

Министерство образования и науки Российской Федерации
Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова

А. В. Грачев
В. Ю. Орлов

Информационные технологии в экологии и природопользовании

Учебное пособие

Рекомендовано
Научно-методическим советом университета
для студентов, обучающихся по направлению
Экология и природопользование

Ярославль
ЯрГУ
2013

УДК 502:004(075.8)
ББК 3973.2я73+Б1я73
Г78

*Рекомендовано
Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного издания. План 2013 года*

Рецензенты:

И. М. Георгица, канд. географических наук,
доцент ЯГПУ им. К. Д. Ушинского;
кафедра охраны труда и природы
Ярославского государственного технического университета

Грачев, Александр Владимирович.

Г78 Информационные технологии в экологии и природопользовании: учеб. пособие / А. В. Грачев, В. Ю. Орлов; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова. — Ярославль : ЯрГУ, 2013. — 108 с.

ISBN 978-5-8397-0960-7

В настоящем пособии рассмотрены вопросы применения ГИС и статистических методов при решении проблем экологии и природопользования.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлениям 020800.62, 022000.62 Экология и природопользование (дисциплины «ГИС в экологии и природопользовании», цикл Б2, «Компьютерные технологии и статистические методы в экологии и природопользовании», цикл М1), очной формы обучения.

УДК 502:004(075.8)
ББК 3973.2я73+Б1я73

ISBN 978-5-8397-0960-7

© ЯрГУ, 2013

Введение

Сегодня является несомненной необходимостью широкого применения компьютерных технологий в различных областях человеческой деятельности, и в частности в охране окружающей среды. Наиболее значимыми областями являются геоинформационные системы, связанное с ними моделирование природных и техногенных процессов, а также системы подготовки, обработки и анализа данных.

Геоинформационные системы (ГИС) активно используются для решения научных и практических задач, включая планирование и управление на городском, региональном и федеральном уровнях, комплексное многоаспектное изучение природно-экономического потенциала регионов, инвентаризацию природных ресурсов, проектирование транспортных магистралей и нефтепроводов, экологический мониторинг, обеспечение безопасности человека и т. д. Опыт использования позволяет констатировать **широкий спектр и эффективность применения геоинформационных систем в профессиональной деятельности современного специалиста.**

Развитие общества, усложнение его инфраструктуры требуют тщательного и продуманного управления ресурсами, овладения новыми средствами и методами обработки информации. Это методы обработки и анализа пространственной информации, методы оперативного решения задач управления, оценки и контроля изменяющихся процессов. Таким образом, существенным является следующий фактор: **методы и средства обработки информации, обеспечивающие высокую наглядность отображения разнородной информации, мощность и удобство инструментария для анализа реальности, предоставляемые геоинформационными системами.**

Взрыв интереса к геоинформационным системам, стремительность их внедрения, обширность сферы применения, включение их в ряд крупнейших государственных программ, стратегическое значение геоинформатики дают ей право претендовать на место одной из наиболее перспективных информационных технологий.

Особое место ГИС занимают в природоохранной деятельности, являясь основной системой поддержки принятия решений.

1. ГИС: определение, понятие

Геоинформационная система — это совокупность аппаратно-программных средств и алгоритмических процедур, предназначенных для сбора, ввода, хранения, обработки, математико-картографического моделирования и образного представления пространственно-координированных данных.

Также геоинформационной системой называют программный комплекс, в котором реализованы следующие функциональные возможности:

1. Ввод данных, например путем импорта из существующих наборов данных или цифрования источников.

2. Преобразование данных, включая конвертирование из одного формата в другой, трансформацию картографических проекций.

3. Хранение и управление данными в базах данных, включая ввод, хранение, манипулирование, обработку запросов (в том числе пространственных), поиск, выборку, сортировку, обновление, сохранение целостности, защиту данных и создание базы метаданных.

4. Картометрические операции (вычисление расстояний между объектами, длин кривых, периметров или площадей).

5. Операции оверлея (взаимодействие слоев с получением результирующего изображения, например вычитание одних объектов из других, добавление и т. п.).

6. Пространственный анализ (анализ зон видимости, соседства, создание цифровых моделей рельефа, буферных зон, анализ сетей и т. п.).

7. Пространственное моделирование и визуализация исходных данных или данных, полученных в результате обработки. Построение и использование моделей пространственных объектов, их взаимосвязей и динамики процессов (математико-статистический анализ пространственных размещений и временных рядов, межслойный корреляционный анализ взаимосвязей разнотипных объектов и т. п.). Построение трехмерных изображений местности, генерация линий, интерполяция высот и пр.

8. Проектирование и создание картографических изображений, графических, табличных или текстовых данных, их сохранение в электронном виде и вывод на печать.

9. Обслуживание процесса принятия решений, например построение моделей изменения ситуации во времени с учетом текущих значений, наличие готовых сценариев реагирования (для аварийных ситуаций) и т. д.

Геоинформационные системы могут рассматриваться по принадлежности к определенным классам программного обеспечения.

– Как **системы управления** ГИС предназначены для обеспечения принятия решений по оптимальному управлению землями и ресурсами, управлению транспортом, использованию водоемов и других пространственных объектов.

– Как **автоматизированные информационные системы** ГИС объединяют ряд технологий известных информационных систем типа систем автоматизированного проектирования (САПР), автоматизированных справочно-информационных систем (АСИС) и др.

– Как **геосистемы** ГИС включают технологии (в первую очередь технологии сбора информации) систем картографической информации (СКИ), автоматизированных систем картографирования (АСК), земельных информационных систем (ЗИС), автоматизированных кадастровых систем (АКС) и др.

– Как **системы баз данных** ГИС объединяют и базы обычной (цифровой или текстовой) информации, и графические базы.

– Как **системы моделирования** ГИС используют большое количество методов и процессов моделирования, применяемых в различных автоматизированных системах.

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

– Как **системы представления информации** ГИС являются развитием автоматизированных систем документального обеспечения с использованием современных технологий мультимедиа.

1.1. Пространственные данные

Данные — это совокупность фактов и сведений, представленных в каком-либо формализованном виде (в количественном или качественном выражении) для их последующего использования в какой-либо области человеческой деятельности, например в науке. Это сведения дискретные и достаточно ценные для того, чтобы их сформулировать и точно зафиксировать. Такие описания должны быть пригодны для обработки автоматическими средствами (при возможном участии человека).

ГИС работают с пространственными данными. **Пространственные данные** — цифровые данные о пространственных объектах, включающие сведения об их местоположении и свойствах. Обычно состоят из двух взаимосвязанных частей: описание пространственного положения (**координатные данные**) и тематического содержания (**атрибутивные данные**). Пространственные данные составляют основу информационного обеспечения ГИС. Они могут быть получены путем традиционного картографирования, спутниковой и аэрофотосъемки, с помощью приемников данных глобальной системы позиционирования и т. д.

Природа географических данных:

- **географическое положение** пространственных объектов представляется 2-, 3- или 4-мерными координатами в географически соотнесенной системе координат (широта/долгота);

- **свойства (атрибуты)** являются описательной информацией. Атрибутивная информация может быть самой различной, например: для городского здания — количество этажей, год постройки, принадлежность определенному владельцу, организации, которые в этом здании находятся и т. д.; для реки — скорость течения, запасы рыбы, загрязненность и пр.;

- **пространственные отношения** определяют внутренние взаимоотношения между пространственными объектами (направление, расстояние, вложенность);

- **временные характеристики** представляются в виде сроков получения данных, они определяют их жизненный цикл, изменение свойств во времени, определяют актуальность данных.

Данные в геоинформационных системах хранятся в базах данных.

База данных (БД) — совокупность данных, организованных по определенным правилам, устанавливающим общие принципы описания, хранения данных и манипулирования ими. Хранение данных в БД обеспечивает централизованное управление, соблюдение стандартов, безопасность и целостность данных, сокращает избыточность и устраняет противоречивость данных. Создание БД и обращение к ней (по запросам) осуществляются с помощью **системы управления базами данных (СУБД)**. Средствами СУБД поддерживаются различные операции с данными, включая ввод, хранение, манипулирование, обработку запросов, поиск, выборку, сортировку, обновление, сохранение целостности и защиту данных от несанкционированного доступа или потери. Обычно в ГИС используются **реляционные СУБД**, в которых пользователь воспринимает данные как таблицы.

Каждая реляционная таблица представляет собой двумерный массив и обладает следующими свойствами:

- каждый элемент таблицы — один элемент данных;
- все ячейки в столбце таблицы однородны, т. е. все элементы в столбце имеют один тип (числовой, символьный и т. д.);
- каждый столбец имеет уникальное имя;
- одинаковые строки в таблице отсутствуют;
- порядок следования строк и столбцов может быть произвольным.

Основополагающими элементами базы данных являются смоделированные элементы действительности.

Информационную основу ГИС составляют данные из следующих основных источников:

- **Текстовые** (отчеты экспедиций, статьи, книги) и **статистические материалы** (государственная статистика, данные переписи населения, справочники, каталоги и кадастры).
- **Картографические источники** (топографические, политические, административные и пр.). В геоинформатике эти карты служат для получения информации об объектах и их картографической привязки.

– **Дистанционное зондирование.** В настоящее время имеются снимки всей поверхности Земли, полученные со **спутников дистанционного зондирования** (космические снимки) с метровым разрешением. Эти данные могут быть получены не только в области видимого света, но и в других в электромагнитных диапазонах (инфракрасном, радио). Для получения снимков с большим масштабом используются данные **аэрофотосъемки**.

– **Данные глобальной системы позиционирования** (GPS, ГЛОНАСС). Приемники GPS дают возможность оперативно получать координаты.

1.2. Типовые вопросы

1. Место. Вопрос состоит в выяснении, что находится в данном месте. Место может быть определено по географическим координатам, по названию местности, по почтовому коду.

2. Условие. Где нечто находится? Для ответа требуется пространственный анализ. Например, необходимо определить место (одно или несколько), в котором удовлетворяются некоторые условия (например, нужно найти площадку более 2 000 м² в пределах 100 м от дороги, подходящую для строительства).

Тенденции. Что изменилось? Вопрос представляет собой попытку определить временные изменения на определенной площади (например, как меняется картина загрязнения района на протяжении года).

Структуры. Какие пространственные структуры (распределения) существуют? Построение площадных объектов на основе дискретных точек.

Моделирование. Что, если..? Это вопрос ставят, если хотят, например, выяснить, как повлияет изменение или добавление фактора на общую структуру, например что произойдет, если к существующей сети добавить новую дорогу или если токсичное вещество просочится в грунтовые воды.

2. Классификация и структура ГИС

С точки зрения геоинформатики классификацию всех информационных систем можно представить в виде таксономического дерева:

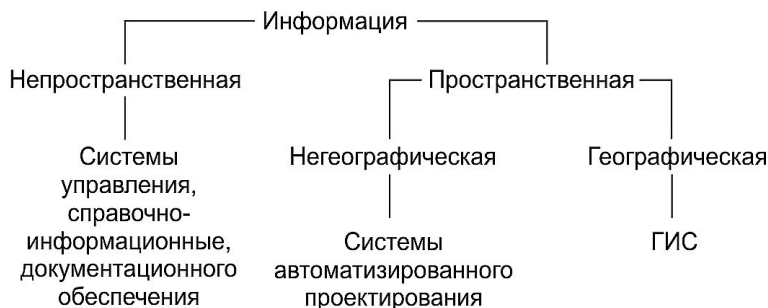


Схема 1. Классификация информационных систем

По **территориальному охвату** различаются глобальные ГИС, национальные ГИС, зачастую имеющие статус государственных, региональные ГИС и локальные ГИС. ГИС различаются по **предметной области** информационного моделирования, например: муниципальные ГИС, природоохранные ГИС, инженерные и т. п. Проблемная ориентация ГИС определяется решаемыми в ней задачами (научными и прикладными), среди них инвентаризация ресурсов (в том числе кадастр), анализ, оценка, мониторинг, управление и планирование, поддержка принятия решений.

По другому признаку классификации в настоящее время в применяются 2 типа ГИС: **топологические и нетопологические**. Первые способны обрабатывать информацию, связанную с категориями соседства, включенности (различают правую и левую стороны объектов), вторые — нет. Пример первого типа — линейка продуктов ArcGIS компании ESRI и подобные ей системы. Пример второго типа — ГИС Mapinfo. Оба программных продукта также могут иллюстрировать другую дифференцировку — по области применения. Первые в основном решают задачи аналитического и мониторингового характера, поскольку обладают большим числом интегрированных функций, возможностью автоматизации

процедур и даже создания экспертно-аналитических автоматизированных систем. Подобные Mapinfo программы более приспособлены для подготовки картографических материалов.

Логически и организационно во всех ГИС можно выделить несколько конструктивных подсистем, выполняющих определенные функции.

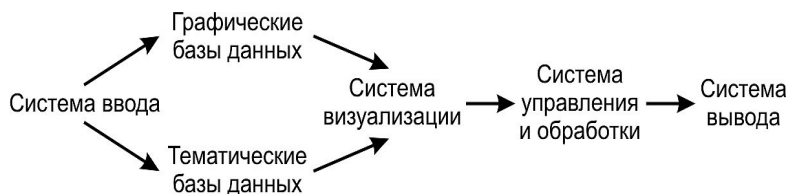


Схема 2. Функциональная структура ГИС

Система ввода представляет собой аппаратные средства (клавиатура, мышь, дигитайзер, сканер, приемник GPS и т. д.) и интерфейс ввода данных. Затем координатные и атрибутивные данные хранятся в соответствующих **базах данных** и по запросу **систем управления и обработки и визуализации** используются для осуществления всевозможных (математических, логических, аналитических, статистических) операций. **Система вывода** позволяет выводить результаты этих операций на монитор, печатать, передавать их через Интернет или сохранять для использования в других программах.

В историческом аспекте нарастание функциональных возможностей ГИС происходило по линии от инвентаризации через анализ и моделирование к управлению.

Основные требования, предъявляемые к ГИС:

1. Охват всех сторон информационного, программного, технического обеспечения, проявляющихся в процессе эксплуатации системы, возможность обработки массивов неоднородной пространственно-координированной информации и способность поддерживать базы данных для широкого класса географических объектов.

2. Комплексный характер системы. Основное преимущество геоинформационных технологий по сравнению с традиционными

ми методиками состоит в возможностях совместного анализа больших групп параметров в их взаимной связи, что очень важно для изучения сложных географических явлений и процессов.

3. Открытость системы, обеспечивающая легкость модификаций и адаптации к новым условиям для поддержания ее на современном уровне не только разработчиками, но и пользователями.

3. Применение ГИС

ГИС используются для решения разнообразных задач, основные из которых можно сгруппировать следующим образом:

- обеспечение деятельности органов законодательной и исполнительной власти, силовых структур;
- обеспечение комплексного и отраслевого кадастра (земельного, водного, лесного, недвижимости и т. д.);
- поиск и рациональное использование природных ресурсов;
- территориальное, отраслевое, муниципальное планирование и управление;
- природопользование, мониторинг экологических ситуаций, оценка техногенных воздействий, экологическая экспертиза;
- научные исследования и образование;
- контроль условий жизни населения, здравоохранение и рекреация;
- картографирование (комплексное и отраслевое);
- использование в торговле и маркетинге, бизнесе.

Широко применяется ГИС в узковедомственных, потребительских сферах: транспорт, ценообразование, туризм, торговля, справочные услуги.

Таким образом, ГИС по назначениям и функциям является многоцелевой и ориентирована на обеспечение географическими и другими данными широкого круга организаций и граждан.

К потенциальным потребителям геоинформации относятся:

- структуры власти;
- планирующие органы;
- инспекции и контрольные органы;
- юридические и правоохранительные органы;

- природоохранные организации;
- архитектурно-планировочные и земельные службы города;
- организации, эксплуатирующие коммуникации или транспорт;
- научно-исследовательские и проектные институты;
- строительные организации;
- торговые организации;
- частные предприниматели и лица.

3.1. Применение ГИС в природоохранной деятельности

В ходе экологического мониторинга осуществляется сбор и совместная обработка данных, относящихся к различным природным средам, моделирование и анализ экологических процессов и тенденций их развития, использование данных при принятии решений по управлению качеством окружающей среды. Таким образом, в природоохранной деятельности ГИС являются мощным средством поддержки принятия управленческих решений.

Результат экологического исследования, как правило, представляет оперативные данные следующих типов: **констатирующие** (измеренные или смоделированные параметры состояния экологической обстановки в момент обследования), **оценочные** (результаты обработки измерений и получение на этой основе оценок экологической ситуации), **прогнозные** (прогнозирующие развитие обстановки на заданный период времени).

Особенностью представления данных в системах экологического мониторинга является то, что на экологических картах в значительной степени представлены ареальные геообъекты (например, области с одинаковой концентрацией загрязняющего вещества).

Сегодня предлагается целый ряд специализированных программ для профессиональной деятельности в области охраны окружающей среды, реализующих элементы технологии ГИС. Они могут предназначаться для оценки загрязнений и их последствий и привязки результатов к конкретной местности. Основой таких программ является математическая модель процесса (например, метод расчета загрязнения атмосферы, базирующийся

на гидродинамической модели пограничных слоев атмосферы и методе Монте-Карло для оценки турбулентной диффузии примесей, на основе суперпозиции полей загрязнений возможен расчет суммарного загрязнения и риска токсических эффектов и т. п.). На основе данных об источнике загрязнения (геопространственная привязка, объем, скорость выброса и др.), климатических характеристик можно рассчитать поле загрязнения, и результаты будут визуализироваться с учетом пространственных данных. Применение стандартизованного метода расчета позволяет использовать полученные результаты для принятия управленческих решений.

Для крупных территориальных образований система экомониторинга на основе геоинформационных систем имеет сложную многоступенчатую структуру. Обычно ее можно разделить на два основных уровня.

Нижний уровень системы включает:

- федеральные, городские и ведомственные подсистемы специализированных мониторингов (мониторинг атмосферы, поверхностных вод, здоровья населения и т. п.);
- территориальные центры сбора и обработки данных.

Эти подсистемы обеспечивают сбор информации о состоянии окружающей среды и первичный анализ информации.

Верхний уровень системы экомониторинга составляет информационно-аналитический центр. В его задачи входят:

- оперативная оценка экологической ситуации в регионе;
- расчет интегральных оценок экологической ситуации;
- прогноз развития экологической ситуации;
- подготовка проектов управляющих воздействий и оценка последствий принимаемых решений.

Интеграция данных в единую систему происходит двумя путями:

- на основе конвертирования форматов данных в единый для всей системы формат;
- на основе выбора единого программного обеспечения ГИС.

Используемый программный комплекс, кроме стандартных для ГИС, должен выполнять следующие функции:

- формирование и ведение баз экологической информации по территориям, предприятиям, средам (воздух, вода, почва);

- ведение базы данных нормативно-законодательных документов в области экологии;
- ведение базы данных нормативов содержания загрязняющих веществ в воздухе, воде, почве и продуктах питания;
- ведение базы данных приборов экологического контроля.

4. Модели данных в ГИС

4.1 Общие принципы построения моделей данных в ГИС

ГИС использует разнообразные данные об объектах, характеристиках земной поверхности, информацию о формах и связях между объектами, различные описательные сведения. Используя приемы генерализации и абстракции, необходимо свести множество данных к конечному объему, легко поддающемуся анализу и управлению.

Абстракция — отвлечение в процессе познания от несущественных сторон, свойств, связей предмета или явления с целью выделения их существенных, закономерных признаков.

Генерализация — процесс отбора и обобщения содержания при составлении географических карт.

Генерализация проявляется:

- в отборе объектов (т. е. в ограничении содержания карты необходимыми объектами и в исключении прочих);
- в продуманном упрощении контуров;
- в обобщении количественных характеристик, состоящем в укрупнении ступеней;
- в обобщении качественных характеристик, состоящем в упрощении классификаций изображаемых явлений;
- в замене отдельных объектов их собирательными обозначениями.

В существующих ГИС используются различные способы для описания реальности посредством модели данных. **Модель пространственных данных** — способ цифрового описания пространственных объектов, тип структуры пространственных данных. Наиболее универсальные и употребительные из них: векторное (топологическое или нетопологическое) и растровое представление.

Каждая модель более пригодна для определенных типов данных и областей применения, поэтому при необходимости решения большого числа задач следует использовать совокупность разных моделей. Модель пространственных данных должна обладать следующими основными качествами: **целостность, непротиворечивость и оптимальность.**

4.2. Оверлейная структура

Цифровая карта может быть организована как множество **слоев**. Слои построены на основе объединения (типизации) пространственных объектов, имеющих общие свойства:

- принадлежность к одному типу координатных объектов (точечные, линейные, полигональные);
- принадлежность к одному типу пространственных объектов (жилые здания, подземные коммуникации, административные границы и т. д.);
- отображение на карте одним цветом.

Принадлежность объекта или части объекта к слою позволяет использовать и добавлять групповые свойства объектам данного слоя.

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.



Рис. 1. Послойная структура электронной карты

С помощью системы фильтров или заданных параметров объекты, принадлежащие слою, могут быть одновременно масштабированы, перемещены, скопированы, записаны в базу данных.

Многослойная организация электронной карты при наличии гибкого механизма управления слоями позволяет не только объединить и отобразить большее количество информации, чем на обычной карте, но существенно упростить анализ картографических данных с помощью селекции данных, необходимых для визуализации и механизма «прозрачности» цифровой карты.

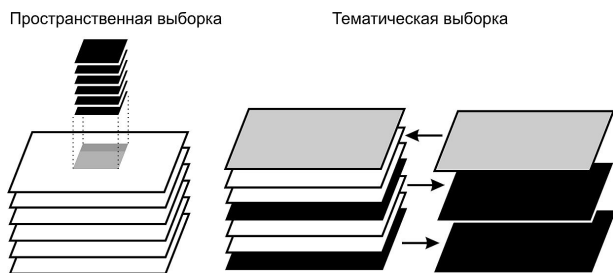


Рис. 2. Различные виды выборок

Над объектами, расположенными на разных слоях, можно проводить **оверлейные операции**. Оверлейными операциями называется процесс генерации новых и изменения существующих объектов путем наложения (совмещения) различных цифровых карт, содержащих разнотипные объекты, при этом созданные или модифицированные объекты могут иметь информацию, являющуюся производной от информации исходных объектов. Например, если имеются два полигональных объекта, которые частично пересекаются, то над ними могут быть осуществлены операции объединения, пересечения и т. п.

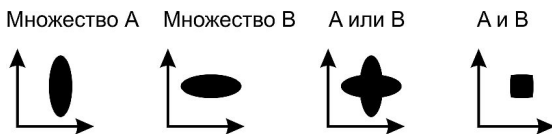


Рис. 3. Оверлейные операции

4.3. Базовые типы пространственных объектов

Объектом информационного моделирования в ГИС является **пространственный объект**. Это одно из ключевых понятий геоинформатики. Он может быть определен как цифровое представление (модель) объекта реальности (местности), содержащее его местоуказание и набор свойств (характеристик, атрибутов).

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

- **точка** (точечный объект) — 0-мерный объект, характеризующийся плановыми координатами;

- **линия** (линейный объект, полилиния) — 1-мерный объект, образованный последовательностью не менее двух точек с известными плановыми координатами (линейными сегментами или дугами);

- **полигон** (область, контур) — 2-мерный (площадной) объект, внутренняя область, ограниченная замкнутой последовательностью линий (дуг в векторных топологических моделях данных или сегментов в нетопологической модели) и идентифицируемая внутренней меткой;

- **пиксел** (пиксель) — 2-мерный объект, наименьший элемент, получаемый в результате дискретизации изображения (разбиения на далее неделимые элементы раstra);

- **ячейка** (регулярная ячейка) — 2-мерный объект, элемент разбиения земной поверхности линиями регулярной сети;

Общее цифровое описание пространственного объекта включает:

- наименование;
- указание местоположения;
- набор свойств;
- отношения с иными объектами.

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

В зависимости от типа объекта его местоположение определяется парой (триплетом) координат (для точечного объекта) или набором координат, организованным определенным образом

в рамках некоторой модели данных. Перечень свойств соответствует атрибутам объекта, качественным и количественным его характеристикам. Атрибуту объекта могут быть поставлены в соответствие любые типы данных: текст, видео- или аудиозапись, графика (включая карту), что реализуется на практике в мультимедийных электронных атласах.

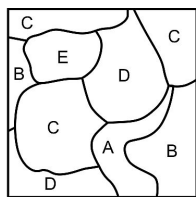
Под отношениями понимают прежде всего **топологические отношения** (топологию). К топологическим свойствам пространственного объекта принято относить его размерность, замкнутость, связность, простоту (отсутствие самопересечения линейных объектов и «островов» в полигоне) и т. п. Примерами топологических отношений объектов являются их свойства «пересекаться», «касаться», «быть внутри», «содержать», «совпадать».

4.4. Растровая модель данных

Растр — прямоугольная решетка — разбивает изображение на составные однородные далее неделимые части, называемые **пикселями**, каждому из которых поставлен в соответствие некоторый код, обычно идентифицирующий цвет в той или иной системе цветов (цветовой модели).

Растровая модель данных:

- разбивает всю изучаемую территорию на элементы регулярной сетки;
- каждая ячейка содержит только одно значение;
- является пространственно заполненной, поскольку каждое местоположение на изучаемой территории соответствует ячейке растра.



Исходная карта контуров

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

Растровое представление

Рис. 4. Образование растровой структуры.

Исходные полигональные объекты (слева) с атрибутами (классами) А, В, С, D и Е и матрица размерностью 7х7 растровой модели (справа), каждому элементу которой присвоено значение атрибута объекта

Выбрав подходящий размер пиксела растровой модели, можно добиться пространственного **разрешения** (количества пикселей в единице длины, обычно дюйм или сантиметр), удовлетворяющего целям их цифрового описания и последующей обработки. Чем больше разрешение, тем качественнее выглядит изображение и тем больше степень возможного его увеличения. Векторные изображения не имеют подобной характеристики и всегда выглядят четко.

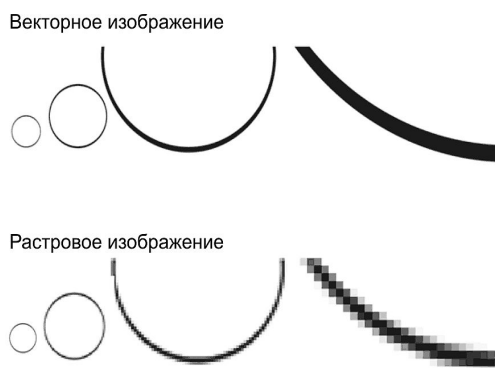


Рис. 5. Сравнение качества изображения в векторной и растровой моделях при различном масштабе

Двукратное увеличение разрешения ведет к четырехкратному росту объемов хранимых данных и т. д., поэтому необходимо найти баланс между качеством изображения и размером файла.

В растровых ГИС аналитические операции сводятся к попиксельным операциям с набором растровых слоев и могут быть легко «распараллелены».

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

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 мето-

дов обработки получать объективные характеристики исследуемых объектов;

- растровые данные проще для обработки по параллельным алгоритмам;

- некоторые задачи, например создание буферной зоны, 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.

Простота машинной реализации операций с растровыми данными находится в противоречии с другой главной их особенностью — значительными затратами памяти, требуемой для их хранения (в сравнении с векторными моделями). Существуют способы сжатия (компрессии) растровых данных.

Недостаток растровых форматов состоит в сложности распознавания объектов. Растр применяется в основном там, где пользователей не интересуют отдельные пространственные объекты, а интересует точка пространства как таковая с ее характеристиками (высотная отметка или глубина, влажность или тип почв и т. п.). Наиболее часто растровые модели применяют при обработке аэрокосмических снимков.

Если атомарной единицей данных при их описании служит элемент «разбиения» территории не прямоугольной (квадратной), а другой правильной геометрической формы — речь идет о другой, отличной от растровой, хотя и формально с нею схожей, регулярно-ячеистой модели данных. Известны примеры регулярных сетей (решеток) с ячейками правильной треугольной, гексагональной или трапециевидной формы.

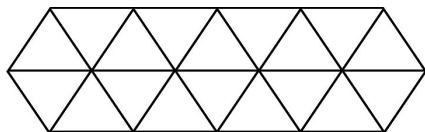


Рис. 6. Регулярная треугольная решетка

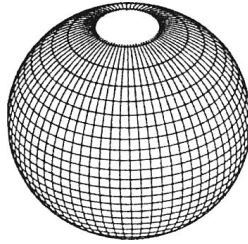


Рис. 7. Сеть равновеликих трапеций на сфере

4.5. Квадратомическая модель

Главный мотив использования и поддержки данной модели программными средствами ГИС — компактность хранения данных по сравнению с растровой моделью.

В основе **квадратомического дерева** лежит разбиение изображения на вложенные друг в друга квадратные участки, каждый из которых делится рекурсивно на четыре вложенных до достижения некоторого уровня пространственного разрешения.

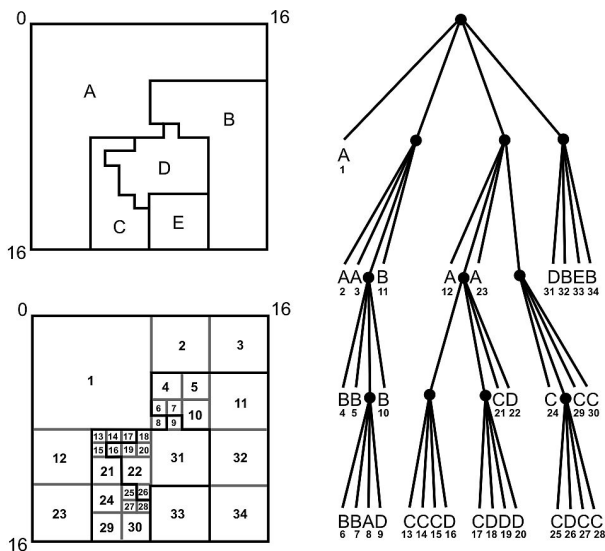


Рис. 8. Механизм построения квадродерева участка территории с пятью областями

На первом этапе деления исходного участка на четыре квадратных блока и одновременном «ветвлении» квадродерева образуется один неделимый далее элемент № 1 (ему соответствует «лист» дерева на рис. 8 справа) и три «узла» делимых далее квадратов первого уровня иерархии (принимая «корневой» уровень квадратного участка в целом за нулевой). За исключением девяти гомогенных квадратов, на втором иерархическом уровне все остальные элементы делятся далее, пока необходимость дальнейшего деления не будет исчерпана на последнем, четвертом, этапе.

Экономия в сравнении с растровой моделью данных очевидна — область Е на рис. 8. оказалась представленной одним квадратом под номером 33 (а не 16 элементами растра или ячеек регулярной сети), и ее цифровое описание подразумевает лишь формализованное представление структуры квадродерева.

Принимая за нулевой уровень иерархии земную сферу в целом, можно построить глобальное квадротомическое дерево. Уже на 23-м уровне иерархии достигается метровое его разрешение.

4.6. Векторные модели

Векторные модели данных строятся на базе векторов, занимающих часть пространства в отличие от занимающих все пространство растровых моделей. Это определяет их основное преимущество — требование меньшей памяти для хранения и меньших затрат времени на обработку и представление.

Таблица 1

Краткое сравнение преимуществ растровой и векторной моделей

<i>Растровая модель</i>	<i>Векторная модель</i>
Простая структура данных	Компактная структура
Эффективные	Топология
оверлейные операции	Работа с отдельными объектами
Работа	Качественная графика
со сложными структурами	при изменении масштаба
Работа со снимками	Точность представления объектов

В транспортных, инженерных, коммунальных ГИС практически всегда используют векторные модели данных.

При построении ГИС применяют набор базовых геометрических данных, из которых затем komponуют остальные, более сложные данные. В ГИС используются следующие типы атомарных геометрических данных.

Безразмерные (0-мерные) типы объектов:

- точка — определяет геометрическое положение;
- узел — топологический переход или конечная точка, также может определять местоположение.

Одномерные типы объектов:

- линия;
- линейный сегмент — прямая линия между двумя точками;
- строка — последовательность линейных сегментов;
- дуга — геометрическое место точек, которые формируют кривую, определенную математической функцией;
- связь — соединение между двумя узлами;
- направленная связь — связь с одним определенным направлением;
- цепочка — направленная последовательность непересекающихся линейных сегментов или дуг с узлами на их концах;
- кольцо — последовательность непересекающихся цепочек, строк, связей или замкнутых дуг.

Двумерные типы объектов:

- полигон (область) — ограниченный непрерывный объект, который может включать или не включать в себя собственную границу.

Трехмерные типы объектов:

- тело — объемный объект, описываемый триплетом координат, включая аппликату Z , и ограниченный поверхностями.

4.6.1. Нетопологическая модель

Множество точечных объектов, образующее слой однородных данных (например, множество объектов, соответствующих населенным пунктам), может быть представлено в векторном формате в виде неупорядоченной (не обязательно упорядоченной) последовательности записей (строк таблицы). Каждая из за-

писей содержит три числа: уникальный идентификационный номер объекта (идентификатор), значения координат X и Y в системе плановых прямоугольных декартовых координат:

1	X_1	Y_1
2	X_2	Y_2
...
N	X_N	Y_N

Линейный объект или граница полигонального объекта могут быть представлены в виде последовательности образующих их точек (промежуточных точек), т. е. набором линейных отрезков прямых (сегментов), образующих полилинию. При этом каждый именованный полигон (со своим идентификатором) представляется записью пар координат, образующих его границу в избранной последовательности (например, по часовой стрелке). При описании множества полигонов каждый отрезок границы, заключенный между двумя узловыми точками (за исключением внешней границы полигонов), будет описан дважды (по часовой стрелке и против).

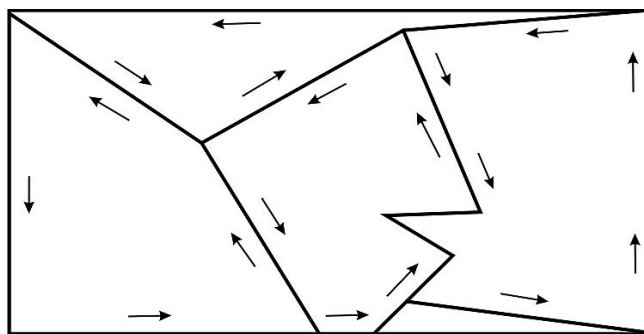


Рис. 9. Описание полигонов
в рамках векторной нетопологической модели

При этом границы смежных полигонов могут не совпадать, что может привести к ошибкам в различных расчетах (математических и логических).

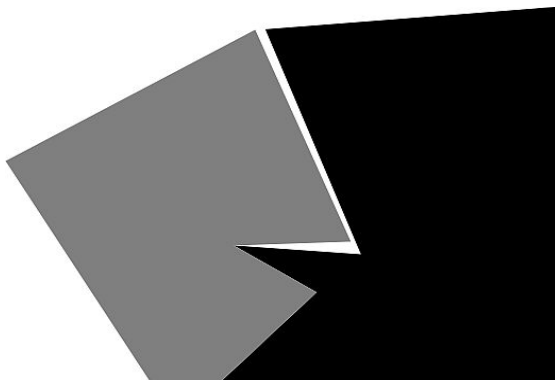


Рис. 10. Несовпадение границ полигонов при их независимом описании в рамках векторной нетопологической модели

Такая нетопологическая модель данных для описания точечных, линейных и полигональных объектов носит наименование модели «спагетти». Она не является эффективной с точки зрения избыточности хранимых данных и возможностей использования аналитических операций и поддерживается программными средствами настольного картографирования.

4.6.2. Топологическая модель

В нетопологических ГИС цифруются пространственные объекты, изначально не знающие друг о друге, и построение отношений между ними осуществляется в режиме постпроцесса. В топологических же ГИС фиксация топологических пространственных отношений между объектами (смежности, связности, вложенности и др.) является основой их конструкции. Топологические системы являются более адекватным инструментом для создания цифровых карт, на основе которых можно производить различные аналитические и статистические операции. Топологические модели позволяют представить всю карту в виде графа. Площади, линии и точки описываются с помощью узлов и дуг. Каждая дуга идет от начального к конечному узлу. Известно, что находится справа и слева.

Векторная топологическая модель обязана своим происхождением задаче описания полигональных объектов. Ее называют еще линейно-узловой моделью. С ней связаны и особые термины, отражающие ее структуру. Главные ее элементы (примитивы):

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

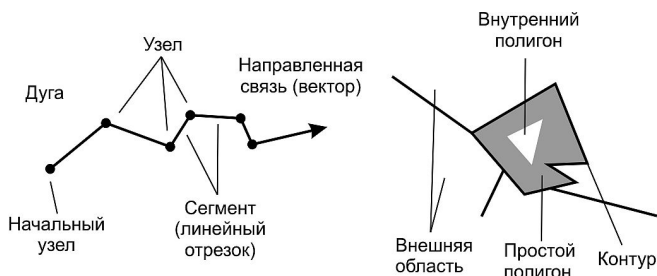


Рис. 11. Примитивы линейно-узловой модели

Для каждого узла у линейных объектов существует характеристика — валентность. Валентность узла — это количество смежных узлу дуг. Концы обособленных линий одновалентны. Для уличных сетей (пересечение улиц) валентность чаще всего равна четырем. В гидрографии чаще встречаются трехвалентные узлы (основное русло реки и приток).

Описание полигона в векторной топологической модели — это множество трех типов элементов: узлов, дуг и собственно полигонов. Между этими объектами устанавливаются топологические отношения, необходимым элементом которых должна быть связь дуг и узлов, полигонов и дуг. Последним приписываются указатели разграничиваемых ею правого и левого полигонов, конвенционализирующие направление обхода контуров.

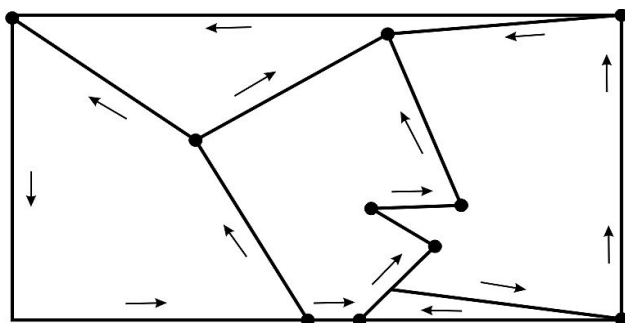


Рис. 12. Направление при описании полигонов в рамках векторной топологической модели

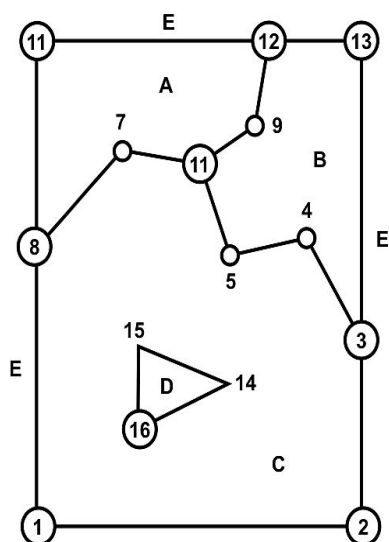


Рис. 13. Структура узлов, дуг и полигонов в векторной нетопологической модели.

1, 2, 3, 6, 8, 10, 11, 12, 13 — узлы;

4, 5, 7, 9, 14, 15 — промежуточные точки линейных сегментов (дуг);
 (1–2), (2–3), (3–6), (6–8), (8–1), (10–11), (11–8), (3–12), (12–10) — дуги;
 A, B, C — полигоны; D — внутренний полигон («остров», анклав),
 для описания которого вводится фиктивный узел (псевдоузел) (16),

E — внешний (по отношению ко всем полигонам в пределах прямоугольного участка координатной плоскости) полигон.

Когда атрибутивные данные управляются средствами реляционной СУБД и организованы в таблицы, связь между позиционной и атрибутивной составляющей устанавливается и поддерживается через идентификатор объекта.

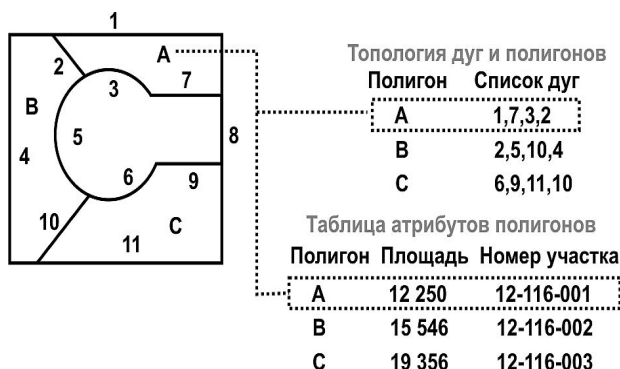


Рис. 14. Связь между позиционными и атрибутивными данными в векторной топологической модели

Необходимая процедура при работе с топологическими данными — подготовка геометрических данных. Этот процесс трудно автоматизировать: топологические характеристики должны быть вычислены заранее и занесены в базу данных вместе с координатными данными.

4.6.3. Сетевые модели

В практике проектирования ГИС нередки случаи, когда ни одна из «классических» моделей не может удовлетворить особым требованиям пользователей к системе и все они оказываются малоэффективными или непригодными для решения специфических классов задач, например сетевой анализ для решения задач оптимизации перевозок, планирования маршрутов или диспетчеризации мобильных транспортных средств. При моделировании сети транспортных коммуникаций в рамках классической векторной модели пространственная организация дороги (в том числе автодороги, с мостами, путепроводами, туннелями и многоуровневыми развязками) не может быть представлена

планарным графом, и все подобные случаи нарушения планарности будут квалифицироваться системой как топологическая ошибка в цифровой записи линейных объектов.

Требование единственности атрибута дуги, представляющей автодорогу, в обычной векторной модели может также создать серьезные неудобства, если дугой считать участок дороги от перекрестка до перекрестка, поскольку в пределах участка ее характер (тип дорожного покрытия, число полос для движения) может меняться. Для адекватного моделирования транспортных сетей и сетей коммуникаций в целом предложены особые типы моделей, например модель геометрических сетей.

Известен пример модели «мультимасштабных сетей», в которых допускается введение признака важности узлов (и соответственно дуг), что позволяет построить иерархию подсетей с разным уровнем детальности элементов исходной сети.

Особые модели данных используются в практике проектирования ГИС для решения задач управления сетями инженерных коммуникаций — сетями водо-, газо-, электроснабжения.

4.6.4. TIN

Среди нерегулярных мозаик чаще всего используют треугольные сети неправильной формы (Triangulated Irregular Network — TIN). Сети TIN удобны для создания цифровых моделей отметок местности по заданному набору точек (описание рельефа местности). Это нерегулярная сеть точек, соединенных сетью прямых отрезков. Наличие таких связей между точками дает представление о форме поверхности на данном участке. В пределах каждого треугольника поверхность представляется плоскостью. Поскольку поверхность каждого треугольника задается высотами трех его вершин, применение треугольников обеспечивает каждому участку мозаичной поверхности точное прилегание к смежным участкам. Это обеспечивает непрерывность.

В векторных ГИС модель TIN можно рассматривать как полигоны с атрибутами угла наклона, экспозиции и площади, с тремя вершинами, имеющими атрибуты высоты, и с тремя сторонами, характеризующимися углом наклона и направлением.

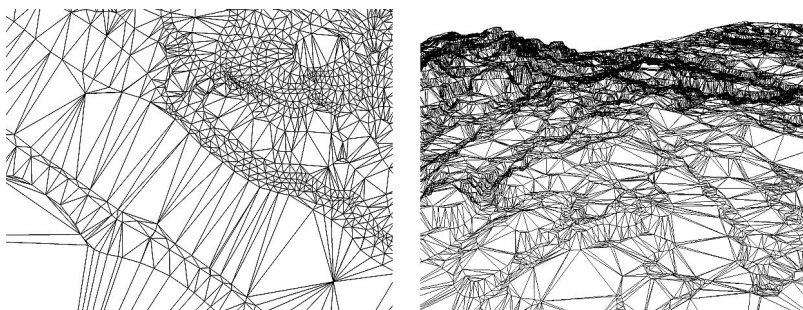


Рис. 15. Участки местности в модели TIN, вид сверху (слева) и под углом

4.7. Создание электронной карты



Схема 3. Применение картографических знаний при работе с ГИС

Роль картографических моделей в создании и применении ГИС:

- карта — источник пространственных данных;
- карта — способ хранения и интеграции данных о геообъектах;
- карта — средство организации запросов к БД;
- карта — средство пространственного анализа;
- карта — способ представления результатов работы с ГИС.

Поддержка тех или иных моделей данных — один из главных критериев выбора программного средства ГИС, адекватного моделируемой ею предметной области, требованиям пользователя и существу решаемых задач. Многомодельность программного средства, необходимость обмена данными между системами побуждают разработку алгоритмов и средств преобразования данных из одной модели в другую. Некоторые из этих преобразований просты и могут быть выполнены автоматически, например векторно-растровое преобразование (растеризация). Обратный процесс — векторизация растровых данных (растрово-векторное преобразование), широко используемая при цифровании графических материалов, — значительно сложнее.

4.7.1. Ввод данных

Ввод данных — процедура кодирования данных в компьютерночитаемую форму и их запись в базу данных ГИС.

Ввод данных включает три главных шага:

- сбор данных;
- их редактирование и очистку;
- геокодирование данных.

Информация о качестве данных включает следующие параметры:

- дату получения;
- точность позиционирования;
- точность классификации;
- полноту;
- метод, использованный для получения и кодирования данных.

Основные типы систем ввода данных:

1. Ввод с помощью клавиатуры

- используется, главным образом, для атрибутивных данных;
- редко используется для пространственных данных.

2. Координатная геометрия

- процедуры для введения данных по земельным наделам, используется для земельного кадастра;
- очень высокий уровень точности, полученной за счет полевых геодезических измерений (топографической съемки);
- очень дорогой, в последнее время заменяется использованием специализированных приемников GPS .

3. Ручное цифрование

- эффективность зависит от умения оператора;
- требует много времени и допускает наличие ошибок;
- используются полуавтоматические цифрователи (дигитайзеры).

4. Сканирование

- снимок нуждается в обработке и редактировании для улучшения качества;
- изображение впоследствии обычно должно быть преобразовано в векторный формат, но сканированные изображения могут и непосредственно использоваться для производства карты;
- требуется маркировка объектов.

5. Ввод существующих цифровых файлов

- наборы данных различных ведомств и организаций должны быть доступны;
- приобретение и использование существующих цифровых наборов данных обычно является наиболее эффективным способом заполнения ГИС;
- возможны проблемы с конвертацией данных.

6. Использование аэрофото- или спутниковых фотографий, данных дистанционного зондирования

- необходим доступ к банку таких изображений;
- возможны проблемы, связанные с рельефом, кривизной земной поверхности, эффектами атмосферы;
- сложность распознавания отдельных объектов.

4.7.2. Цифрование: способы и этапы

Дигитализация (цифрование с использованием дигитайзера) имеет две разновидности: по точкам и потоком, а векторизация — три: ручная, интерактивная и автоматическая. **Дигитализация**

по точкам в настоящее время почти не используется. Оператор обводит курсором дигитайзера контур, нажимая при этом необходимые кнопки. При каждом нажатии в компьютер посылаются код кнопки и/или координаты точки пересечения нитей курсора. Ошибки со стороны оператора практически неизбежны. При **дигитализация потоком** с планшета дигитайзера сигнал подается автоматически при пересечении пером линий сетки, что избавляет оператора от необходимости постоянно нажимать на клавишу.

Один из наиболее распространенных способов получения векторных моделей — векторизация сканированных (растровых) изображений. Для векторизации необходимо высокое качество (отчетливые линии и контуры) растровых образов. Чтобы обеспечить требуемую четкость линий, часто необходимо предварительное улучшение качества изображения. Процесс сканирования требует незначительных затрат труда, но необходимость последующей векторизации значительно увеличивает расходы.

Ручная и интерактивная векторизация по «подложке» называются также **цифрованием**. Отсканированное изображение выводится на экран монитора, и само цифрование осуществляется по этой «подложке» обычно при помощи мыши. При интерактивной векторизации часть операций производится автоматически. Возможности интерактивной векторизации прямо связаны с качеством исходного материала и сложностью карты.

Автоматическая векторизация подразумевает очень небольшое вмешательство оператора в работу системы. Карта вначале сканируется, а затем автоматически переводится в векторный формат. Этот тип ввода информации состоит из этапов предварительного редактирования, непосредственного перевода из растрового формата в векторный и окончательного редактирования.

Некоторые программные продукты корректируют всевозможные помехи (пятна, грязь и др.) с использованием специальных модулей. Эти системы по заложенным в них образцам распознают символы, линии, окружности и т. п., находят линии или полигоны, отстоящие друг от друга на минимальное расстояние и т. п.

Межмодельные (например, растрово-векторные) преобразования — часть более общей проблемы конвертирования **форматов**

пространственных данных (конкретных реализаций их моделей в программных средствах ГИС). Некоторые форматы, поддерживаемые конвертерами программных средств ГИС, не являются собственно «геоинформационными», обслуживая связь с внешними графическими средами вроде векторных систем автоматизированного проектирования или растровых графических редакторов.

Цифрование — ступенчатый процесс, включающий:

- подготовку исходной карты к цифрованию;
- выделение слоев и объектов;
- составление ведомостей на объекты;
- непосредственное цифрование;
- корректировку векторных объектов;
- занесение атрибутивной информации в соответствующие файлы или таблицы.

Предварительная подготовка к цифрованию включает в себя выделение объектов, принадлежащих к одному слою (например, гидрография) и/или типу (линии, точки, полигоны). Каждому объекту должен быть присвоен порядковый номер, устанавливающий последовательность цифрования, по которому затем будет добавлена атрибутивная информация. В некоторых системах она добавляется сразу при цифровании, в других — после завершения процесса. Также осуществляется корректировка растрового изображения (яркость, резкость, цвет, удаление дефектов).

4.7.3. Проблемы цифрования

Большинство ГИС снабжены возможностями, обеспечивающими аккуратное цифрование, например точное начало одной линии на другой, что важно при цифровании реки и ее притоков. Необходимо, чтобы линия, изображающая приток, точно началась на русле, иначе при решении различных задач, например при поиске оптимального пути, ГИС не сможет найти правильного решения, да и при простой визуализации окажется, что они не соединены. К другим возможностям того же плана относятся: замыкание линий, привязка к началу, концу, произвольной точке выбранной линии, оцифрованной ранее, и т. п.

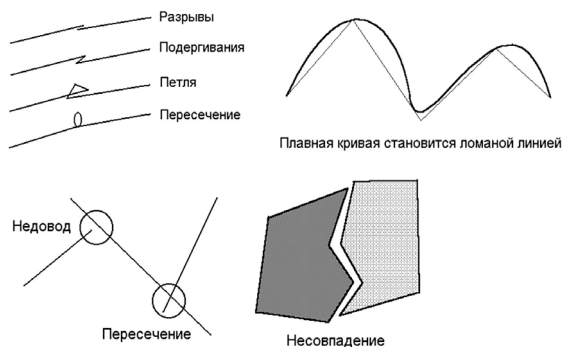


Рис. 16. Основные ошибки, возникающие при цифровании

Одной из важных проблем является то, что слои и/или отдельные типы элементов обводятся отдельно в различных сеансах работы. В связи с этим не всегда удастся точно увязать между собой объекты, принадлежащие к разным слоям или группам.

Уровень ошибок в базе данных ГИС непосредственно связан с уровнем ошибок исходных карт. Карты не всегда адекватно отображают информацию и не всегда точно передают данные о местоположении.

При цифровании, проходящем при участии оператора, возможно влияние «человеческого фактора» — опечатки, ошибки из-за невнимательности и пр.

4.7.4. *Позиционирование данных*

Процессом позиционирования называют пространственную привязку табличных данных к точкам земной поверхности или системе координат карты. Позиционирование является обязательным свойством данных в геоинформатике.

Цифровая карта одновременно представлена в двух системах координат: внутренней (система координат хранения) и внешней (система координат отображения). Для сведения разнородных цифровых картографических материалов в единую систему необходимо прежде всего установление систем координат, соответствующих используемым данным, и определение преобразований для связи между ними.

Перевод исходной карты в систему координат базовой карты порождает три задачи:

- определение теоретической системы координат (в частности, проекции или ее параметров, а иногда и используемой геодезической системы координат) исходной карты;
- определение необходимого преобразования и перевод карты в ее теоретическую систему координат;
- преобразование исходной карты в систему координат базовой карты.

Первая задача — определение теоретической системы координат (в частности, проекции или ее параметров) исходной карты.

Теоретическая система координат карты — система координат, в которой составлена карта (проекция с заданными параметрами, масштаб, начало координат и т. д.). Отечественные мелкомасштабные карты (масштаб мельче 1:1 000 000) составлены в основном в проекциях, представленных в специальном атласе (Гинзбург Г. А., Салманова Т. Д. Атлас для выбора картографических проекций) и дополнении к нему (Ледовская Л. С. Дополнение к атласу для выбора картографических проекций). Для зарубежных карт, по крайней мере для американских, основным является альбом проекций (J. P. Snyder, P. M. Voxland, 1989). Американские программные продукты также в основном поддерживают картографические проекции из этого альбома.

Вторая задача — определение необходимого преобразования и перевод карты в нужную систему координат.

Определяются две системы координат:

- первая связана с исходным изображением;
- вторая связана с трансформированным изображением (после преобразования).

После задания соответствующих опорных точек в первой и второй системах координат выбирается преобразование для всей цифровой карты.

Как правило, на карте есть точки привязки к теоретической системе координат — узлы картографической или километровой сетки, опорные кресты планшетов, геодезические пункты. Возможно использование других опорных точек (перекрестков дорог, точечных объектов, характерных точек береговой линии и пр.).

Третья задача — преобразование исходной карты в систему координат базовой карты. В том случае, когда теоретическая система координат исходной карты не может быть определена, преобразование исходной карты в систему координат базовой карты осуществляется непосредственно по опорным точкам с использованием преобразования плоскости. При этом выбор преобразования и точность результата зависят от качества и количества опорных точек.

Если исходная карта представлена в системе координат цифрования, ее картографическая проекция определена и отличается от проекции базовой карты, тогда сначала осуществляется преобразование исходной карты в ее теоретическую систему координат по опорным точкам с использованием преобразования плоскости и затем преобразование в систему координат базовой карты. При этом необходимо применять преобразование картографической проекции, требующее знания параметров обеих проекций и поддержки этих проекций программным обеспечением.

4.7.5. Геокодирование

Атрибутивные данные можно собирать независимо от геоинформационных технологий. Эти данные необходимо привязать к соответствующим изображениям этих субъектов на карте. Нередки задачи, когда необходимо совместить два массива данных, полученных из разных источников.

Для этой цели используют процедуру геокодирования. Она позволяет связывать таблицы, у которых есть хотя бы один столбец с одинаковыми атрибутивными данными. В результате геокодирования таблица с новыми данными становится позиционированной, т. е. ее данные получают пространственную привязку.

Поскольку сравнение данных таблиц и их дальнейшее слияние можно проводить разными путями, существуют разные способы геокодирования.

Различают пять типов привязки.

1. Прямая привязка: каждой строке семантической таблицы соответствует идентификационный номер объекта.

2. Косвенная семантическая привязка: часть новых семантических данных совпадает с имеющейся семантической информацией, в свою очередь уже связанной с объектами.

3. Косвенная геометрическая привязка: часть новых семантических данных задает пространственное положение объекта.

4. Многоуровневая косвенная привязка: вместе с подключаемой семантикой имеется некая классификация объектов, отличная от классификации объектов внутри базы данных.

5. Отсутствие привязки: в подключаемой таблице нельзя выделить какой-либо из видов связи с объектовым составом базы данных.

Результаты геокодирования могут быть записаны в поле таблицы, показывающее, какие действия по сравнению были произведены или почему поиск не удался. С помощью кода результата можно находить разные типы необработанных записей. В ГИС предусмотрен режим ручного геокодирования для случаев, требующих вмешательства оператора.

4.7.6. Критерии качества цифровых карт

Выделяют несколько компонентов качества данных в ГИС:

- информативность;
- позиционную точность;
- точность атрибутов;
- логическую непротиворечивость;
- полноту;
- происхождение.

Информативность. Карта как модель действительности обладает такими свойствами, как содержательное соответствие (научно обоснованное отображение главных особенностей действительности), абстрактность (генерализованность карты, переход от индивидуальных понятий к собирательным, отбор типичных характеристик объектов и устранение второстепенных), пространственно-временное подобие (геометрическое подобие размеров и форм, временное подобие и подобие отношений, связей, соподчиненности объектов), избирательность и синтетичность (раздельное представление совместно реализуемых явлений и факторов, а также единое целостное изображение явлений и процессов, которые в реальных условиях проявляются раздельно).

Позиционная точность складывается из нескольких показателей: точность вычисления, точность измерения, точность представления.

Точность вычисления определяется количеством значимых цифр после запятой в процессе расчетов или преобразования данных; **точность измерения** — количеством значимых цифр при измерениях, погрешностью метода или аппаратуры; **точность представления** — возможностью представить координатные данные на экране или в печати. Например, при мелком масштабе толщина линии, отображающей дорогу, в 0,5 мм (что необходимо для того, чтобы она была хорошо видна на карте) может соответствовать и дороге шириной в 5 м и автобану шириной в 50 м.

Точность атрибутов определяется близостью значений атрибута к его истинной величине. Атрибуты могут со временем меняться, довольно часто по сравнению с координатными данными. В зависимости от типов данных точность атрибутов может быть измерена разными способами. Для атрибутов категорий объектов, например классифицированных полигонов, точность зависит от того, являются ли категории подходящими, достаточно подробными и определенными, и от того, какова вероятность наличия в данных грубых ошибок.

Понятие **логической непротиворечивости** связано с непротиворечивостью данных в базах данных. В среде ГИС это понятие распространяется на внутреннюю непротиворечивость структур данных и внутреннюю топологическую непротиворечивость векторных данных. В частности, это определяет такие требования, как замкнутость полигонов, уникальность идентификатора полигона, наличие или отсутствие узлов на пересечениях дуг.

Понятие **полноты** (достаточности) данных связано со степенью охвата данными множества соответствующих объектов и зависит от текущей задачи. В зависимости от правил отбора, генерализации и масштаба определяют число соответствующих объектов для полного описания ситуации, картографической композиции, явления и т. п.

Происхождение включает сведения об источниках данных и операциях по созданию базы данных, о методах кодирования

данных, времени сбора данных, методе обработки данных, точности результатов вычислений и т. п.

Существует ряд признаков, которые позволяют при предварительной оценке цифровой карты определить ее непригодность (или непригодность самой технологии цифрования) к использованию в ГИС. Для выдачи предварительного заключения по качеству с количественными оценками может использоваться часть материала. Например, можно полностью исследовать фрагмент определенного размера (участок должен быть характерен для данной карты и насыщен объектами).

Качество является одним из основных управляемых параметров процесса создания цифровых карт наряду со временем, стоимостью, информационными ресурсами.

5. Проекция земной поверхности

Координаты точек пространственных объектов используют для указания местоположения объектов на земной поверхности. Поверхность Земли имеет сферическую форму, но при составлении карт пространственное положение точек отображается в плоском (двумерном) представлении. Для отображения положения точек поверхности на плоскости применяют различные математические модели поверхности, задающие различные картографические проекции.

Проекция — это математическая модель, преобразующая места расположения объектов на поверхности Земли в места их расположения на двумерной поверхности.

Любое двумерное представление земной поверхности всегда вносит искажения в некоторые параметры: в форму, площадь, расстояние или направление. Различные проекции вносят различные искажения. Характеристики каждой проекции делают ее удобной для некоторых приложений и непригодной для других.

Равноугольные проекции сохраняют без искажений углы и формы малых объектов, но в них резко деформируются длины и площади объектов. **Равновеликие** проекции не искажают площадей, но в них искажены углы и формы объектов. Первый

вид проекций приемлем для прокладки маршрутов транспортных средств, второй — для определения площадей и землепользования. **Произвольные** проекции имеют искажения углов, площадей и длин, но эти искажения распределены по карте, например так, что минимальные искажения имеются в центральной части и возрастают к краям.

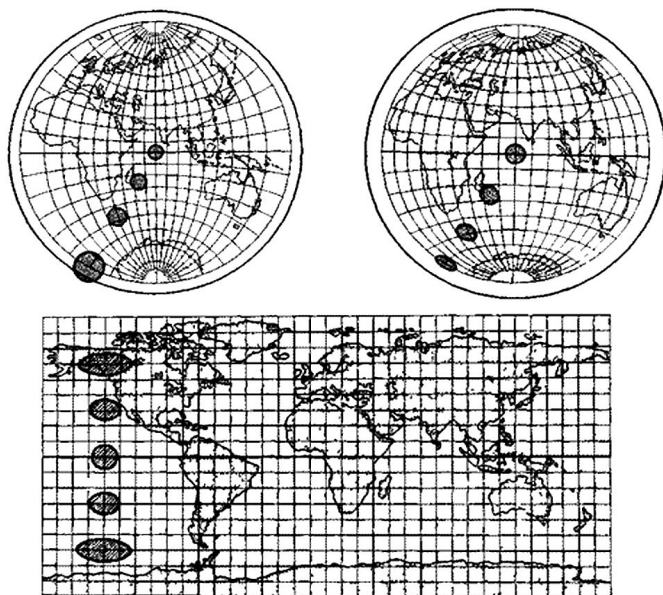


Рис. 17. Искажения размеров и/или формы круга в равноугольных (вверху слева), равновеликих и равнопромежуточных (внизу) проекциях

Основные типы проекций — **коническая, азимутальная, цилиндрическая, поликоническая**. Для отдельных регионов часто применяют близкие по свойствам проекции Гаусса — Крюгера и универсальную поперечно-цилиндрическую проекцию Меркатора (UTM).

Группа математических процедур ГИС, осуществляющая переход от одной картографической проекции к другой или от пространственной системы к картографической проекции, носит на-

звание проекционных преобразований. Эти процедуры включают и простые операции пересчета координат пространственных объектов (поворота, смещения, масштабирования и т. п.), более сложные (связанные, например, с «укладкой» объектов в систему опорных точек), и самую сложную подгруппу операций (трансформацию картографических проекций).

Достоинством моделирования в ГИС является возможность трансформирования космического (или аэро-) снимка непосредственно в картографическую проекцию, минуя построение фотограмметрической модели или традиционное фотограмметрическое трансформирование снимков. Эта возможность предоставляется в пакетах ГИС, в первую очередь связанных с обработкой данных дистанционного зондирования.

Выделение подгруппы преобразования проекций связано с необходимостью интеграции данных из различных картографических источников с разнородными математическими основами. Карты могут отличаться моделями Земли, примененными при создании карты; картографической проекцией; системой координат, привязанной к используемой модели Земли.

Технологически для проекционных преобразований в ГИС необходимо создать файл описания картографической проекции и выбрать исходный файл. Из набора типов преобразований выбирают необходимое, задают требуемые параметры, и проекционное преобразование осуществляется автоматически путем создания новой картографической проекции в заданном слое и соответствующем файле.

Большинство карт изображают координатные данные, используя одну из принятых глобальных систем координат, например универсальную поперечную Меркатора (UTM). Проекция используется для обеспечения взаимосвязи между местоположением на карте и истинным местоположением на земной поверхности.

Процесс трансформации картографических данных из одной проекции в другую требует знания параметров проекции источника и производной проекции, известных из курсов математической картографии и теории картографических проекций и справочных изданий.

Пересчет координат может быть представлен как решение обратной задачи математической картографии, т. е. преобразования прямоугольных координат в географические, а вслед за нею — прямой задачи с использованием уравнения производной проекции либо непосредственного пересчета данных из проекции в проекцию, минуя приведение к системе географических координат.

При неизвестных функциональных зависимостях, определяющих соответствие географических и условных координат, можно воспользоваться методами трансформации по сети опорных точек с известными координатами. В этом случае возникает проблема оптимального выбора аппроксимирующей функции. Наличие координатной основы — обязательное требование трансформационных преобразований.

На практике использование модулей трансформации проекций может быть осложнено отсутствием параметров проекции карты-источника. При определении проекций исходной карты рекомендуют пользоваться атласом для отечественных или зарубежных карт.

Для топографических карт, в отличие от мелкомасштабных, нет такого разнообразия проекций, однако имеется разнообразие моделей Земли и географических систем координат.

Проекционные преобразования делят на два типа: линейные преобразования (1–2) и нелинейные (3–5).

1. Преобразование подобия характеризуется тем, что все фигуры на плоскости переводятся в геометрически подобные им фигуры. Все углы между пересекающимися прямыми сохраняют свои значения, а все линейные размеры увеличиваются или уменьшаются в одинаковое количество раз. Чтобы задать преобразование, достаточно выбрать в качестве опорных любые две точки плоскости и указать старые и новые координаты этих точек.

2. Аффинное преобразование всегда переводит прямые линии в прямые, при этом параллельные прямые остаются параллельными. Углы между пересекающимися прямыми могут изменяться или оставаться прежними. Рассмотренное выше преобразование подобия является частным случаем аффинного преобразования. Можно сказать также, что произвольное аффинное преобразова-

ние переводит заданный квадрат в любой заданный параллелограмм, в то время как преобразование подобия переводит квадрат в любой другой заданный квадрат. Чтобы задать аффинное преобразование, достаточно выбрать в качестве опорных три любые точки, не лежащие на одной прямой, и указать старые и новые координаты этих точек.

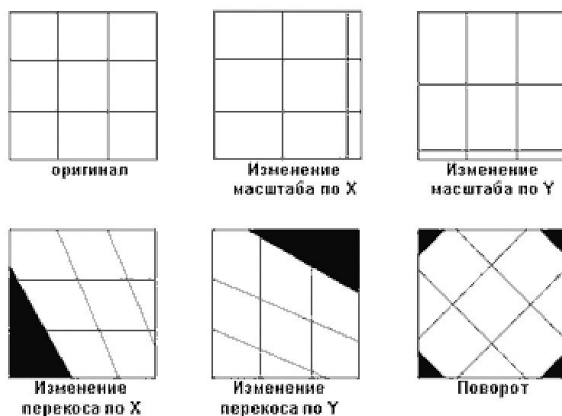


Рис. 18. Возможные трансформации при линейных преобразованиях

3. Полиномиальное преобразование. Интересной особенностью этого преобразования является то, что, несмотря на искривление линий, все углы пересечения линий сохраняют неизменное значение.

Матрица преобразования рассчитывается по контрольным точкам и состоит из коэффициентов, которые используются в формулах полиномов для преобразования координат. Коэффициенты матрицы преобразований рассчитываются таким образом, чтобы получить формулы полиномиального преобразования с как можно меньшей ошибкой перевода исходных координат в конечные.

4. Локальное преобразование. Для каждой из опорных точек можно построить такую нелинейную функцию, которая преобразует старые координаты этой точки в ее новые координаты, а для остальных точек изменяет координаты тем менее, чем дальше точка отстоит от опорной. На большом расстоянии от опорной точки изменение координат должно стремиться к нулю.

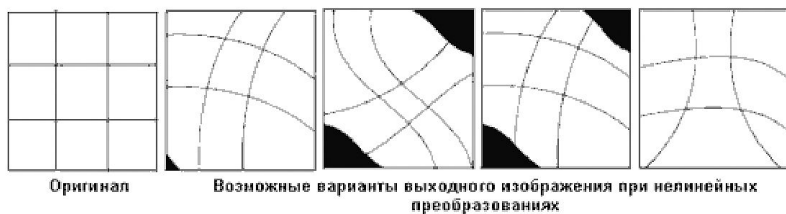


Рис. 19. Возможные трансформации при нелинейных преобразованиях

5. Комбинированные аффинно-нелинейные преобразования. Можно ожидать заметного улучшения качества трансформации, если сначала выполнить аффинное преобразование по методу наименьших квадратов, а затем применить один из нелинейных методов. При этом на первом (аффинном) этапе в большинстве случаев удастся значительно сократить расстояния, на которые должны быть перемещены опорные точки, и в результате этого второй (нелинейный) этап преобразования вносит значительно меньшие нелинейные искажения, чем при непосредственном применении без предварительного выполнения линейной части преобразования.

Специфика отечественного рынка геоинформационных технологий определяет проблемы проекционных преобразований в России. Одна из серьезных проблем связана с использованием отечественной картографической информации, имеющей значительные отличия от аналогичной иностранной. Как правило, иностранные программные средства не поддерживают напрямую распространенные в нашей стране проекции, а информацию о типе проекции и ее параметрах получить довольно сложно.

Другая проблема состоит в том, что широко распространенные в России разнообразные методы работы с пространственными данными не получили признания или не имеют аналогов за рубежом и нуждаются в анализе и классификации. За время относительно закрытого развития географических наук в СССР сложились нормативы и стандарты, которые часто не учитываются программными продуктами, разработанными за границей.

6. Моделирование геоизображений

Моделирование — одно из наиболее распространенных понятий. Под моделью понимают любой образ — мысленный или условный: изображение, описание, схему или чертеж какого-либо объекта, процесса или явления, используемый в качестве его заместителя. Результатом моделирования в ГИС являются различные геоизображения — пространственно-временные, масштабные, генерализованные модели земных (планетных) объектов и процессов, представленных в графической образной форме. Поэтому моделирование и визуализация в ГИС очень тесно взаимосвязаны.

Цифровое моделирование является основой организации, хранения, обновления и представления пространственно-временных данных в ГИС.

Информационно цифровые модели местности в системе ГИС должны содержать не только параметры объекта, но и свойства класса объектов, а также набор методов преобразования и построения объектов этого класса.

6.1. Принципы моделирования

Моделирование представляет собой создание образа какого-либо явления или процесса, при котором изучается не сам оригинал (явление или процесс), а некий его заместитель, вспомогательная искусственная система.

Наиболее универсальным принципом моделирования является **подобие**, что означает соответствие, сходство модели (М) и оригинала (А) в заданном соотношении i : $M = C_i A$, где C — критерий подобия, некая безразмерная константа, удостоверяющая правомерность распространения выводов, получаемых с помощью модели, на реальные объекты, причем чем больше соотношений удовлетворяет критериям подобия ($C_i, C_j \dots C_n$), тем выше достоверность выводов. Подобие — настолько существенное свойство модели, что иногда само моделирование трактуется как создание объекта, подобного оригиналу.

Другой важнейший принцип моделирования — **системность** — предполагает:

– моделирование компонентов, частей системы и подсистем;

- моделирование структуры и организации системы;
- моделирование взаимосвязей между компонентами и выделение специфических системообразующих связей;
- моделирование функционирования, т. е. процессов обмена веществом, энергией и информацией внутри и между системами;
- рассмотрение модели данной системы как элемента более крупной системы, выявление соподчиненности (иерархии) моделей;
- последовательное совершенствование моделей в процессе их использования.

Системность предполагает также аналитический и синтетический подход к моделированию, согласно которому расчленение объектов на составляющие и углубленное исследование отдельных компонентов сопровождается синтезом, дающим интегральную информацию об объекте.

Оба главных принципа моделирования — подобие и системность — диалектически связаны друг с другом: требования системности реализуются на основе подобия, а полнота подобия обеспечивается соблюдением принципов системности.

Важнейшие черты сходства и различия геоизображений связаны с самой системой графических образов: на традиционных и электронных картах, картографических анимациях они формируются с помощью знаков, а на снимках являются результатом фиксации собственного или отраженного излучения объектов.

Важно, что снимки — это всегда первичные модели объектов, на их основе могут быть получены синтезированные изображения, стереомодели, обычные и компьютерные карты и др. По картам также могут быть созданы многие производные модели: новые карты, блок-диаграммы, динамические изображения, математические модели, виртуальные модели и т. д. Так, намечается некая иерархия моделей, связанная с их первичностью и вторичностью (производностью): снимки несут только первичную фактическую информацию, тогда как карты содержат еще и результат ее интеллектуальной интерпретации и целенаправленной переработки.

Необходимыми принципами моделирования являются также абстрагирование и конкретизация, т. е., с одной стороны, выделение главного, существенного в объекте, отвлечение от второсте-

пенных свойств, структур и отношений, а с другой — постоянное соотнесение модели с конкретным объектом (прообразом), его специфическими свойствами и особенностями.

Пространственно-временное подобие геоизображений и их оригиналов (прообразов) имеет три взаимосвязанных аспекта:

- геометрическое подобие, проявляющееся в подобии формы, размеров и структуры объектов;

- временное подобие, т. е. адекватное отображение состояния, динамики и процессов в определенный момент или отрезок времени;

- подобие отношений, которое отражается в подобии связей, соподчиненности и причинности, во взаимном расположении объектов.

На разных геоизображениях эти аспекты проявляются неодинаково. Например, геометрическое подобие лучше всего передают трехмерные и стереоскопические модели, временное — анимации, а подобие отношений — комплексные и синтетические карты и атласы.

6.2. Виды моделирования

Особенность формирования цифровых моделей местности в геоинформационных технологиях заключается в создании их как структуры базы данных.

С точки зрения геоинформатики (учитывая большую значимость для нее пространственных аспектов) можно выделить три разновидности моделей. Модели первой разновидности — математические — строятся без учета пространственного координирования явлений, и результаты их реализации не подлежат картографированию. Вторая разновидность: результаты картографируются, но пространственный аспект не учитывается на этапе реализаций математических алгоритмов. В моделях третьей разновидности без учета пространственного положения явлений невозможно реализовать математические расчеты.

Стало обычным проведение статистического анализа пространственных данных — вычисление среднеквадратичного отклонения, дисперсии, корреляции, различных видов регрес-

сии. Широко распространилось имитационное моделирование. Например, для имитации развития системы населенных мест определялись правила развития системы и с помощью алгоритма статистических испытаний (метод Монте-Карло) проигрывались пути их реализации. Аналогично может происходить имитация пространственного распространения болезней, эпидемий и т. д. Широко используются оптимизационные модели. Например, транспортная задача линейного программирования. Применяются модели для оптимизации размещения производства, школ.

Рассмотрим работу с цифровыми моделями в соответствии с тремя системными уровнями: сбор и первичная обработка информации, хранение и обновление, представление (отображение).

При сборе информации для построения цифровых моделей используются автоматизированные средства регистрации и автоматизированных технологий. Источниками информации служат карты, таблицы, спецификации, геодезические координаты точек и объектов местности, координаты точек на аэрокосмических и наземных фотоснимках, данные, получаемые по телевизионным и/или радиолокационным снимкам, телеметрические данные, информация, считываемая с планов и карт, данные о допусках и погрешностях, дополнительная информация текстового характера.

После сбора первичных данных на уровне хранения и обновления информации осуществляются симплификация, унификация, коррекция информации, содержащей ошибки и дополнения к ней. Таким образом, формируется унифицированная совокупность данных, одинаковая для различных средств и технологий сбора, позволяющая в дальнейшем применять ее для получения чертежей и планов не одного, а нескольких смежных масштабов.

На уровне представления отображается цифровая информация в виде, удобном для пользования. Цифровая модель местности может генерироваться из разных моделей. Визуальное представление реализуется на современных устройствах вывода информации.

Технологически можно выделить следующие виды моделирования: семантическое, инвариантное, эвристическое, информационное. Они проявляются на разных системных уровнях обработки информации в разной степени.

- Семантическое (значение, понимание) моделирование взаимосвязано с задачами кодирования и лингвистического обеспечения, поэтому оно в большей степени используется на уровне сбора первичной информации. Это обусловлено также большим объемом и разнообразием входной информации, сложностью ее структуры, возможным наличием ошибок.

- Инвариантное (неизменность, независимость) моделирование основано на работе с полностью или частично унифицированными информационными элементами или структурами. Его эффективность доказана опытом применения прежде всего САПР и других автоматизированных систем. Этот вид моделирования предполагает использование групповых операций, чем обеспечивается повышение производительности труда по сравнению с индивидуальным моделированием. Такое моделирование требует специализированного программного и лингвистического обеспечения, учитывающего свойства моделируемых объектов и возможность их структуризации на некие графические примитивы.

- Эвристическое («нахожу, открываю») моделирование применяется при учете индивидуальных свойств объектов на виде-оизображениях и при решении специальных нетиповых задач. В основном оно реализуется при интерактивной обработке и базируется на общении пользователя с ЭВМ по сценарию, учитывающему, с одной стороны, технологические особенности программного обеспечения, с другой — особенности и опыт обработки данной категории объектов.

- Информационное моделирование связано с созданием и преобразованием различных форм информации, например графической или текстовой, в вид, задаваемый пользователем. Оно эффективно при предварительной разработке интегрированной информационной основы и применении баз данных.

Следует отметить, что возможно одновременное применение разных видов моделирования на различных этапах.

6.3. Основные свойства геоизображений

Выделяют следующие основные свойства геоизображений, одновременно они являются и характеристиками используемых моделей:

1. Содержательное соответствие. Подразумевает научно обоснованное отображение свойств и характеристик явлений, их типических особенностей, генезиса, иерархии и внутренней структуры. В наибольшей степени это относится к картографическим изображениям, в меньшей — к аэро- и космическим снимкам, хорошо передающим внешний облик объектов и явлений, но лишь в ограниченных пределах — их внутренние свойства. Например, почвенные карты способны передать генезис, механический состав почв, содержание гумуса, химических элементов, тогда как снимки хорошо отражают лишь морфологию и структуру почвенного покрова.

2. Абстрактность и конкретность. Абстрактность в наибольшей мере присуща знаковым геоизображениям. Она прежде всего является следствием генерализации, в ходе которой ведется отбор, обобщение, идеализация объектов, исключаются незначительные или малосущественные детали, акцентируется внимание на главных чертах и т. п. Высокой степенью абстракции обладают компьютерные математико-картографические модели, представляющие абстрактные объекты: мысленные конструкции, концептуальные схемы, расчетные показатели, искусственные поля и др. В сравнении с ними первичные аэро- и космические снимки — это копии вполне конкретных, реально существующих вещественных объектов и структур.

3. Избирательность и синтетичность. Геоизображения способны, с одной стороны, раздельно воспроизводить явления, факторы, свойства, избирательно вычлняя их из сложных совокупностей, разлагая целое на части, а с другой — давать целостное синтетическое отображение явлений, факторов и свойств, которые в реальных условиях проявляются порознь. Наиболее показательны в этом смысле аналитические и синтетические карты. Например, карта кривизны форм рельефа избирательно отражает только этот один морфометрический показатель, а геоморфоло-

гическая карта содержит синтетическое типологическое изображение рельефа, его морфологии, генезиса, возраста.

Аэро- и космические снимки имеют сравнительно невысокую избирательность, хотя ее можно несколько усилить, используя узкие диапазоны съемки, особые чувствительные датчики и материалы. Но зато снимки отличаются ценным свойством давать одновременную и целостную картину окружающей среды: геологического строения территории, рельефа, почвенно-растительного покрова, антропогенных и техногенных элементов, а кроме того, еще и состояние атмосферы, ее загрязнения, облачности и т. п.

Математико-картографическое и компьютерное моделирование позволяют конструировать геоизображения с практически неограниченной избирательностью и синтетичностью.

4. Статичность и динамичность. Геоизображения могут передавать либо отдельные временные срезы какого-то состояния или процесса, т. е. фиксировать «остановившиеся мгновения», либо показывать движение, развитие, ход процессов, их ритмику, траектории перемещения объектов, функционирование геосистем. Наилучшие возможности для наблюдения за динамическими процессами (для мониторинга) предоставляют повторные снимки, разновременные карты, компьютерные анимации и фильмы. Анализ меняющихся ситуаций (движений, замещений, циклов, эволюции и др.) требует сочетания статических и динамических геоизображений.

5. Метричность (картографическая правильность пространственных взаимоотношений) — одно из наиболее важных свойств геоизображений, которое задано их проекцией, масштабом, подробностью (разрешением), способом воспроизведения, характером искажений.

Наличие на карте масштаба, шкал, градаций позволяет производить многочисленные измерения количественных показателей и определять характеристики описываемых явлений. При этом количественные величины могут выступать в виде абсолютных или относительных показателей.

Большая часть статических геоизображений реализуется в пространстве трех измерений, а динамических — в четырехмерном пространстве. При этом масштабы по осям могут быть

неодинаковы, как, например, на блок-диаграмме. Некоторые абстрактные геоизображения (анаморфированные карты и др.) строят в многомерном признаковом пространстве.

По геоизображениям выполняют измерения трех видов:

- в абсолютных и относительных мерах;
- в балльных и ранговых шкалах;
- в форме качественных характеристик.

6. Однозначность — свойство, в наибольшей степени присущее картам и производным от них изображениям. Оно следует из математического закона их построения и проявляется во взаимно-однозначном соответствии точек на земной поверхности и на изображении. Иначе говоря, любой точке с координатами X и Y поставлено в соответствие лишь одно значение Z картографируемого показателя $Z = F(X, Y)$. Точно так же каждому элементу разрешения на снимке соответствует только одно значение C спектральной яркости: $C = P(X, Y)$.

Однозначность имеет и другую трактовку: всякому знаку на карте отвечает лишь единственный зафиксированный в легенде смысл. Подобной однозначностью не обладают аэро- и космические снимки, они не имеют легенды, и потому запечатленные на них объекты могут быть истолкованы по-разному.

7. Непрерывность — одно из главных условий самого существования всякого геоизображения как целостного пространственного образа. Множество элементов геоизображения представляет собой связную область и формирует единую и непрерывную систему. Но если непрерывность снимков достигается механически в процессе регистрации отраженного или собственного излучения, то на карте она часто оказывается результатом экстра- или интерполяции между дискретными точками наблюдений.

8. Наглядность означает возможность получения представления об объектах и процессах путем непосредственного визуального наблюдения модели без каких-либо промежуточных звеньев. Это прямое следствие образного характера геоизображений. Чем выше наглядность, тем надежнее поиск объектов, установление между ними связей и отношений, понимание структуры, принятие решений.

9. Обзорность — качество, позволяющее исследователю охватить единым взглядом сколь угодно обширные пространства или отрезки времени. Максимальной обзорностью обладают карты и другие картографические модели, у снимков она слабее из-за недостаточной избирательности.

Помимо указанных основных и общих свойств геоизображений каждый вид характеризуется специфическими модельными свойствами. Например, у карт это логичность легенды, опирающаяся на классификацию картографируемых объектов и обеспечивающая организацию и структурированность пространства изображения. У снимков самой специфической чертой является интегральность яркостных характеристик. Достоинства геоизображений как моделей проявляются еще и в их способности сочетаться между собой и с другими, не графическими моделями. Совместное применение моделей — одна из самых характерных черт современных научных и практических исследований.

Благодаря свойствам абстрактности, избирательности, синтетичности и обзорности геоизображения успешно взаимодействуют с идеальными теоретическими моделями, в значительной мере способствуя формированию научных концепций, гипотез, прогнозов, экстраполяции. Одновременно они служат для проверки, конкретизации, корректировки теоретических построений, их согласования с реальными объектами и ситуациями, выявления аномалий и т. п.

Проявлениями взаимодействия с другими моделями служат математико-картографическое моделирование, цифровая обработка и преобразования геоизображений, ГИС-моделирование. По геоизображениям создают цифровые базы данных, на их основе строят математические модели, затем производные геоизображения, а далее — цепочка новых преобразований и новых компьютерных моделей. Взаимодействие геоизображений с математическими моделями и компьютерной графикой составляет суть геоинформационного моделирования.

6.4. Визуализация в ГИС

В ГИС-технологиях предусматриваются разнообразные формы выдачи результатов: в виде карт, схем, таблиц, сводок, выборок.

Для оперативных целей карты выводятся на экран. Это привлекательно для отображения динамики явлений — могут быть картографические фильмы, когда одна карта, сменяя другую, помогает уяснить ход процесса. Интересные результаты получают при использовании мультипликации, например для имитации динамических ситуаций загрязнения окружающей среды.

Идея совместного рассмотрения разных геоизображений эволюционировала от признания сходства моделей к выделению «серии последовательных преобразований», «единых рядов» и, наконец, к осмыслению их как целостной системы.

Один из вариантов такой системы представлен на следующем рисунке в виде «квадрата геоизображений», в схематизированном виде иллюстрирующего последовательные изменения свойств в системе геоизображений. В углах квадрата помещены: карты (К), снимки (С), блоковые геоизображения (Б), анимации и фильмы (Ф). Стороны квадрата и его диагонали рассматриваются как оси, вдоль которых происходят более или менее плавные взаимопереходы свойств геоизображений.

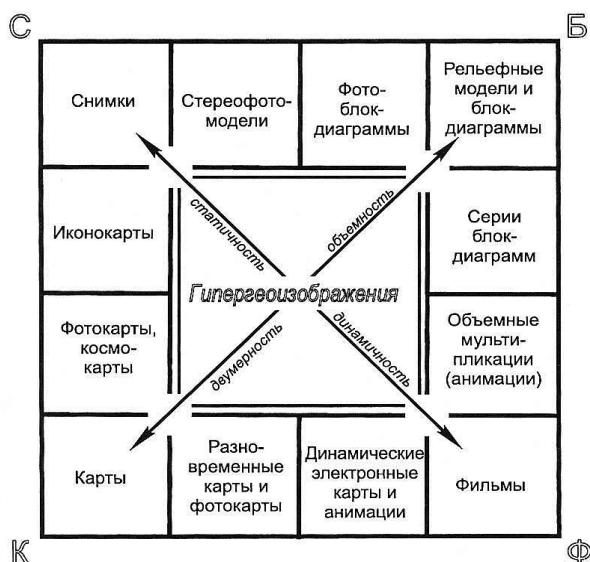


Схема 4. «Квадрат геоизображений»

Вдоль оси К—С наблюдаются постепенное уменьшение знаковости изображений и нарастание их снимковых свойств. В дополнение к геометрическим появляются и усиливаются оптические переменные. Так, топографические, тематические фотокарты и космофотокарты сочетают в себе полную картографическую нагрузку и фотографическое изображение. Иконокарты по свойствам ближе к снимкам, в этом же ряду находятся и так называемые «перспективные» карты, фотопланы, фотопортреты местности (они не показаны на схеме) и другие геоизображения, образующие как бы цепочку моделей, последовательно изменяющих свои свойства по оси «знаковость — копияность».

Ось С—Б характеризует переход от плоских снимков к блок-диаграммам и рельефным моделям через стереофотограмметрические модели и фотоблок-диаграммы. На этом траверсе располагаются и разного рода фоторельефы, голограммы и иные модели, в которых варьируют размерность и свойства копияности. Одна из диагоналей квадрата К—Б также символизирует нарастание свойств пластичности, рельефности картографических изображений в такой, например, последовательности: карты с гипсометрической окраской и отмывкой — физиографические карты — анаглифы — блок-диаграммы — рельефные модели и голограммы.

На оси Б—Ф располагаются геоизображения с различными соотношениями свойств объемности и динамичности. Это серии компьютерных блок-диаграмм, объемные анимации. Ось К—Ф характеризует нарастание динамических свойств картографических изображений: обычные карты — серии разновременных карт — динамические электронные карты — анимации — карты-фильмы. А по траверсу С—Ф происходит переход от статичных снимков к анимациям и фильмам.

В 1960-х гг. французский семиолог и картограф Ж. Бертен разработал теорию графических переменных. Он назвал шесть переменных, т. е. элементарных графических средств, используемых для построения знаковых систем:

- форма;
- размер;
- ориентировка;

- цвет;
- насыщенность;
- внутренняя структура знаков.

Язык современных геоизображений (электронных карт, снимков, трехмерных моделей, компьютерных анимаций, виртуальных моделей) подчинен общим законам языка карты, но в каждом случае имеет свои особенности. В настоящее время представления о графических переменных расширены, система геоизображений может включать различные визуальные и аудиоперемennые.



Схема 5. Свойства геоизображений

Использование фотоизображений привносит в геосемиотику такие графические (оптические) переменные, как яркость, текстура (зернистость, полосчатость и т. п.), контраст, цвет, тон и светотень. Для трехмерных геоизображений добавляются ракурс, перспектива, пластичность и распределение теней.

Одно из самых эффектных средств формирования геоизображений — это динамические графические переменные. Компьютерные анимации и виртуальные модели располагают в этом отношении разнообразным арсеналом. К числу динамических

графических переменных относятся все эффекты постепенного перехода от одного объекта (или состояния) к другому. Среди них — продолжительность (длительность), скорость изменений, включая изменение положения и атрибутов, порядок, периодичность, «фаза», «ритмический повтор» или «мигание» знаков. Наиболее употребительные видеопеременные:

- перемещение знаков (объектов) в пространстве геоизображения;

- движение стрелок (векторов), указывающих направление перемещения, качественные особенности и структуру потоков, миграций и т. п.;

- дефилирование цвета, т. е. постепенное изменение или пульсация окраски, вибрирование цвета (например, при показе ареалов опасных явлений);

- мигание знаков, привлекающее внимание к какому-либо важному объекту, например к источнику повышенной опасности;

- панорамирование изображения, изменение ракурса и перспективы.

В технологиях создания виртуальных геоизображений применяются, кроме того, такие специфические графические средства моделирования внешней среды, как освещенность или затененность всей местности или отдельных ее участков, состояние земных покровов (травяной, снежный покров и др.).

Наконец, к аудиопеременным относятся звучание речи (чтение текстовых пояснений, всплывающие подсказки) и музыкальное сопровождение (например, исполнение мелодии, создающей весеннее настроение, гимна страны и т. п.). Для усиления эффекта реалистичности применяют аудиоклипы с записями: грохота извергающегося вулкана, движения поездов, пения птиц.

Таким образом, происходит переход к мультимедийным средствам картографического моделирования.

7. Дистанционное зондирование Земли

Эффективную работу современных ГИС трудно представить без спутниковых методов исследования территорий нашей планеты.

Космические снимки получают с высоты более 100 км, т. е. при движении носителя аппаратуры вне основных слоев атмосферы, в космическом пространстве, с ракет, пилотируемых космических кораблей и орбитальных станций, автоматических искусственных спутников Земли и других космических аппаратов.

Съемка из космоса имеет две основные особенности:

- выполняется с орбит, параметры которых влияют на свойства снимков;

- производится с большого расстояния через толщу атмосферы.

По сравнению с самолетом космический аппарат имеет ограниченные возможности маневрирования.

Дистанционное зондирование (ДЗ) — научное направление, основанное на сборе информации о поверхности Земли без фактического контактирования с ней. Процесс получения данных о поверхности включает в себя зондирование и запись информации об отраженной или испускаемой объектами энергии с целью последующей обработки, анализа и практического использования.

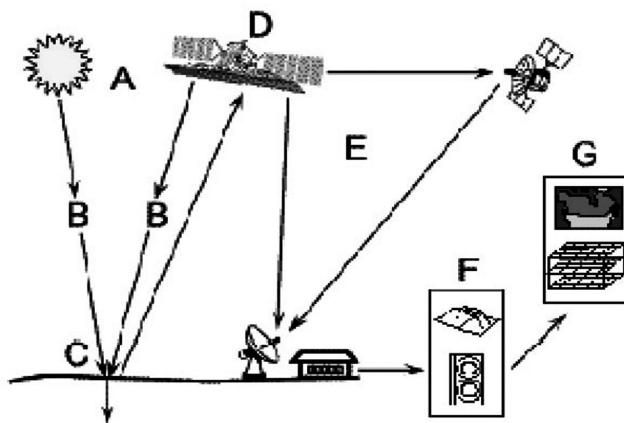


Рис. 20. Этапы процесса дистанционного зондирования

1. Наличие источника энергии или освещения (А) — это первое требование дистанционного зондирования, т. е. должен иметься источник энергии, который освещает либо подпитывает энергией электромагнитного поля объекты, представляющие интерес для исследования.

2. Излучение и атмосфера (В): излучение, распространяющееся от источника до объекта, часть пути проходит сквозь атмосферу Земли. Это взаимодействие необходимо учитывать, т. к. характеристики атмосферы оказывают влияние на параметры энергетических излучений.

3. Взаимодействие с объектом исследования (С): характер взаимодействия падающего на объект излучения сильно зависит от параметров — как объекта, так и излучения.

4. Регистрация энергии сенсором (D): излучение, испускаемая объектом исследования, попадает на удаленный высокочувствительный сенсор, и затем полученная информация записывается на носитель.

5. Передача, прием и обработка информации (Е): информация, собранная чувствительным сенсором, передается в цифровом виде на принимающую станцию, где данные трансформируются в изображение.

6. Интерпретация и анализ (F): обработанное изображение интерпретируется визуально либо с помощью ЭВМ, после чего из него извлекается информация относительно исследуемого объекта.

7. Применение полученной информации (G): процесс дистанционного зондирования достигает завершения, когда мы получаем нужную информацию относительно объекта наблюдения для лучшего понимания его характеристик и поведения, т. е. когда решена какая-то практическая задача.

Выделяют следующие основные области применения спутникового дистанционного зондирования (СДЗ):

- создание «спутниковых карт»;
- получение информации о состоянии окружающей среды и землепользовании;
- оценка урожая сельхозугодий;
- изучение флоры и фауны;

- оценка последствий стихийных бедствий (землетрясений, наводнений, пожаров, эпидемий, извержений вулканов);
- оценка ущерба при загрязнении суши и водоемов;
- океанология.

Дистанционные методы делятся на активные и пассивные. При использовании активных методов спутник посылает на Землю сигнал собственного источника энергии (лазера, радиолокационного передатчика), регистрирует его отражение. Пассивные методы подразумевают регистрацию отраженной от поверхности объектов солнечной энергии либо теплового излучения Земли.

7.1. Свойства космических снимков

Универсальной формой представления информации при космических исследованиях является снимок — двумерное изображение, полученное в результате дистанционной регистрации техническими средствами собственного или отраженного излучения и предназначенное для обнаружения, качественного или количественного изучения объектов, явлений и процессов путем дешифрования, измерения и картографирования.

Обзорность снимков. Космические снимки по сравнению с аэроснимками охватывает существенно большую площадь, т. е. обладают свойствами большой обзорности. При этом большие регионы охватываются одновременно при одних и тех же условиях. Появляется возможность изучения региональных и зональных закономерностей, глобальных явлений, вести исследования в планетарном масштабе.

Комплексное отображение компонентов геосферы. Совместное отображение разных компонентов геосферы — литосферы, гидросферы, биосферы и атмосферы — дает возможность изучить их связи, причем набор этих компонентов увеличивается и в высоту и в глубину за счет того, что благодаря большой высоте съемки на космических снимках отображается облачный покров планеты, а вследствие генерализации изображения на них находят отображение глубинные геологические структуры, которые не выявляются при аэроснимках. Снимки обеспечивают изучение атмосферных процессов, взаимодействия атмосферы и океана, проявлений гидродинамики — течений, фронтальных зон в океане.

Регулярная повторяемость снимков. Космические методы обеспечивают регулярную повторяемость съемки с интервалом в годы, месяцы, недели, дни и часы, что трудно реализовать при аэросъемке. Важное достоинство моделей снимков состоит в том, что они представляют собой пространственно-временные модели, позволяющие изучить временные изменения, используя концепцию пространственно-временных рядов.

Существуют обстоятельства, затрудняющие работу со снимками, в основном они связаны с геометрическими свойствами снимков, прежде всего с особенностью проекций космических изображений. В этом отношении космические снимки разнообразны в зависимости от технологии их получения. Для фотографических снимков характерна центральная проекция, для сканерных (инфракрасных тепловых, микроволновых снимков) — особая проекция, близкая к центральной в пределах каждой строки сканирования, которая осложняется не одномоментным получением снимка, поскольку во время сканирования движется носитель аппаратуры и объект съемки (с движением Земли). Геометрия радиолокационных снимков зависит от расстояния от съемочной аппаратуры до объекта съемки (фиксируемого во время прохождения радиосигнала). Во всех этих случаях также сказывается кривизна земной поверхности и рельеф поверхности.

7.2. Атмосферные помехи при получении космоснимков

Съемка из космоса ведется через толщу атмосферы, что вызывает осложнения разного характера: экранирующее влияние облачности, поглощение солнечных лучей определенных длин волн атмосферой, рассеивание лучей, влияние атмосферной дымки и др.

1. Облачность представляет наибольшие помехи для съемки в оптическом диапазоне. В каждый момент времени она закрывает более 50 % поверхности земного шара. Некоторые районы Земли остаются закрытыми большую часть года. Спутнику LandSat потенциально достаточно 18 суток, чтобы покрыть съемкой поверхность Земли, но потребовалось более 10 лет для реального получения снимков всей поверхности планеты.

2. Поглощение лучей атмосферой. Даже при безоблачном небе съемку приходится вести через всю толщу атмосферы, которая поглощает часть лучей. Поглощение зависит от длины волны излучения. Съемку выполняют в участках спектра, где электромагнитное излучение не поглощается, в так называемых «окнах прозрачности» атмосферы. Большое окно прозрачности (0,4–1,3 мкм) приходится на видимый и ближний инфракрасный диапазон; в тепловом инфракрасном диапазоне три более узких окна, и здесь возможно использование ограниченного набора длин волн. Наибольшая прозрачность наблюдается при радиодиапазоне (от сотен КГц до десятков МГц).

3. Рассеивание лучей, атмосферная дымка. Влияние атмосферы состоит также в рассеивании лучей атмосферой, неодинаковом в различных спектральных диапазонах. Атмосферная дымка наиболее сильно проявляется в синей, голубой зонах спектра. Она снижает контрасты изображения на космических снимках, искажает цвет объектов при съемке на цветную пленку. Ее необходимо учитывать при фотометрических спектральных определениях по многозональным снимкам.

7.3. Спутники ДЗЗ

Съемку производят с определенной орбиты. Параметры орбиты и скорость космического корабля обычно известны, поэтому может быть найдено его пространственное положение в заданный момент фотографирования.

Таблица 2

Основные орбиты искусственных спутников Земли

<i>Орбита</i>	<i>Высота, км</i>	<i>Орбитальная скорость, км/сек</i>	<i>Период обращения</i>
Опорная орбита	100	7,8	1 ч 26 мин
Пилотируемые аппараты (МКС)	350	7,7	1 ч 31 мин
Спутники ДЗЗ	700	7,5	1 ч 39 мин
GPS, ГЛОНАСС	20 000	3,9	12 ч
Геостационарная орбита	36 000	3,1	24 ч

На высотах до 400 км трение атмосферы ощутимо, спутники постоянно испытывают легкое торможение и его хватает, чтобы за недели и месяцы снизить орбиту спутника до касания плотных слоев атмосферы (90 км) и срыва в неуправляемый спуск с резко возрастающим трением. Для низких орбит (МКС) время от времени включаются двигатели для подъема орбиты. Выше 450 км спутники могут летать годами без коррекции орбиты.

У орбиты имеются следующие параметры, влияющие на снимки земной поверхности:

1. Форма орбит, обусловленная законами небесной механики, в зависимости от скорости движения корабля, может быть круговой, эллиптической, параболической и гиперболической. Незамкнутые параболические и гиперболические орбиты используются для вывода космических аппаратов к другим планетам, а наблюдение за Землей производится обычно с круговых и эллиптических орбит (замкнутых). Для съемки наиболее предпочтительны круговые орбиты, у которых высоты в перигее и апогее близки. Круговая орбита обеспечивает одинаковую высоту съемки земной поверхности.

2. Наклонение, определяемое углом i между плоскостью орбиты и плоскостью экватора. Разделяют орбиты экваториальные ($i=0$), полярные ($i=90$) и наклонные.

3. Высота. Можно выделить три группы наиболее часто используемых орбит: с высотами 100–500, 500–2 000 и 36 000–40 000 км. Первая — это орбиты пилотируемых кораблей и орбитальных станций, для них наиболее характерны высоты 200–400 км. Вторая включает орбиты ресурсных и метеорологических спутников; для ресурсных спутников характерны высоты 600, 900 км, для метеорологических — 900–1400 км. Третья группа — это орбиты геостационарных спутников; угловая скорость движения спутника в них равна скорости вращения Земли, и поэтому спутник движется синхронно с подспутниковой точкой земной поверхности.

4. Период обращения. От времени оборота спутника вокруг Земли зависит число витков в сутки и соответственно межвитковое расстояние, определяющее возможность перекрытия сним-

ков соседних трасс. Если трассы ежесуточно повторяются (такие орбиты называются суточными периодическими, что бывает при периоде обращения, кратном 24 ч), то и разрывы в съемке будут сохраняться. Поэтому для съемки рассчитывают орбиты таким образом, чтобы небольшое суточное смещение трасс обеспечивало съемку в последовательные сутки без разрывов и с некоторым перекрытием. Это возможно на так называемых квазипериодических орбитах с определенным суточным сдвигом трассы спутника на ширину зоны охвата съемкой с учетом необходимого перекрытия полос обзора.

5. Положение орбиты по отношению к Солнцу. Для космических съемок большое значение имеет способность орбиты сохранять постоянную ориентацию на Солнце. Достоинство таких солнечно-синхронных орбит, у которых угол между плоскостью орбиты и направлением на Солнце остается постоянным, состоит в том, что они обеспечивают одинаковую освещенность земной поверхности вдоль трассы полета космического аппарата.



Рис. 21. Смещение полосы сканирования вследствие вращения Земли

Таким образом, для глобальной съемки Земли целесообразно использовать орбиты, одновременно являющиеся круговыми, полярными, квазипериодическими и солнечно-синхронными.

В случае наличия на борту спутника приборов, имеющих различные по ширине полосы обзора (с различным разрешением на местности), рассчитываются такие орбиты, которые могли бы обеспечить полное покрытие поверхности Земли съемкой с помощью каждого вида аппаратуры.

7.4. Электромагнитные диапазоны сканирования

Таблица 3

Электромагнитные диапазоны, используемые для дистанционного зондирования Земли

<i>Название</i>	<i>Диапазон</i>
Видимый диапазон	0,4–0,74 мкм
Ближний инфракрасный диапазон	0,74–2,5 мкм
Средний инфракрасный диапазон	2,5–50 мкм
Тепловой диапазон	50–2 000 мкм
Микроволновый диапазон	1–100 мм
Радиоволны	0,1–100 см

7.4.1. Видимый и ближний инфракрасный диапазон

Возможность съемки в световом диапазоне обуславливается прозрачностью атмосферы для волн от 0,4 до 1,3 мкм. Видимый и ближний инфракрасный световой диапазон включает 0,4–0,75 и 0,75–2,5 мкм световой диапазон. Лучи почти полностью пропускаются атмосферой, и сюда приходится почти вся энергия солнечного излучения. Однако серьезное препятствие — это облачность. Кроме того, рассеивание приводит к искажению, особенно в коротковолновой голубой части спектра, и к снижению контрастности. Качество снимков зависит от способа их получения и передачи.

Солнечные лучи, падая на земную поверхность, по-разному отражаются от нее в соответствии со спектральной отражательной способностью объекта. Отраженная солнечная радиация воспринимается глазом, чувствительным именно к излучению видимого диапазона; благодаря избирательному отражению различают цвет наблюдаемых объектов. Использование фотоэлектрических приемников позволяет расширить съемку либо сканирование на ближний инфракрасный диапазон.

Фотографические снимки. Ранее использовалась традиционная фотографирующая система (объектив + фотопленка). Экспонирование происходило в космосе, фотографическая обработка — на Земле. Пленка на Землю попадала либо в сброшенных контейнерах, либо при посадке спутника. Сейчас используется цифровая фотография и изображения передают на Землю с помощью радиосвязи.

Телевизионные и сканерные снимки. Телевизионная и сканерная съемка позволяет систематически получать изображения и передавать их на Землю на приемные станции. Используются кадровые и сканирующие системы. В первом случае это телевизионная камера, в которой оптическое изображение, построенное объективом на экране, переводится в форму электросигналов и по радиоканалам передается на землю. Во втором случае качающееся зеркало сканера на борту улавливает отраженный от Земли световой поток, поступающий на сканирующую матрицу.

Сканер с цилиндрической разверткой в принципе представляет собой маятник, закрепленный в одной точке и колеблющийся поперек направления движения. На конце маятника в его фокальной плоскости установлен объектив с точечным фотоприемным устройством. При движении аппарата над Землей с выхода фотоприемного устройства снимается сигнал, пропорциональный освещенности в видимом или ближнем ИК-диапазоне того участка земной поверхности, на который в данный момент направлена ось объектива. На практике сканер неподвижен, а качается (вращается) зеркало, отражение от которого через объектив попадает в фотоприемное устройство.

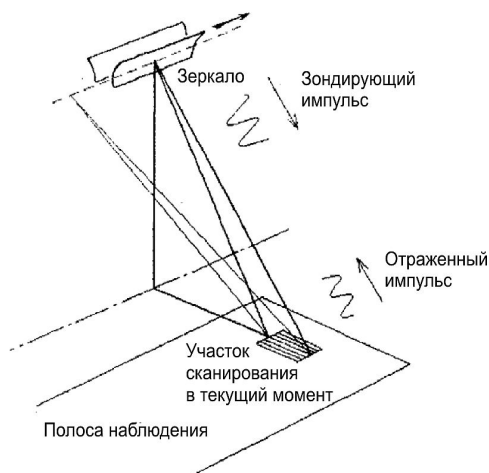


Рис. 22. Сканирование земной поверхности со спутника ДЗЗ

Линейный сканер содержит расположенные в линию тысячи неподвижных фоточувствительных элементов. На нее через объектив фокусируется изображение земной поверхности, все элементы находятся в фокальной плоскости. Линейка, ориентированная поперек направления движения спутника, перемещается вместе с ним, последовательно «считывая» сигнал, пропорциональный освещенности различных участков поверхности и облаков. Линейные сканеры на приборах с зарядовой связью работают в видимом и ближнем ИК-диапазонах. Преобразованные сигналы сканера по радиоканалам передаются на Землю. На приемных станциях записываются в виде изображений.

Наиболее известный проект дистанционного зондирования, и в частности получения спутниковых фотоснимков Земли, — программа Landsat. Первый из спутников в рамках программы был запущен в 1972 г. Спутники Landsat поставляют снимки в различных спектральных диапазонах в зависимости от установленной аппаратуры (мультиспектральные и панхроматические видеокамеры, сканирующие мультиспектральные сканеры и т. п.). Сейчас наиболее технически продвинутой является ком-

мерческая система ДЗЗ двойного назначения компаний GeoEye и DigitalGlobe, которым принадлежат несколько спутников субметрового разрешения (0,41–0,8 м). В настоящее время крупнейшими по численности, типам космических аппаратов и решаемым задачам являются системы ДЗЗ США, стран Европы, Китая, Индии, России.

7.4.2. Тепловой, микро- и радиодиапазоны

Снимки в тепловом инфракрасном диапазоне

Тепловой инфракрасный диапазон от 3 до 1 000 мкм, но большая часть не пропускается атмосферой, существуют три окна прозрачности: 3–5, 8–14, 30–80 мкм. Первые два используются для ДЗЗ. Интенсивность излучения Солнца в этом диапазоне незначительна, но зато на волны длиной 10–12 мкм приходится максимум собственного теплового излучения Земли. Поскольку у различных объектов земной поверхности (суши, воды, поразному увлажненных почв и т. п.) оно неодинаково, есть возможность судить о характере излучающих объектов.

Тепловые инфракрасные радиометры дают сигналы разной силы для объектов с различной температурой. При построении по этим сигналам изображения — теплового инфракрасного снимка — получают температурные различия объектов съемки. Обычно на таких снимках холодные объекты выглядят светлыми, теплые — темными. Температурное разрешение составляет десятые доли градуса. Съемки можно вести ночью, в условиях полярной ночи. Облачность мешает съемке, т. к. регистрируется температура не земной поверхности, а облаков.

Снимки в микроволновом и радиодиапазоне

С помощью микроволновых радиометров фиксируется микроволновое излучение различных объектов — радиояркие температуры. Таким образом можно различать разные по влажности почвы, воды с разной степенью солености, объекты с разной кристаллической структурой, промерзания грунтов. На таких снимках поразному выглядят морские льды разного возраста — многолетние и однолетние, которые могут не различаться в обычных оптических снимках.

Для дистанционного исследования Земли используются радиодиапазон с длинами от 1 см до нескольких метров. Атмосфера Земли прозрачна для таких волн. При съемке фиксируется либо собственное излучение Земли (пассивная радиометрия), либо отраженное искусственное излучение (активная радиолокация), в результате получают радиометрические и радиолокационные снимки. При активной радиолокации на носители устанавливается активный источник радиоизлучения с антенной, действующей по принципу просмотра местности поперек линии маршрута. По-сылаемый на Землю радиосигнал по-разному отражается поверхностью и улавливается регистрирующей аппаратурой.

При размерах неровностей поверхности меньше полудлины волны поверхность объекта для радиоволн как бы гладкая («зеркалит») и изображается на радиолокационных снимках наиболее темным тоном (песчаные пляжи, солончаки, гладкая водная поверхность). При размере неровностей больше полудлины волны происходит рассеивание и диффузное отражение энергии, зависящее от величины неровностей, их формы, ориентировки по отношению к радиолучу. Они изображаются серым тоном разной плотности. Растительность увеличивает поглощение радиоволн и изображается светлым тоном. Такое радиолокационное зондирование ведут, используя волны сантиметрового диапазона. Генерируя волны разной длины, можно получать различную информацию об объектах.

Радиолокаторы подповерхностного зондирования работают в диапазоне длин волн от 1 до 30 м. Они обнаруживают подповерхностные неоднородности грунтов. Например, в диапазоне 0,5–1 м фиксируются пресные грунтовые воды в песках на глубине до 20 м. Могут быть обнаружены залежи железных руд и другие полезные ископаемые.

Радиолокационные снимки могут применяться в океанологии для изучения волнения и ветров, в геологии, гидрогеологии, в сельском хозяйстве, для изучения городов.

Пассивная и активная съемка в радиодиапазоне всепогодны из-за абсолютной прозрачности атмосферы для волн этого диапазона. Она может производиться ночью, при облачности, дожде, тумане.

На снимки в видимом и инфракрасном диапазоне приходится почти 80 % всей информации, поступающей из космоса. Снимки теплового инфракрасного и радиодиапазона не так давно стали получать с хорошим качеством, и постепенно их значение возрастает.

7.5. Наземная аппаратура для ДЗЗ

У наземного компонента дистанционного зондирования есть две основных задачи.

1. Управление и отслеживание движения:

- в центрах управления размещена аппаратура контроля функционирования спутника, управления, программирования;
- в нескольких точках земного шара размещается аппаратура телеметрии (уточнения координат и траектории движения спутника).

2. Получение информации:

- в нескольких точках земного шара размещаются центры приема спутниковой информации. Центры приема могут не принадлежать владельцам спутника, а принимать данные по лицензии или на бесплатной основе;
- аппаратура приема базируется на применении параболических антенн, перемещающих осевое направление антенны точно по направлению к движущемуся спутнику;
- поскольку высота орбиты спутников ДЗЗ относительно небольшая, то передача возможна на ограниченном участке траектории над центром приема (в зоне радиовидимости) и, как правило, с очень высокой плотностью потока.

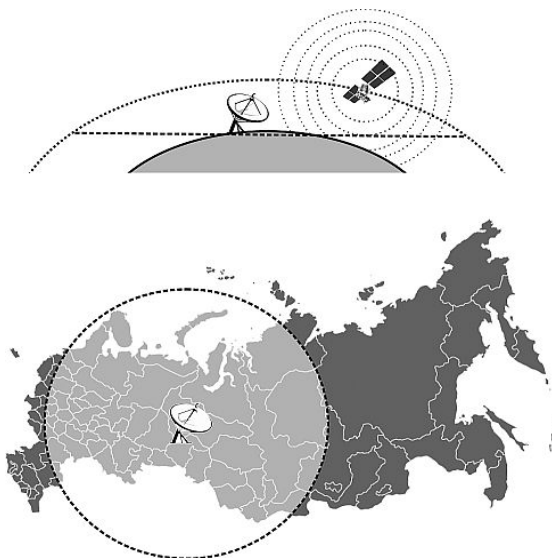


Рис. 23. Зона приема спутниковой информации

7.6. Интерпретация данных дистанционного зондирования

В практической работе представляет интерес разделение снимков по таким параметрам, как масштаб, обзорность, разрешение на местности, детальность изображения, которые влияют на дешифрируемость снимка и возможности его использования для тематического картографирования.

7.6.1. Искажения и основные операции для их исправления

Основные проблемы съемки с орбиты

Большой охват территории одним снимком приводит к искажениям, связанным со сферичностью земной поверхности. Для оценки плановых смещений точек фотоснимка, вызванных кривизной Земли, необходимо вносить коррекцию при обработке. Кроме того, возможны искажения за рельефа земной поверхности.

Съемка из космоса ведется через толщу атмосферы, что вызывает осложнения разного характера: экранирующее влияние облачности, поглощение солнечных лучей определенных длин волн атмосферой, рассеивание лучей, влияние атмосферной дымки и др.

Одно из основных направлений в интерпретации материалов ДДЗ состоит в приведении их к форме, удобной для решения различных научных, практических и хозяйственных задач. Для этого существует некоторая последовательность операций:

- распознавание (дешифрирование);
- классификация по признакам (декомпозиция);
- предварительная коррекция;
- унификация входных данных;
- цифровое моделирование;
- коррекция моделей;
- представление информации;
- геокодирование;
- геокодирование с коррекцией местности;
- слияние изображений;
- построение карты по изображениям;
- совмещение разнодиапазонных изображений.

Решения задач обработки ДДЗ лежат в области теории распознавания образов, цифровой обработки изображений, фотограмметрии. Кроме того, существует ряд специфичных вопросов, связанных с обработкой ДДЗ:

- преобразование форматов;
- орторектификация.

При орторектификации центральная (коническая) проекция снимка преобразуется в ортогональную (прямоугольную) и приводится к единому масштабу, таким образом устраняются ошибки, обусловленные наклоном камеры и рельефом.

7.6.2. Распознавание образов

Использование карт, дешифрирование снимков, анализ видеоизображений — это распознавание и анализ графических образов, их измерение, преобразование, сопоставление и т. п. Распознавание графических образов, т. е. создание системы решающих

правил для их идентификации, классификации и интерпретации, — это одна из основных задач геоинформатики.

Распознавание — это отнесение конкретного объекта (реализации), представленного значениями его свойств (признаков), к одному из фиксированного перечня образов (классов) по определенному решающему правилу в соответствии с поставленной целью.

Идентификация объектов основана на нахождении визуальных различий между объектами, таких как различие в цветовом тоне, форме, размере, текстуре, тени, структуре, ассоциации.

— Цветовой тон. При помощи тона на изображении становятся различимы объекты с различной формой, размером, текстурой.

— Форма относится к общему очертанию, структуре индивидуальных объектов.

— Размер объектов в изображении — функция масштаба. Важно оценить размер объекта относительно других объектов в сцене, так же как и абсолютный размер.

— Структура относится к пространственному расположению различных объектов. Примером структуры могут быть сады с равномерно распределенными деревьями либо городские кварталы с регулярными промежутками между зданиями.

— Текстура относится к расположению и частоте тонального изменения в отдельных областях изображения. Гладкие текстуры — это наиболее часто встречающийся результат отображения однородных поверхностей, таких как поля или асфальт.

— Тень способна снабжать информацией относительно профиля и высоты объектов. Однако тени могут также усложнять интерпретацию объектов.

— Ассоциация принимает во внимание зависимость между другими распознаваемыми объектами или их особенностями вблизи наблюдаемого объекта.

Основными функциями для программ, предназначенных для распознавания данных дистанционного зондирования, являются следующие:

— импорт и экспорт различных форматов растровых изображений;

— географическая привязка;

- радиометрическая коррекция (учет влияния сканера, удаление полос, сбойных строк и атмосферной дымки на получаемое изображение и т. п.);
- повышение качества изображения;
- классификация изображений;
- анализ рельефа (генерация уклонов, направлений, затенений рельефа и перспективных видов по топографическим данным).

8. Глобальные системы позиционирования

Global Positioning System (глобальная система позиционирования) состоит из сети спутников, которые в непрерывном режиме посылают электромагнитные сигналы на Землю. Используя специальный приемник такого излучения, измеряющий расстояние до спутников, можно с установленной точностью (от нескольких метров до нескольких миллиметров) определить местоположение объекта (координаты).

В настоящее время используются GPS-приемники, размер которых сравним с размером сотового телефона. GPS-модули, состоящие из чипа и антенны, ценой в несколько долларов, могут быть помещены в сотовые телефоны, планшеты и другие электронные устройства и использовать их компоненты для работы. При этом GPS-приемник не только сообщает пользователю координаты нахождения (широта и долгота), но и отображает местоположение на электронной карте наряду с городами, транспортными магистралями и многими другими объектами.

Кроме определения трех текущих координат (долгота, широта и высота над уровнем моря), GPS обеспечивает:

- определение трех составляющих скорости объекта;
- определение точного времени;
- прием и обработку вспомогательной информации.

GPS состоит из трех частей:

- космического сегмента,
- сегмента управления и контроля,
- сегмента пользователей.

GPS состоит из более чем 24 спутников, вращающихся по 6 круговым орбитам на высоте около 20 тыс. км над уровнем моря с наклоном 55° , и сети специальных наземных станций слежения, обеспечивающих регулярное определение параметров движения спутников и коррекцию бортовой информации об их орбитах.

Каждый современный спутник на своем борту несет высокотехнологическое оборудование, основу которого составляют:

- атомные часы,
- солнечные батареи,
- антенна коротковолнового диапазона для управления спутником,
- антенна длинноволнового диапазона для связи с пользователем.

В задачи сегмента управления и контроля входит слежение за спутниками для определения параметров их орбит (эфемерид) и поправок часов относительно системного времени GPS, прогноз орбит спутников и их местоположения на орбитах, временная синхронизация часов, загрузка навигационного сообщения в бортовые компьютеры спутников

Пользовательский сегмент — это совокупность спутниковых приемников, находящихся в работе.

Типичная точность современных GPS-приемников в горизонтальной плоскости составляет примерно 5–10 м при хорошей видимости спутников.

Путем применения глобальных либо региональных корректирующих систем можно достигнуть точности порядка 1 м.

Существует класс систем, которые основаны на относительной навигации. Если есть точка, координаты которой геодезическими методами известны с очень высокой точностью, мы можем привязать эту точку к навигационному приемнику. Соответственно, относительно этой точки можно рассчитать текущую погрешность между идеальными координатами, которые измерены при помощи геодезических методов, и теми координатами, которые он вычисляет на основании спутниковых сигналов. И эту разницу применить к измерениям другого GPS-приемника. Так можно на расстоянии от первоначальной точки, измеряемом десятками километров, иметь буквально миллиметровую точность измерения координат.

Общим недостатком использования любой радионавигационной системы является то, что при определенных условиях сигнал может не доходить до приемника или приходиться со значительными искажениями (внутри железобетонного здания, в тоннеле, под плотной листвой деревьев). Нормальному приему сигналов GPS могут повредить помехи от наземных радиисточников, от магнитных бурь.

8.1. Основные идеи

1. Местоопределение по расстоянию до спутников. Зная координаты навигационных спутников и умея измерять расстояние до них, можно определить координаты наблюдателя. Например, если известно расстояние до навигационного спутника в 11 тыс. км, то мы находимся где-то на воображаемой сфере радиусом в 11 тыс. км с центром, совпадающим с этим спутником. Если одновременно с этим расстояние до другого спутника составляет 12 тыс. км, то наше местоположение будет где-то на окружности, являющейся пересечением двух таких сфер. И, наконец, знание дальности до третьего спутника сократит количество возможных точек местонахождения до двух, одна из которых будет находиться где-то далеко в космосе (ее можно отбросить), а другая — на поверхности Земли.

2. Измерение расстояния до спутника. Навигационный приемник измеряет время, за которое радиосигнал доходит от спутника, а затем по этому времени вычисляет расстояние (скорость, умноженная на время движения). Главной трудностью при измерении времени прохождения радиосигнала является точное выделение момента его передачи со спутника.

3. Совершенная временная привязка. Чтобы избежать временных ошибок, на спутнике устанавливают дорогие атомные часы, точность которых составляет наносекунды. Иметь такие же часы в приемнике слишком дорого. Однако можно обойтись и простыми часами, если измерять дальность не до трех, а до четырех спутников. В этом случае четыре неточных измерения (с «расстроеными» часами) позволяют исключить относительное смещение шкалы времени приемника следующим обра-

зом: предположим, часы приемника отстают от единого времени навигационной системы, например, на полсекунды. Если измерить время прохождения сигнала от четырех спутников и получить неистинные или псевдодальности до них, то окажется, что воображаемые сферы с радиусами, соответствующими этим псевдодальностям, не пересекаются в одной точке. Тогда для уточнения дальностей компьютер приемника прибавляет ко всем измерениям (или вычитает) некоторый один и тот же интервал времени до тех пор, пока не найдет решение, при котором все четыре воображаемые сферы пересекаются в одной точке.

4. Определение положения спутника в космическом пространстве. Чтобы все изложенное успешно выполнялось, необходимо точно знать местоположение каждого навигационного спутника. Для этого, во-первых, спутники запускают на высокие орбиты (около 20 тыс. км), где движение стабильно и прогнозируемо. А во-вторых, незначительные изменения в орбитах постоянно отслеживаются. При этом сведения о местоположении спутника передаются на приемник вместе с кодовой последовательностью.

5. Коррекция задержек сигнала. Самые существенные погрешности в прохождении возникают при задержке радиосигнала в ионосфере (слое заряженных частиц на высоте 120–200 км) и тропосфере (8–18 км) Земли. Величина задержек зависит от солнечной активности и погодных условий.

Чтобы сделать ошибку минимальной,

- можно предсказать, каково типичное изменение скорости распространения радиоволн в обычный день, при средних ионосферных условиях, а затем ввести поправку в измерения;

- использовать две частоты несущих колебаний. Чем ниже несущая частота сигнала, тем больше он замедляется. Если сравнить в приемнике времена распространения двух разночастотных компонент сигнала GPS, то для каждой из них можно вычислить временную задержку в ионосфере.

Геометрически работу спутниковой навигационной системы можно продемонстрировать следующим образом: пользователь находится в точке пересечения нескольких сфер, центрами которых являются видимые спутники. Радиусы сфер равны дальности

до каждого из спутников. Для определения широты и долготы приемнику необходимо принимать сигналы как минимум от трех спутников; прием сигнала от четвертого спутника позволяет определить и высоту объекта над поверхностью.

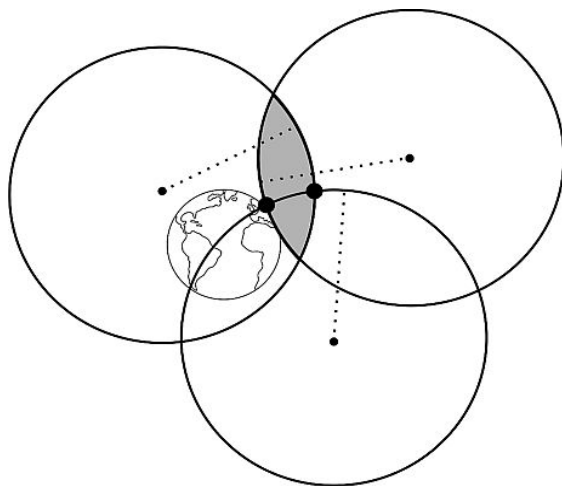


Рис. 24. Определение местоположения по расстоянию до спутников GPS

8.2. Применение GPS

Технология GPS используется не только в геодезии и картографии, но и в землепользовании, экологии, наземной навигации, архитектуре и строительстве, геологии, региональном управлении, железнодорожном транспорте, образовании, метеорологии, демографии, здравоохранении и т. д.

Следует отметить эффективность применения данной системы для решения задач землеустройства. Практическое использование спутниковой навигационной системы выявляет ряд ее преимуществ при выполнении землеустроительных работ:

- точность определения координат пунктов с помощью GPS выше, чем в случае применения традиционной съемки;
- временные затраты на определение координат точек меньше, чем при использовании традиционной наземной съемки;

– возможно проведение работ при отсутствии прямой видимости между измеряемыми пунктами;

– возможность экспорта результатов обработки в удобном для последующего использования ГИС-формате.

В настоящее время системы глобального позиционирования (GPS и ГЛОНАСС) активно используются транспортными службами и компаниями.

В 2008 г. мировой объем выпуска GPS-устройств превысил \$ 30 млрд. Несмотря на некоторое падение в 2009 г., основываясь на тенденциях рынка и оценке технологического роста, аналитики прогнозируют устойчивый рост в отрасли в течение ближайших 15–20 лет. Благодаря встраиванию GPS-приемников в различные устройства (мобильные телефоны, планшеты) размер потенциальной пользовательской базы сервиса навигации составляет сотни миллионов человек.

8.3. Существующие системы глобального позиционирования

На сегодня существуют две глобальные (покрывающие всю поверхность Земли) спутниковые радионавигационные системы: **GPS** и **ГЛОНАСС** (GLONASS, ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система — разработка советских военных в ответ на создание GPS).

В целом спутниковые навигационные системы GPS и ГЛОНАСС имеют примерно одинаковые параметры и возможности их использования для высокоточных определений, благодаря этому их сигналы могут дополнять друг друга в «гибридных» системах и увеличивать точность и надежность определения координат.

Галилео (Galileo) — совместный проект спутниковой системы навигации Европейского союза и Европейского космического агентства. Ныне существующие GPS-приемники не смогут принимать и обрабатывать сигналы со спутников Галилео, хотя достигнута договоренность о совместимости и взаимодополнении с системой GPS третьего поколения.

Ожидается, что «Галилео» войдет в строй в 2014–2016 гг.

Бейдоу. Собственные спутниковые навигационные системы есть у Китая и Индии, которые являются региональными из-за

малой группировки и соответствующих (геостационарных) орбит спутников. Однако китайская спутниковая система Бейдоу (Большая Медведица) развивается очень активно. В настоящее время группировка составляет примерно 15 аппаратов, способных обеспечивать определение координат в азиатском регионе, к 2020 г. планируется вывод около 30 спутников и построение глобальной системы позиционирования для всего земного шара.

Обычная точность определения координат потребителя, которую обеспечивают системы GPS и GLONASS, составляет 5–10 м. Однако для многих приложений, таких как навигация автомобилей, судов на узких фарватерах, геодезии, навигации летательных аппаратов, подобная точность недостаточна. Для увеличения точности местоопределения был предложен метод дифференциальной навигации, который обеспечивает увеличение точности. Базовая станция устанавливается в точке с известными географическими координатами. Сравнивая известные координаты (полученные в результате прецизионной геодезической съемки) с измеренными координатами, базовый навигационный приемник формирует поправки, которые передаются потребителям по каналам связи.

В США есть подобная собственная система, которая позволяет корректировать информацию на Североамериканском континенте и в Атлантике, аналогичные системы есть в Европе и Японии. Существует глобальная система OmniSTAR, которая использует распределенную сеть станций во всем мире для получения информации со спутников GPS. Собранные данные транслируются на 7 геостационарных спутников. Каждый из них передает корректирующие поправки пользователям в пределах своей зоны обслуживания. Пользователи получают поправки по подписке.

Результаты, полученные с помощью дифференциального метода, в значительной степени зависят от расстояния между потребителем и базовой станцией. Применение этого метода наиболее эффективно, когда преобладающими являются систематические ошибки, обусловленные внешними (по отношению к приемнику) причинами. Эти ошибки в значительной мере компенсируются при близком расположении базовой станции и приемника потребителя. Поэтому зона обслуживания базовой станции составляет не более 500 км.

В России сейчас создается собственная корректирующая система СДКМ (система дифференциальной коррекции и мониторинга) — широкозонная система дифференциальной коррекции для российской навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС. Корректирующие сигналы будут ретранслироваться на навигационные устройства геостационарными спутникам.

9. Программное обеспечение ГИС

Можно выделить несколько классов программного обеспечения, различающихся по своим функциональным возможностям и технологическим этапам обработки геоинформации. Следует различать системы, распространяемые коммерчески и рамках открытых лицензий (бесплатные). Отдельно необходимо выделить заказные специализированные разработки, выполненные под индивидуальные проекты и не обладающие необходимой универсальностью.

Первый наиболее функционально полный класс программного обеспечения — это **инструментальные ГИС**. Они могут быть предназначены для решения самых разнообразных задач: организации ввода информации, ее хранения (в том числе и распределенного), отработки сложных информационных запросов, решения пространственных аналитических задач, построения производных карт и схем (оверлейные операции). Как правило, инструментальные ГИС поддерживают работу как с растровыми, так и с векторными изображениями.

Второй класс — так называемые **ГИС-вьюеры**, т. е. программные продукты, обеспечивающие пользование созданными с помощью инструментальных ГИС базами данных. Как правило, ГИС-вьюеры предоставляют пользователю крайне ограниченные возможности пополнения баз данных. Во все ГИС-вьюеры включается инструментарий запросов к базам данных. Вьюеры обычно входят составной частью в средние и крупные проекты, позволяя сэкономить затраты на создание части рабочих мест, не наделенных правами пополнения базы данных.

Справочные картографические системы (СКС) сочетают в себе хранение и большинство возможных видов визуализации

пространственно распределенной информации, содержат механизмы запросов по картографической и атрибутивной информации, но при этом существенно ограничивают возможности пользователя в дополнении встроенных баз данных. Их обновление (актуализация) носит циклический характер и производится обычно поставщиком СКС за дополнительную плату.

Отдельно существует целый класс программного обеспечения, связанный с вводом картографической основы. **Векторизаторы** растровых картографических изображений снабжаются инструментарием автоматического (полуавтоматического) распознавания картографических условных обозначений и способствуют увеличению точности и производительности труда при вводе цифровой основы.

Следующий класс программного обеспечения — **средства пространственного моделирования**. Их задача — моделировать пространственное распределение различных параметров (рельефа, зон экологического загрязнения, участков затопления при строительстве плотин и другие). Они опираются на средства работы с матричными данными и снабжаются развитыми средствами визуализации.

Средства обработки и дешифрования данных зондирований земли. Сюда относятся пакеты обработки изображений, снабженные математическим аппаратом, позволяющим проводить операции со снимками поверхности Земли. Это довольно широкий набор операций, начиная со всех видов коррекции (оптической, геометрической), через географическую привязку снимков, вплоть до обработки стереопар с выдачей результата в виде актуализированного топоплана.

Кроме упомянутых классов, существуют программные средства, манипулирующие пространственной информацией, например средства обработки полевых геодезических наблюдений (пакеты, предусматривающие взаимодействие с GPS-приемниками, автоматизированным геодезическим оборудованием), средства навигации и ПО для решения еще более узких предметных задач (изыскания, экология, гидрогеология и пр.).

Контрольные вопросы

1. ГИС: определение, понятие.
 2. Понятия пространственных данных, БД и СУБД.
 3. Природа географических данных, пространственные связи.
 4. Координатные и атрибутивные данные.
 5. Типы данных, составляющих информационную основу ГИС.
 6. Связь ГИС с научными дисциплинами и технологиями.
 7. Типовые вопросы, на которые отвечает ГИС.
 8. Функциональная структура ГИС.
 9. Отличия ГИС от других автоматизированных систем.
 10. Классификация ГИС.
 11. Области применения ГИС.
 12. Применение ГИС в природоохранной деятельности.
 13. Основные требования, предъявляемые к ГИС. Выполняемые задачи.
 14. Определение положения точек на поверхности Земли.
- Системы координат.
15. Номенклатура и разграфка топографических карт.
 16. Виды проекций земной поверхности.
 17. Проекционные преобразования. Наиболее часто используемые проекции.
 18. Общие принципы построения моделей данных в ГИС.
 19. Оверлейные структуры.
 20. Картографические основы ГИС-технологий.
 21. Взаимосвязи между пространственной и атрибутивной информацией.
 22. Базовые типы пространственных объектов.
 23. Модели пространственных данных, применяемые в ГИС.
 24. Растровая модель данных.
 25. Квадратомическая модель данных.
 26. Основные цветовые модели.
 27. Векторные (топологическая и нетопологическая) модели данных.
 28. Сети TIN и полигоны Тиссена.
 29. Сравнение растровой и векторной моделей данных.
 30. Растрово-векторные преобразования.

31. Технические средства ввода позиционной информации.
32. Цифрование: способы и этапы.
33. Проблемы цифрования.
34. Точность координатных и атрибутивных данных.
35. Критерии качества цифровых карт.
36. Позиционирование и геокодирование данных в ГИС.
37. Дистанционное зондирование Земли.
38. Спутники дистанционного зондирования Земли.
39. Электромагнитные диапазоны и технические средства дистанционного зондирования Земли.
40. Интерпретация данных дистанционного зондирования.
41. Глобальная система позиционирования: принцип работы.
42. Существующие системы глобального позиционирования.
43. Устройство, возможности и использование GPS-навигатора.
44. Моделирование геоизображений.
45. Визуализация в ГИС.
46. Цифровое моделирование рельефа.
47. Структура экспертных систем.
48. Анаморфозы.
49. ГИС: программные продукты.
50. Использование ГИС на примере одной из программ.

10. Системы подготовки, обработки и анализа данных

Сегодня компьютерные технологии применяются практически на всех этапах исследования (табл. 4), в том числе в области экологии и природопользования.

Таблица 4

Программное обеспечение основных этапов научного исследования

<i>Этапы исследования</i>	<i>Способы работы с информацией</i>	<i>Формы представления результатов</i>	<i>Программное обеспечение</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Подготовительный этап	Поиск и предварительный анализ информации о современном состоянии проблемы	Модели объекта исследования, обзор методов и результатов исследования	Информационно-поисковые системы, банки данных и знаний, текстовые и графические редакторы
Планирование исследования	Расчет необходимого объема и определение структуры материала, планирование экспериментов	Схема и график проведения исследования, план экспериментов, планируемый набор необходимых опытов	Электронные таблицы, текстовые и графические редакторы, статистические пакеты
Получение исходных данных	Наблюдение, эксперимент, компьютерное моделирование	Учетные ведомости, лабораторные журналы. Массивы данных, полученных в результате оцифровки кривых и изображений, компьютерного моделирования	Специальное ПО

1	2	3	4
Создание баз данных	Структуризация данных, организация проверки данных при вводе, ввод, импорт и защита данных	Базы данных, данные ГИС	Встроенные и автономные системы управления базами данных
Обработка данных	Работа с выборками и пропущенными значениями, преобразование данных, расчет индексов, экспорт и визуализация данных	Данные, подготовленные для анализа	Электронные таблицы, статистические пакеты
Анализ данных	Графический анализ	Графики, математические модели зависимостей, статистические данные	Пакеты научной графики, электронные таблицы, статистические пакеты
	Статистический анализ	Таблицы, графики, схемы	Статистические пакеты
	Анализ геопространственных данных	Электронные карты, схемы расположения станций, таблицы пространственных данных	Геоинформационные системы
Синтез данных	Интерпретация экспериментальных результатов на основе литературных данных.	Физическая, химическая, биологическая концептуальная основа модели.	Информационные ресурсы Интернета и локальных баз данных.
	Моделирование «структура — свойства»	Графоаналитические модели	Пакеты моделирования свойств, математические пакеты

1	2	3	4
Синтез данных	Математическое моделирование	Аналитические модели; имитационные модели	Алгоритмические языки программирования
Прогнозирование и экспертиза	Прогнозирование и экспертное оценивание	Прогнозы и экспертные заключения	ГИС, имитационные модели, экспертные системы
Оформление, представление и обсуждение результатов исследования	Оформление результатов исследования в виде курсовых и дипломных работ, научных отчетов и статей	Текст с иллюстративной графикой, таблицами, математическими и химическими формулами, схемами, картами	Редакторы (текстовые, графические, математических и химических формул)
	Представление результатов исследования в форме доклада	Презентации	Мультимедийные пакеты
	Обсуждение результатов и обмен информацией	Internet, электронная почта, телеконференции	Телекоммуникационные пакеты

Наибольший интерес для исследователей в области биологии, экологии и химии представляют интегрированные системы (Statistica и др.), включающие разнообразные средства подготовки, обработки и анализа данных, формирования отчетов. Подобные универсальные пакеты могут применяться практически на всех этапах научного исследования.

Планирование исследования

Расчет объема необходимого материала для выполнения работы необходимо произвести заранее, чтобы планируемые выборки отвечали требованию репрезентативности. Это особенно важно при проведении исследований в полевых условиях (в водных и наземных экосистемах). При этом необходимо учитывать

пространственно-временные особенности функционирования объекта исследования. Подобный расчет можно провести, например, в электронных таблицах MS Excel по соответствующим формулам.

Планирование эксперимента. Исследование называется экспериментом, если входные переменные изменяются в точно учитываемых условиях, позволяя управлять ходом опытов и воссоздавать их результаты каждый раз при повторении с точностью до случайных ошибок. Под планированием эксперимента понимается процедура выбора числа опытов и условий их проведения, необходимых для решения поставленной задачи с требуемой точностью.

Планирование эксперимента относится к статистическим процедурам и реализовано в модуле «Планирование эксперимента» многих статистических пакетов, например Statistica.

Получение исходных данных

Данные — это информация, полученная путем наблюдения или эксперимента и представленная в форме, пригодной для постоянного хранения, передачи, обработки и анализа.

Создание баз и массивов данных

База данных — это совокупность связанных данных, организованных по определенным правилам, предусматривающим общие принципы их описания, хранения и использования. Работа с базами данных осуществляется с помощью системы управления базами данных (СУБД).

Любая база данных в своей основе имеет определенную структуру организации данных — схему информационного массива, в соответствии с которой упорядочены данные, с тем чтобы их можно было интерпретировать и выполнять над ними определенные операции.

Простейшей базой данных является обычный лист электронной таблицы, например MS Excel, состоящий из столбцов и строк и содержащий структурированный информационный массив. Подобные электронные таблицы используются в большинстве программных продуктов, связанных с обработкой и анализом данных.

Например, данные в системе Statistica организованы в виде электронной таблицы, содержащей переменные и наблюдения. Переменные можно рассматривать как эквивалент столбцов, а на-

блюдения — строк обычной электронной таблицы MS Excel. Каждое наблюдение состоит из набора значений переменных. Они могут содержать как численную, так и текстовую информацию. Данные в электронной таблице могут иметь различные форматы, например даты, времени, научный формат и др. Переменные и наблюдения можно добавлять или удалять из таблицы исходных данных, выбирая с помощью кнопок *Vars* (переменные) или *Cases* (наблюдения) на панели инструментов соответствующую команду из выпадающих меню: *Add* — добавить, *Delete* — удалить.

Ввести данные в электронную таблицу можно одним из следующих способов:

- Непосредственно ввести их с клавиатуры. В системе Statistica имеются развитые инструментальные средства для автоматизации ручного ввода данных.

- Воспользоваться данными, подготовленными в другом приложении, используя операции копирования данных через *Буфер обмена*.

Если в ходе выполнения исследования приходится иметь дело с геопространственными данными (означают информацию, которая идентифицирует географическое местоположение и свойства естественных или искусственно созданных объектов, а также их границ на земле; эта информация может быть получена с помощью, помимо иных путей, дистанционного зондирования, картографирования и различных видов), то для систематизации и хранения данных целесообразно использовать ГИС. Надо отметить, что большинство современных ГИС дает возможность напрямую использовать данные электронных таблиц Excele и др.

Перед непосредственным вводом данных рекомендуется организовать их проверку, а после ввода — различные формы защиты информации от потери или несанкционированного доступа. Информацию в подготовленную базу данных можно импортировать из других баз данных.

Обработка данных

Прежде чем приступить к анализу данных, необходимо проинформировать их проверку на наличие ошибок, а также осуществить предварительную подготовку.

Выявление ошибок сводится к проверке соответствия значений в базе данных приемлемому диапазону, установленному для данной переменной. Кроме того, следует обратить внимание на аномальные, резко уклоняющиеся значения (выбросы), которые можно обнаружить на диаграммах рассеяния, и на пропущенные значения. При их наличии применяются специальные методы обработки данных.

Зачастую уже представление данных в графическом виде позволяет идентифицировать выпадающие точки и отбросить их либо повторить эксперимент в условиях сомнительного результата.

Практически в каждом пакете обработки и анализа данных имеются возможности преобразования данных для анализа. Например, в системе Stasisica можно вычислить новые данные на основе уже введенных при помощи формул, которые задаются в электронной таблице. При этом имеется возможность быстрого доступа к большому количеству математических функций, допускается использование и логических операторов.

На этом этапе исходные данные можно преобразовать в различные индексы: морфометрические, морфологические, трофологические, видового разнообразия, качества окружающей среды и др. Например, на основе данных по видовому составу сообществ и численности отдельных популяций рассчитываются индексы видового разнообразия, которые в дальнейшем можно использовать в любых статистических процедурах. Расчет индексов удобно проводить в электронных таблицах, причем рекомендуется создать базу данных разнотипных индексов.

Анализ данных

Компьютерные системы для анализа данных относятся к наукоемким программным продуктам. Условно их можно разделить на системы визуализации данных (пакеты научной графики), статистические и математические пакеты. Основными программными продуктами, используемыми в учебном процессе и НИРС для анализа данных, являются электронные таблицы MS Excel, статистические пакеты Statistica и др.

Графический анализ данных

Категоризованные графики. Одним из наиболее мощных методов графического анализа является разделение данных на груп-

пы для сравнения структуры получившихся подмножеств. Эти методы широко применяются как в разведочном анализе данных, так и при проверке гипотез и известны под разными названиями (*классификация, группировка, категоризация, разбиение, расслоение* и пр.). Например, разбиение выборочных популяционных данных на подмножества, соответствующие половым, возрастным, размерным, пространственным и иным группам.

Категоризованные графики позволяют выявить закономерности, которые трудно поддаются количественному описанию и которые весьма сложно обнаружить с помощью вычислительных процедур. В этих случаях категоризованные графики предоставляют уникальные возможности многомерного аналитического исследования или «добычи» данных.

Диаграммы рассеяния. Двумерные диаграммы рассеяния используются для визуализации взаимосвязей между двумя переменными X и Y (например, весом и ростом). На этих диаграммах отдельные точки данных представлены маркерами на плоскости, где оси соответствуют переменным. Две координаты (X и Y), определяющие положение точки, соответствуют значениям переменных. Если между переменными существует сильная взаимосвязь, то точки на графике образуют упорядоченную структуру (например, прямую линию или характерную кривую). Если переменные не взаимосвязаны, то точки образуют «облако».

Графический анализ данных можно проводить в специализированных пакетах научной графики и в интегрированных системах анализа данных. Например, система Statistica обладает широкими графическими возможностями. Она включает в себя большое количество разнообразных категорий и типов графиков (включая научные, деловые, трехмерные и двумерные графики в различных системах координат, специализированные статистические графики — гистограммы, матричные, категоризованные графики и др.).

В систему Statistica включено большое количество инструментов настройки всех компонент графиков. Имеется возможность выбора различных типов линий, форматов разметки осей, цветов, легенд, названий и других атрибутов графика. Настроенные атрибуты могут быть сохранены в специальном файле и по-

том применяться к другим графикам. Доступ ко всем основным командам настройки реализован при помощи контекстных меню, которые появляются при нажатии на правую кнопку мыши, общего меню и из панели инструментов графика.

Графические средства системы Statistica доступны в любом статистическом модуле и на любом шаге статистического анализа. Они могут быть использованы в целях:

- визуализации численных и текстовых значений непосредственно из электронной таблицы с исходными данными или таблицы с результатами анализа;
- вывода результатов статистического анализа в виде последовательности (очереди) графиков. Для этого в диалоговых окнах всех статистических процедур имеется возможность построения различных, предназначенных именно для этого вида анализа типов графиков.

Визуализация данных является важным этапом статистического анализа. Очень важно подобрать вид графика, который соответствует исследуемым данным. В систему Statistica включены удобные инструментальные средства для проведения интерактивного графического анализа данных.

Графический документ в системе Statistica может быть сохранен как:

- графический документ в специальном графическом формате системы Statistica, который может быть открыт позже и использован в процессе анализа,
- в графическом растровом формате.

Статистический анализ данных

Статистический анализ данных делится на отдельные, логически связанные между собой процедуры и методы.

Описательная статистика и разведочный анализ исходных данных. Включает вычисление основных выборочных характеристик (средних величин, показателей вариации, параметров распределения) и выявление структуры данных.

Точечное и интервальное оценивание генеральных параметров.

Выявление достоверности различий между выборочными совокупностями.

Дисперсионный анализ.

Статистическое исследование зависимостей:

- корреляционный анализ;
- регрессионный анализ;
- анализ временных рядов.

Многомерные методы:

- факторный анализ;
- кластерный анализ;
- дискриминантный анализ.

Программное обеспечение статистического анализа данных

Основными программными продуктами, используемыми в учебном процессе и НИРС, являются электронные таблицы MS Excel, статистические пакеты Statistica, Stadia, Statgraphics и др.

Синтез данных

Интерпретация результатов на основе литературных данных. Для выполнения этой задачи необходима максимально полная информация по изучаемой проблеме, современным концепциям, фактическим данным. Она может быть найдена в научной литературе в ее классическом, «бумажном» виде либо в разнообразных электронных информационных ресурсах.

Необходимый элемент анализа данных — построение моделей, в том числе и математических. Простейший вариант — построение на основании данных, представленных в MS Excel. С помощью «Мастера диаграмм» строится график зависимости одного ряда значений от другого. Затем выполняется команда «Добавить линию тренда» и подбирается характер зависимости по максимальной величине коэффициента аппроксимации (он, так же как и уравнение зависимости, выносится на график при пометке соответствующего окошка в разделе «Параметры»). Полученная модель должна быть верифицирована (подтверждена) имеющимися литературными данными.

Графоаналитические модели позволяют представить объект как состоящий из набора структурных элементов. Этот подход часто используется в химии для построения модели зависимости «структура — свойства». К нему относится, в частности, методология QSAR (англоязычная аббревиатура выражения «количественные отношения "структура — свойства"»).

Математические модели. В экологии и биологии широко применяется методы математического моделирования. Компьютерные технологии открыли новые возможности экспериментирования с объектами исследования, так трудно реализуемые в естественных условиях. Характер этого экспериментирования особый. Он позволяет производить опыты не с природными объектами, а с их подобиями, моделями, отражающими главные свойства, способы функционирования и взаимодействия живых организмов между собой и со средой их обитания.

Моделирование позволяет масштабировать время функционирования модельных систем (сокращать или увеличивать) и выявлять «белые пятна» в наших представлениях об объектах исследования. Модель приобретает особую ценность, когда она позволяет прогнозировать их поведение.

В экологии большое распространение получило имитационное моделирование. В имитационных моделях элементы и процессы оригинала описываются абстрактными символами и операциями над ними. При этом логическая структура исследуемого объекта, последовательность протекания в нем процессов и состав информации сохраняются, а поведение системы в целом изучается на основании поведения ее частей и взаимодействия между этими частями.

Ниже мы рассмотрим основные характеристики некоторых указанных в таблице программных продуктов, их применение в экологических исследованиях, что в значительной степени раскрывает содержание нерассмотренных этапов (возможности программных продуктов в значительной степени раскрывают суть этапов «Прогнозирование и экспертиза», «Оформление», «Представление и обсуждение результатов исследования»).

Электронные таблицы MS Excel

Электронные таблицы — один из основных инструментов компьютерной поддержки научных исследований при выполнении курсовых и дипломных работ. Они располагают разнообразными и достаточно эффективными средствами обработки, анализа и визуализации данных, а также ведения баз данных. Сюда относятся формулы, разнотипные встроенные функции, различные типы графиков в «Мастере диаграмм», пакет анализа данных.

Электронные таблицы позволяют организовать структуризацию и проверку данных, их предварительную подготовку путем фильтрации и сортировки по различным критериям, обработку с помощью формул и функций, проведение графического и статистического анализа данных. Результаты в виде таблиц и графиков могут быть экспортированы в текстовые редакторы или специальные пакеты для подготовки демонстрационных материалов (Power Point).

Обработка данных осуществляется с помощью формул и функций. Функции — это заранее определенные формулы, которые выполняют вычисления над заданными величинами, называемым аргументами. Список аргументов может состоять из чисел, текста, логических величин, массивов и др. Кроме того, аргументы могут быть как константами, так и формулами. MS Excel имеет в своем составе большой набор встроенных математических и статистических функций, которые могут быть задействованы с помощью «Мастера функций».

Кроме того, в MS Excel имеется специальный набор средств анализа данных, предназначенный для решения статистических задач (табл. 5). Обращение к этому инструментарию производится из меню «Сервис», пункт «Анализ данных».

Таблица 5

Основные инструменты пакета «Анализ данных»

Дисперсионный анализ	Пакет анализа включает в себя три варианта дисперсионного анализа: однофакторный, двухфакторный с повторениями и без повторений.
Корреляция	В результате анализа формируется корреляционная матрица, содержащая коэффициенты корреляции Пирсона.
Описательная статистика	Это средство анализа служит для создания статистического отчета, содержащего информацию о среднем значении, показателях вариации, стандартной ошибке и др. параметрах одной или нескольких выборок.

Двухвыборочный F-тест для дисперсий	Двухвыборочный F-тест применяется для сравнения дисперсий двух генеральных совокупностей.
Регрессия	Регрессионный анализ заключается в подборе уравнения и соответствующего графика для набора наблюдений с помощью метода наименьших квадратов. Регрессия используется для анализа воздействия на отдельную зависимую переменную значений одной или более независимых переменных.
Парный двухвыборочный t-тест для средних	Парный двухвыборочный t-тест Стьюдента используется для проверки гипотезы о различии средних для двух выборок данных. В нем не предполагается равенство дисперсий генеральных совокупностей, из которых выбраны данные. Парный тест используется, когда имеется естественная парность наблюдений в выборках, например когда генеральная совокупность тестируется дважды.
Двухвыборочный t-тест	Двухвыборочный t-тест Стьюдента служит для проверки гипотезы о равенстве средних для двух выборок. Одна форма t-теста предполагает совпадение дисперсий генеральных совокупностей, другая — несовпадение.

Электронные таблицы можно рекомендовать студентам при выполнении большинства курсовых и дипломных работ химической, биологической и экологической тематики для хранения, обработки и оформления результатов анализа данных.

Пакет прикладных программ Statistica

Ниже приводится краткое описание наиболее популярного пакета обработки и анализа данных — Statistica, являющегося фактически стандартом в данном сегменте ПО.

Общая структура системы

Statistica представляет собой интегрированную систему обработки и статистического анализа данных. Система состоит из следующих основных компонентов:

•многофункциональной системы для работы с данными, которая включает в себя электронные таблицы для ввода исходных данных, а также специальные таблицы для вывода численных результатов анализа. Для сложной обработки данных имеется модуль «Управления данными»;

• графической системы для визуализации данных и результатов статистического анализа;

• набора статистических модулей, в которых собраны группы логически связанных между собой статистических процедур. В любом конкретном модуле можно выполнить определенный способ статистической обработки, не обращаясь к процедурам из других модулей. Каждый модуль является полноценным Windows-приложением. Поэтому пользователь имеет возможность одновременной работы как с одним, так и с несколькими модулями. Все основные операции при работе с данными и графические возможности доступны в любом статистическом модуле и на любом шаге анализа;

• специального инструментария для подготовки отчетов. При помощи текстового редактора, встроенного в систему, можно готовить полноценные отчеты. В пакете также имеется возможность автоматического создания отчетов.

Система Statistica работает с четырьмя различными типами документов, которые соответствуют основным компонентам системы. Это:

• электронная таблица, которая предназначена для ввода исходных данных и их преобразования;

• график — документ в специальном графическом формате для визуализации и графического представления численной информации;

• отчет — документ в формате RTF (Расширенный текстовый формат) для вывода текстовой и графической информации.

В соответствии со стандартами среды Windows каждый тип документа выводится в собственном окне в рабочей области системы Statistica. Как только это окно становится активным, изменяется панель инструментов и меню. В них появляются команды и кнопки, доступные для активного документа.

Основные шаги обработки данных в системе Statistica

Статистическая обработка данных в системе Statistica обычно состоит из следующих основных шагов:

- ввод исходных данных в электронную таблицу системы Statistica;
- предварительные преобразования данных перед непосредственным применением конкретного статистического метода;
- визуализация данных при помощи того или иного типа графиков;
- статистический анализ при помощи некоторого статистического метода;
- вывод численных, текстовых и графических результатов на экран, в отдельные файлы или в файл с отчетом.

Статистический анализ в пакете прикладных программ Statistica

Статистические процедуры системы Statistica сгруппированы в нескольких специализированных статистических модулях. В каждом модуле можно выполнить анализ данных определенным способом, не обращаясь к процедурам из других модулей.

Модуль «Основные статистики» (Basic Statistics). Обычно с этого модуля начинается работа в системе Statistica. Он включает в себя приведенные ниже группы статистических процедур.

Описательные статистики, группировка, разведочный анализ. Система Statistica предлагает широкий выбор методов разведочного статистического анализа. Здесь можно вычислить практически все описательные статистики общего характера: медиану, моду, квартили, определенные пользователем процентиля, среднее значение и стандартное отклонение, доверительный интервал для среднего, асимметрию и эксцесс с их стандартными ошибками и др. Практически все описательные статистики могут быть вычислены для данных, разделенных на группы с помощью одной или нескольких группирующих переменных. Например, всего несколько щелчков мыши позволяют разбить данные на группы, например по полу и возрасту, и провести их графический анализ.

Корреляции. Этот раздел включает средства, позволяющие исследовать зависимости между переменными с использованием коэффициента корреляции Пирсона. Специальные графические возможности позволяют выбрать отдельные точки на диаграмме рассеяния и оценить их вклад в линию регрессии. Вычисленные корреляционные матрицы выводятся в виде электронных таблиц *Scrollsheet*.

t-критерии и другие критерии для групповых различий. В этой группе процедур могут быть вычислены *t*-критерии для зависимых и независимых выборок и другие процедуры для выявления групповых различий. Как и везде в системе, во всех меню результатов имеются функции подробной диагностики и графического представления.

Модуль «Дисперсионный анализ» (ANOVA/MANOVA). Здесь реализованы методы общего одномерного и многомерно-го дисперсионного анализа с возможностью обработки планов практически неограниченной сложности. Имеется возможность задавать планы непосредственно, определив реальные переменные и уровни факторов, поэтому даже не очень опытные пользователи системы Statistica могут анализировать в этом модуле чрезвычайно сложные планы.

Модуль «Множественная регрессия». Если вы хотите построить зависимости между многомерными переменными, подобрать простую линейную модель и оценить ее адекватность, воспользуйтесь модулем Multiple Regression.

Модуль «Непараметрическая статистика и подгонка распределений». Если вы хотите проверить различные гипотезы о характере распределения ваших данных, работайте в модуле Nonparametrics/Distribution — «Непараметрическая статистика/Распределения». Модуль содержит обширный набор непараметрических критериев согласия, в частности критерий Колмогорова — Смирнова, а также ранговые критерии Манна — Уитни, Вилкоксона и многие другие.

Статистические процедуры модуля позволяют пользователю легко сравнить распределение наблюдаемых величин с большим количеством различных теоретических распределений. Вы може-

те подогнать к данным нормальное, равномерное, линейное, экспоненциальное, биномиальное, Пуассоновское, геометрическое распределения, распределение Бернулли. Точность подгонки оценивается с помощью критерия хи-квадрат или одновыборочного критерия Колмогорова — Смирнова (параметры подгонки могут контролироваться). Дополнительно подгонка гипотетического распределения к эмпирическому может быть оценена в пользовательских гистограммах (стандартных или кумулятивных) с наложением на них выбранных функций; линейные и столбчатые графики ожидаемых и наблюдаемых частот могут быть получены непосредственно из таблицы с выходными данными. Определенные пользователем функции от одной и двух переменных также легко могут быть построены и наложены на графики.

Модуль «Факторный анализ» содержит широкий набор статистик и методов факторного анализа с расширенной диагностикой и большим многообразием исследовательских и разведочных графиков. Здесь можно выполнять анализ главных компонент и главных факторов для наборов данных, содержащих до 300 переменных. Выходные результаты включают собственные значения (обычные, кумулятивные и относительные), нагрузки факторов и коэффициенты факторных баллов. Пространство факторов можно визуально просматривать «срез за срезом» на двух- или трехмерных диаграммах рассеяния с отмеченными точками данных; среди других графических средств — графики «каменистой осыпи», различные типы диаграмм рассеяния, гистограммы, линейные графики и др. После того как факторное решение определено, пользователь может вычислить (воспроизвести) корреляционную матрицу и оценить согласованность факторной модели путем анализа остаточной корреляционной матрицы (или остаточной дисперсионной/ковариационной матрицы). На входе можно использовать как исходные данные, так и матрицы корреляций.

Вывод численных и текстовых результатов анализа в системе Statistica

Численные результаты статистического анализа в системе Statistica выводятся в виде специальных электронных таблиц, которые называются таблицами вывода результатов — *Scrollsheets*.

Таблицы *Scrollsheet* могут содержать любую информацию (численную и текстовую), от короткой строчки до мегабайтов результатов. Обычно даже в результате простейшего статистического анализа на выходе получается большое количество численной и графической информации. В системе Statistica эта информация выводится в виде последовательности (очереди), которая состоит из набора таблиц *Scrollsheet* и графиков.

Statistica содержит большое количество инструментов для удобного просмотра результатов статистического анализа и их визуализации. Они включают в себя стандартные операции по редактированию таблицы, операции удобного просмотра (подвижные границы столбцов, разделение прокрутки в таблице и др.), доступ к основным статистикам и графическим возможностям системы Statistica. При выводе целого ряда результатов (например, корреляционной матрицы) Statistica отмечает значимые коэффициенты корреляции красным цветом. Пользователь также имеет возможность выделить при помощи цвета необходимые значения в таблице *Scrollsheet*.

Если пользователю необходимо провести детальный статистический анализ промежуточных результатов, то можно сохранить таблицу *Scrollsheet* в формате файла данных Statistica и далее работать с ним, как с обычными данными.

Кроме вывода результатов анализа в виде отдельных окон с графиками и таблицами *Scrollsheet*, в системе имеется возможность создания отчета, в окно которого может быть выведена вся эта информация. Отчет — это документ (в формате *RTF*), который может содержать любую текстовую или графическую информацию. В Statistica имеется возможность автоматического создания отчета, так называемого автоотчета. При этом любая таблица или график могут быть автоматически направлены в отчет.

Контрольные вопросы

1. Способы работы с информацией на различных этапах научного исследования.
2. Расчет объема необходимого материала и планирование эксперимента.
3. Получение исходных данных, создание баз и массивов данных.
4. Графический анализ данных.
5. Статистический анализ данных.
6. Синтез данных.
7. Программное обеспечение обработки и анализа количественных научных данных.
8. MS Excel. Основные инструменты пакета «Анализ данных».
9. MS Excel. Графическая обработка данных.
10. Статистический пакет Statistica.
11. Статистический анализ в пакете прикладных программ Statistica.
12. Представление данных в пакете прикладных программ Statistica.

Литература

1. Геоинформатика: учебник для вузов. В 2 кн. / под ред. В. С. Тикунова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Академия, 2008.
2. Основы геоинформатики: учеб. пособие для вузов. В 2 кн. / под ред. В. С. Тикунова. — М. : Академия, 2004.
3. Орлов, В. Ю. Основные понятия и применение геоинформационных систем в природоохранной деятельности: учеб. пособие для вузов / В. Ю. Орлов. — Ярославль, 2003.
4. Берлянт, А. М. Теория геоизображений / А. М. Берлянт. — М. : ГЕОС, 2006.
5. Цветков, В. Я. Геоинформационные системы и технологии / В. Я. Цветков. — М. : Финансы и статистика, 1997.
6. Самардак, А. С. Геоинформационные системы: электронный учебник / А. С. Самардак. — Владивосток : Дальневосточный гос. университет, 2005.
7. Бугаевский, Л. М. Геоинформационные системы: учеб. пособие для вузов / Л. М. Бугаевский, В. Я. Цветков. — М. : Златоуст, 2000.
8. Ципилева, Т. А. Геоинформационные системы: учеб. пособие / Т. А. Ципилева. — Томск, 2004.

Оглавление

<i>Введение</i>	3
<i>1. ГИС: определение, понятие</i>	4
1.1. Пространственные данные.....	6
1.2. Типовые вопросы.....	8
<i>2. Классификация и структура ГИС</i>	9
<i>3. Применение ГИС</i>	11
3.1. Применение ГИС в природоохранной деятельности.....	12
<i>4. Модели данных в ГИС</i>	14
4.1 Общие принципы построения моделей данных в ГИС.....	14
4.2. Оверлейная структура.....	15
4.3. Базовые типы пространственных объектов.....	17
4.4. Растровая модель данных.....	18
4.5. Квадратомическая модель.....	21
4.6. Векторные модели.....	22
4.7. Создание электронной карты.....	30
<i>5. Проекции земной поверхности</i>	40
<i>6. Моделирование геоизображений</i>	46
6.1. Принципы моделирования.....	46
6.2 Виды моделирования.....	48
6.3. Основные свойства геоизображений.....	51
6.4. Визуализация в ГИС.....	54
<i>7. Дистанционное зондирование Земли</i>	59
7.1. Свойства космических снимков.....	61
7.2. Атмосферные помехи при получении космоснимков.....	62
7.3. Спутники ДЗЗ.....	63
7.4. Электромагнитные диапазоны сканирования.....	66

7.5. Наземная аппаратура для ДЗЗ.....	71
7.6. Интерпретация данных дистанционного зондирования.....	72
8. Глобальные системы позиционирования.....	75
8.1. Основные идеи.....	77
8.2. Применение GPS.....	79
8.3. Существующие системы глобального позиционирования.....	80
9. Программное обеспечение ГИС.....	82
Контрольные вопросы.....	84
10. Системы подготовки, обработки и анализа данных....	86
Контрольные вопросы.....	103
Литература.....	104

Учебное издание

Грачев Александр Владимирович
Орлов Владимир Юрьевич

Информационные технологии в экологии и природопользовании

Учебное пособие

Редактор, корректор М. Э. Левакова
Верстка Е. Б. Половковой

Подписано в печать 07.10.13. Формат 60×84 ¹/₁₆.
Усл. печ. л. 6,28. Уч.-изд. л. 5,0.
Тираж 50 экз. Заказ

Оригинал-макет подготовлен
в редакционно-издательском отделе ЯрГУ.

Ярославский государственный университет
им. П. Г. Демидова.
150000, Ярославль, ул. Советская, 14.

