С. Поддержка принятия решений в геоинформационных системах // Машиностроитель. - №1- 2000. - с. 28- 30.
44. Цветков В.Я. ГИС - глобальная информационная система // Машиностроитель, 2000, № 2 с.27-29.
45. Цветков В.Я. ГИС как система визуальной обработки информации // Геодезия и аэрофотосъемка. 2000 №2, с. 143-147.
46. Цветков В.Я. Цифровые карты и цифровые модели// Геодезия и аэрофотосъемка. 2000 №2, с. 147-155.
47. Цветков В.Я. Методические основы тестирования информационных и геоинформационных систем// Геодезия и аэрофотосъемка, 2000 №3, с. 93-102.
48. Цветков В.Я. Информационная безопасность и геоинформационные технологии // Информационные технологии. - 2000. - №7. с. 2- 15.

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ С ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЛОКАЛИЗАЦИЕЙ ДАННЫХ	8
1.1. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ	9
1.2. РЕГИОНАЛЬНАЯ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА	11
1.3. МАРКЕТИНГОВАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА	12
1.4. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ	15
1.5. ОТРАСЛЕВЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ	18
1.6. ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ С ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЛОКАЛИЗАЦИЕЙ ДАННЫХ	20
2. ОРГАНИЗАЦИЯ БАЗ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ	23
2.1. НОРМАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ	26
2.2. ОСОБЕННОСТЬ СОЗДАНИЯ БАЗ ДАННЫХ С ПРОСТРАНСТВЕННО - ЛОКАЛИЗОВАННЫМИ ДАННЫМИ	28
3. ИНТЕГРАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ	31
3.1. СТРУКТУРА ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ	35
4. ИНФОРМАЦИОННАЯ ОСНОВА ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ	38
5. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ В ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ	42
5.1. СЕМИОТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ МОДЕЛЕЙ ДАННЫХ	42
5.2. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ВИДЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДАННЫХ	44

5.2.1. Сильно и слабо типизированные модели	45
5.2.2. Статические и динамические модели	46
5.2.3. Аналоговые и дискретные модели	47
5.2.4. Масштаб действия модели	47
5.2.5. Жизненный цикл модели	48
5.3. ФОРМЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ДАННЫХ	49
6. ГИС КАК ОБОБЩЕННАЯ ИНТЕГРИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА С ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЛОКАЛИЗАЦИЕЙ ДАННЫХ	51
6.1. МНОГОАСПЕКТНОСТЬ ГИС	57
6.2. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ЛОКАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ В ГИС	59
6.2.1. Позиционные данные	59
6.2.2. Взаимосвязи между координатными моделями	63
6.2.3. Атрибутивные данные	65
6.2.4. Точностные характеристики	66
6.3. ОРГАНИЗАЦИЯ ДАННЫХ В ГИС	67
6.3.1. Векторные модели	68
6.3.2. Топологические характеристики пространственных объектов	71
6.3.3. Растровые модели	75
6.3.4. Послойная организация данных	78
6.4. ЦИФРОВЫЕ КАРТЫ И ЦИФРОВЫЕ МОДЕЛИ	80
6.5. ГИС КАК ГЛОБАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА	82
6.6. ВИЗУАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ В ГИС	87
7. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС	92
7.1. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО- ЛОКАЛИЗОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ	93
7.1.1. Формализация процессов пространственного моделирования	93
7.1.2. Комбинирование пространственных объектов	94

7.1.3. Преобразование атрибутов комбинированных объектов	97
7.1.4. Моделирование с использованием геогрупп	97
7.1.5. Построение новых графических объектов на основе слияния атрибутивных данных	98
7.1.6. Построение буферных зон для пространственных объектов	99
7.1.7. Геокодирование	100
7.2. МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ	102
7.2.1. Сбор, группировка, обобщение и унификация первичных данных	103
7.2.2. Анализ, моделирование вторичных данных	105
7.2.3. Получение прогнозных оценок	106
7.2.4. Верификация прогноза и выбор метода прогнозирования	111
8. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОСНОВА КАРТ ГИС	114
8.1. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ И ВЫСОТ	114
8.2. ОБЩАЯ ТЕОРИЯ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ	117
8.2.1. Системы координат применяемые в ГИС	117
8.2.2. Определение картографических проекций, картографические сети	120
8.2.3. Бесконечно малая сферическая проекция и ее изображение на плоскости	121
8.2.4. Масштабы	122
8.2.5. Условия отображения поверхности эллипсоида (сферы) на плоскость	124
8.2.7. Искажения картографических проекций	125
8.2.7. Методы преобразования картографических проекций при создании карт ГИС	129
8.2.8. Факторы и способы выбора картографических проекций для создания карт ГИС	130

8.2.9. Картографические проекции карт ГИС, решающие задачи изучения и освоения космического пространства	132
8.2.10. Главные масштабы, компоновка и разграфка карт, координатные сетки и номенклатуры	134
8.3. ТЕОРИЯ КЛАССОВ И ОТДЕЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ	137
8.3.1. Цилиндрическая проекция	139
8.3.2. Псевдоцилиндрическая проекция	140
8.3.3. Коническая проекция	141
8.3.4. Азимутальная проекция	142
8.3.5. Перспективная азимутальная проекция	143
8.3.6. Псевдоконическая проекция	145
8.3.7. Псевдоазимутальные проекции	147
8.3.8. Поликонические проекции	147
8.3.9. Проекция Гаусса-Крюгера и UTM	148
8.3.10. Проекция Чебышева. Состояние решения общей проблемы изыскания наилучших проекций	149
9. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ БАЗОВЫХ КАРТ И МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЗАДАЧ ГИС ПО КАРТАМ	150
9.1. ЭТАПЫ И ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ КАРТ	151
9.1.1. Редакционно-подготовительные работы	151
9.1.2. Составление оригиналов карт	153
9.1.3. Подготовка карт к изданию и издание	154
9.2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕШЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЗАДАЧ ГИС ПО КАРТАМ	161
9.2.1. Некоторые сведения о картографической информации	161
9.2.2. Общая математическая модель процессов и явлений реального мира. Основные методы их исследования решение	

задач ГИС по картам	163
9.2.3. Визуальный анализ	165
9.2.4. Графические методы анализа	166
9.2.5. Картометрические методы исследований	168
9.2.6. Морфометрические методы исследований	170
9.2.7. Методы дифференциации (классификации) территорий и объектов	172
9.2.8. Некоторые основные элементы математической статистики и теории вероятностей	174
9.2.9. Определение формы и тесноты связи явлений и объектов (корреляционный анализ)	178
9.2.10. Определение связи зависимой и независимой случайных переменных (регрессионный анализ)	182
9.2.11. Выявление влияния изменений факторов на средние результаты исследуемых явлений (дисперсионный анализ)	185
9.2.12. Определение ведущих факторов размещения и развития явлений (компонентный, многофакторный анализ)	187
9.2.13. Методы теории аппроксимации	191
9.2.14. Определение синтетических характеристик полей	194
9.2.15. Динамика развития объектов и явлений	196
9.2.16. Прогнозирование явлений и процессов	199
9.2.17. Понятия теории информации и их применение в картографии	202
9.2.18. Методы преобразования картографических изображений для решения задач ГИС	205
ЛИТЕРАТУРА	213