

Федеральное агентство по образованию
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГОУВПО «АмГУ»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой БЖД

_____ А.Б. Булгаков

«_____» _____ 2008 г.

Геоинформационные системы

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

для специальности 280101 «Безопасность жизнедеятельности
в техносфере»

Составитель: Аверьянов В. Н., старший преподаватель, канд. физ.-мат. наук

Благовещенск 2008 г.

Печатается по решению
редакционно-издательского совета
инженерно-физического факультета
Амурского государственного университета

В.Н. Аверьянов

Учебно-методический комплекс по дисциплине «Геоинформационные системы» для студентов очной формы обучения специальности 280101 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере» - Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2008. – 121 с.

Учебно-методические рекомендации ориентированы на оказание помощи студентам очной формы обучения по данной специальности в изучении принципов построения и использования географических информационных систем, способов ввода, хранения, обработки, анализа и визуализации пространственных данных, в получении навыков работы с наиболее распространенными географическими информационными системами, в применении полученных знаний в практической деятельности по специальности обучения.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Рабочая программа для специальности 280101 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере»	4
2. Конспект лекций	10
2.1 Тема 1. Основы геоинформационных технологий	10
2.2 Тема 2. Решение аналитических задач в ГИС	38
2.3 Тема 3. Дистанционное зондирование и системы спутникового позиционирования	68
2.4 Тема 4. Проектирование и обзор современных ГИС	98
3. Лабораторные занятия	114

Федеральное агентство по образованию РФ
Амурский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по УНР
В.В. Проказин

подпись, И.О.Ф

«__» _____ 2008 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
по дисциплине «Геоинформационные системы»
(наименование дисциплины)

для специальности 280101 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере»
(шифр и наименование специальности)

Курс 3 (дневная форма обучения)
Лекции 18 (час.)
Лабораторные занятия - 18 (час.)
Самостоятельная работа – 46 (час.)
Всего часов 82 (час.)

Семестр 5 (дневная форма обучения)
Зачет 5 семестр

Курс 3 (сокращенная ФО)
Лекции 10 (час.)
Самостоятельная работа - 72 (час.)
Всего часов 82 (час.)

Семестр 6 (сокращенная ФО)
Экзамен нет
Зачет 6 сем.

Составитель В.Н. Аверьянов, ст. преподаватель
(И.О.Ф., должность, ученое звание)

Факультет инженерно-физический

Кафедра БЖД

2008 г.

Рабочая программа составлена на основании Государственного образовательного стандарта ВПО

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры БЖД

«__» _____ 2008 г., протокол № _____

Заведующий кафедрой

А.Б. Булгаков

Рабочая программа одобрена на заседании УМС 280101 (БЖД в техносфере)
(наименование специальности)

«__» _____ 2008 г., протокол № _____

Председатель _____
(подпись, И.О.Ф.)

Рабочая программа переутверждена на заседании кафедры от _____
протокол № _____ .

Зав.кафедрой

подпись

Ф.И.О.

СОГЛАСОВАНО

Начальник УМУ

(подпись, И.О.Ф.)

Г.Н. Торопчина

«__» _____ 2008 г.

СОГЛАСОВАНО

Председатель УМС факультета

(подпись, И.О.Ф.)

«__» _____ 2008 г.

СОГЛАСОВАНО

Заведующий выпускающей кафедрой

(подпись, И.О.Ф.)

«__» _____ 2008 г.

1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

1.1. Цель преподавания дисциплины

Целью преподавания данной дисциплины является знакомство с принципами построения и возможностями использования географических информационных систем, в частности: обучение способам ввода, хранения, обработки, анализа и визуализации пространственных данных, получение навыков работы с наиболее распространенными географическими информационными системами, применение полученных знаний в практической деятельности по специальности обучения.

1.2. Задачи изучения дисциплины:

усвоение важнейших определений и понятий географических информационных систем и технологий;

знакомство с различными технологиями, методами и способами получения, передачи, накопления, хранения и обработки пространственных данных;

практическое знакомство с конкретными наиболее распространенными географическими информационными системами;

получение практических навыков самостоятельной работы с конкретными географическими информационными системами;

изучение основ организации, построения и внедрения в практическую деятельность географических информационных систем и их отдельных компонентов.

1.3. Перечень дисциплин, необходимых при изучении данной дисциплины

При изучении данной дисциплины студентам необходимы знания, полученные при изучении следующих дисциплин: «Информатика», «Базы данных».

2. Содержание дисциплины

2.1. Федеральный компонент

В учебный план дисциплина введена решением Ученого Совета АмГУ от 01 марта 2001 г. протокол N7.

2.2 Содержание лекционной части.

№	Наименование	Краткое содержание	№ лекции	Кол-во часов
1	Тема 1. Основы геоинформационных технологий.	Основные понятия и термины, эволюция ГИС, сфера применения, базовые компоненты ГИС, цифровая картография.	1,2	4
2	Тема 2. Решение аналитических задач в ГИС.	Модели данных в ГИС, обработка информации, модели данных в ГИС, ввод данных, анализ информации в ГИС,	3,4,5	6

		подготовка отчетов.		
3	Тема 3. Дистанционное зондирование и системы спутникового позиционирования.	Основные понятия, принцип дистанционного зондирования, оптические и радиотехнические методы зондирования, анализ спутниковых изображений, глобальная система позиционирования.	6,7	4
4	Тема 4. Обзор современных ГИС.	Этапы разработки ГИС, проектирование ГИС, инструментальная ГИС ARC/INFO, программный пакет ARCVIEW GIS 3.1, программные продукты MAPINFO	8,9	4

2.3 Лабораторные занятия.

№	Наименование темы	Количество часов
1	Классические настольные ГИС. Векторные и растровые модели данных. Основные понятия картографии: масштабы, проекции, координаты, условные обозначения.	2
2	Знакомство с ГИС ArcView. Основные функциональные возможности программы. Изучение интерфейса и организации данных в программе.	2
3	Понятие проекта в ГИС ArcView. Карты, таблицы, легенда и работа со слоями карт.	2
4	Использование данных в ГИС ArcView. Работа с таблицами. Подготовка картограмм и картодиаграмм.	2
5	Использование данных в ГИС ArcView. Понятие вида и темы. Компонировка карты. Экспорт карты. Подготовка карты к печати.	2
6	Использование данных в ГИС ArcView. Понятие атрибутивной информации. Редактирование данных. Создание и редактирование легенды.	4
7	Создание собственного проекта в ГИС ArcView.	4

Лабораторные занятия проводятся в форме самостоятельного выполнения под руководством преподавателя заданий с использованием ГИС ArcView. В процессе лабораторных занятий студенты знакомятся с основными принципами ГИС, интерфейсом пользователя ГИС, моделями пространственных данных, учатся вводить и выводить данные, использовать основные инструменты ГИС. По окончании цикла лабораторных занятий студенты приобретают навыки создания собственного проекта ГИС и управления данными в нем.

2.4. Контроль знаний студентов

Контроль знаний студентов предусмотрен в процессе проведения лабораторных занятий посредством контроля преподавателем хода выполнения каждого задания каждым студентом. Промежуточный контроль осуществляется через оценку результатов каждого задания.

2.5. Самостоятельная работа студентов.

Самостоятельная работа студентов предусмотрена посредством усвоения дополнительного материала из списка рекомендуемой литературы, ознакомления с конкретными проектами ГИС, выполненными для различных целей, ознакомления с примерами доступных картографических данных в Интернете.

2.6. Оценка знаний студентов

Студенты обязаны сдать зачет в строгом соответствии с учебным планом, а также утвержденным программами, едиными для всех форм обучения.

Зачет по дисциплине «Геоинформационные системы» служит формой контроля усвоения дисциплины в целом.

К зачету допускаются студенты, выполнившие и сдавшие все лабораторные работы, а также контрольную работу.

Сроки проведения зачета устанавливаются графиком учебного процесса, утвержденным проректором по учебной работе.

Знания, умения и навыки обучающегося определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно». Критерии приведены в таблице.

Основные критерии оценки знаний студентов

Оценка	Полнота, системность, прочность знаний	Обобщенность знаний
«отлично»	Изложение полученных знаний в устной, письменной или графической форме, полное, в системе, в соответствии с требованиями учебной программы; допускаются единичные несущественные ошибки, самостоятельно исправляемые студентами	Выделение существенных признаков изученного с помощью операций анализа и синтеза; выявление причинно-следственных связей; формулировка выводов и обобщений; свободное оперирование известными фактами и сведениями с использованием сведений из других предметов
«хорошо»	Изложение полученных знаний в устной, письменной и графической форме, полное, в системе, в соответствии с требованиями учебной программы; допускаются отдельные несущественные ошибки, исправляемые студентами после указания преподавателя на них	Выделение существенных признаков изученного с помощью операций анализа и синтеза; выявлений причинно-следственных связей; формулировка выводов и обобщений, в которых могут быть отдельные несущественные ошибки; подтверждение изученного известными фактами и сведениями
«удовлетворительно»	Изложение полученных знаний неполное, однако это не препятствует усвоению последующего программного материала; допускаются отдельные существенные ошибки, исправленные с помощью преподавателя	Затруднения при выполнении существенных признаков изученного, при выявлении причинно-следственных связей и формулировке выводов

«неудовлетворительно»	Изложение учебного материала неполное, бессистемное, что препятствует усвоению последующей учебной информации; существенные ошибки, неисправляемые даже с помощью преподавателя	Бессистемное выделение случайных признаков изученного; неумение производить простейшие операции анализа и синтеза; делать обобщения, выводы
-----------------------	---	---

3. Учебно-методическое обеспечение дисциплины.

Основная литература.

1. ArcViewGIS: Руководство пользователя. М., «Дата Плюс», 2001.
2. MapInfo Professional: Руководство пользователя. MapInfo Corporation, Troy. New York. 2000.
3. Бугаевский Л.М., Цветков М.Я. «Геоинформационные системы». Учебное пособие для ВУЗов. М., «Макс-пресс», 2000.

Дополнительная литература.

1. Кошкарев А.В., Тикунов В.С. «Геоинформатика». М., «Картгеоиздат», 1993.
2. «Основы геоинформатики». Под ред. Тикунрова В.С. М., «Академия», 2004.
3. Тикунов В.С., Капралов Е.Г., Заварзин А.В. и др. «Сборник задач и упражнений по геоинформатике». Учебное пособие для ВУЗов. М., «Академия», 2005.
4. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. М., «Финансы и статистика», 1997.

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

Тема 1. Основы геоинформационных технологий.

1.1. Введение в геоинформационные технологии.

Геоинформационные технологии существуют уже около 50 лет. Много ли это или мало для подобного высоко технологического направления? Почему геоинформатика и геоинформационные технологии представляют собой одно из наиболее бурно развивающихся направлений среди информационных технологий? И вообще, что это – наука, технология, метод, компьютерная программа?

Человек, абсолютно незнакомый с географическими информационными системами, может задать вопрос: “а зачем мне нужно знать, что такое геоинформатика?” Действительно, в жизни большинства из нас далеко не каждый день возникает необходимость обращаться к географическим атласам или картам. Но если разобраться, то геоинформационные технологии представляют из себя несколько больше, чем просто карту, помещенную в компьютер. В то же время, понятие “географическая информационная система (геоинформационная система, ГИС)” неразрывно связано с обычной печатной картой. По сути любая географическая карта есть модель земной поверхности и является объектом анализа её пользователей. Специалисту хватит беглого взгляда на географическое расположение каких-либо явлений или объектов на карте для оценки закономерностей их возникновения и связи с другими параметрами, рис.1.1.

Простейший пример – это определение расстояния от одного пункта на карте до другого, рис.1.2. Более сложной задачей является определение площадей объектов неправильной формы. В самых сложных задачах устанавливают зависимости между различными тематическими данными карт, например, зависимость популяции снежного барса от рельефа местности или состава почв от геологии коренных пород. Список примеров можно увеличивать. Человек в научной, производственной и управленческой деятельности постоянно сталкивается с необходимостью обработки больших массивов информации, которые связаны с пространственным местоположением разных объектов, описывающих трансформацию их свойств и характеристик в зависимости от времени. В итоге получают визуальное отображение, а весь процесс визуализации – есть процесс создания карты.



Рис.1.1. На фотографическом изображении видны вырубленные участки лесного массива. ГИС позволяет анализировать пространственно локализованные природные объекты и эффективно управлять вырубкой леса.



Рис.1.2. Картографическое изображение одной из частей г. Уссурийска. Красная кривая построена в ГИС для определения расстояния между объектами.

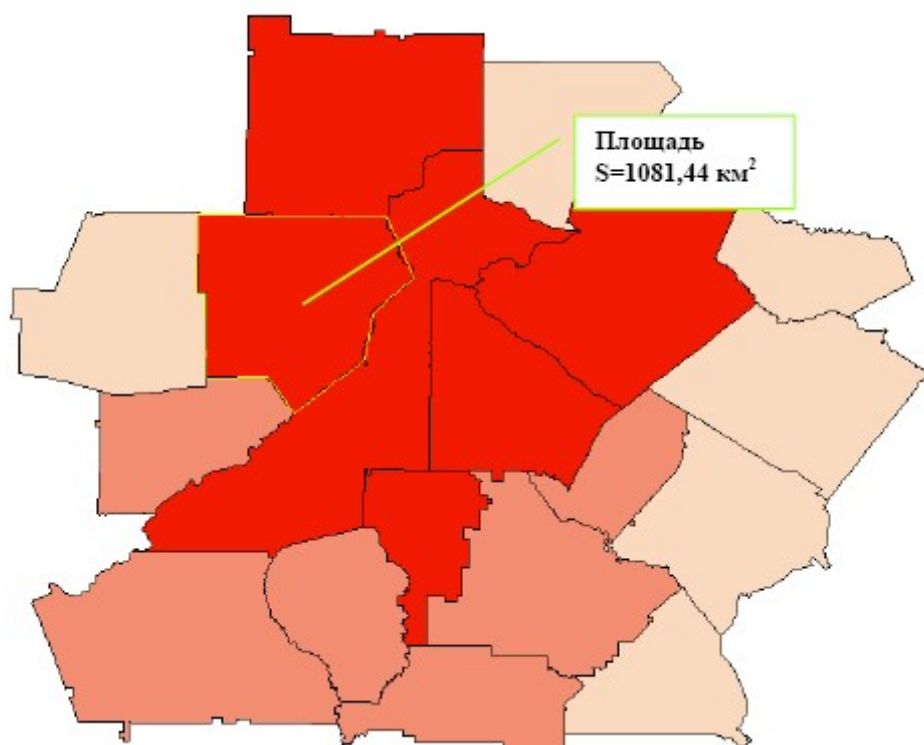


Рис.1.3. Определение территориальной площади (желтый многоугольник) в ГИС.

Геоинформационные системы, функции которых включают в себя анализ информации и визуализацию в виде карт и схем, возникли на стыке технологий обработки информации, использовавшихся в системах управления базами данных, и визуализации графических данных в системах автоматизированного проектирования и машинной графики (САПР), автоматизированного производства карт, системах управления сетями. Необходимость использования компьютерных мощностей для обработки географической информации была осознана в 60–70-е гг. XX в. Тогда реализация идеи требовала огромных программно-аппаратных ресурсов и была под силу лишь очень крупным заказчикам, таким, как, например, государственное ведомство в лице министерства обороны (об этом мы будем говорить в модуле 3). Ситуация коренным образом поменялась с середины 90-х гг., так как в это время на рынке появляются мощные, относительно дешевые ПК, дешевеет и становится более понятным программное обеспечение, пользователи становятся более подготовленными. Эти факторы послужили отправной точкой для интенсивного распространения геоинформационных технологий.

Большинство задач для ГИС можно решить просто, без компьютерного анализа или моделирования. Однако печатать текст можно и на печатной машинке, а мы сейчас предпочитаем использовать компьютер. Это очень удобно, быстро, эффективно. Обычно человек подходит к ГИС незаметно для себя. Все начинается с использования распространенных графических редакторов, таких как Photoshop, CorelDraw, Illustrator. В процессе работы становится ясно, что на нашу схему или тематический слой нужно разместить дополнительные данные из других источников (как нанести изображение на контурную карту). Для та-

ких операций требуется единое координатное пространство. Это является первым шагом к использованию определенных систем координат и картографических проекций (подробнее в теме 3). На следующем этапе возникает необходимость составлять и делать запросы по атрибутивной информации. Простейшие запросы можно делать в графических редакторах, например, найти все полиномы площадью больше чем 50 км². Но часто существует потребность в более сложных запросах, таких, как отметить все офисные многоэтажные здания, построенные из бетонных блоков, или найти нужную улицу на карте. Как только вы начали формировать подобного рода задачи, вы становитесь потенциальным пользователем ГИС.

С одной стороны, применение ГИС для обработки и анализа пространственной информации в различных областях жизнедеятельности способствует возникновению междисциплинарных понятий и методов. С другой стороны, развитие самой геоинформатики приводит к организации внутренних (собственных) требований к объектам изучения, что приводит к определенным ограничениям методов, используемых в конкретных дисциплинах (строительстве, геологии, биологии и т.д.). Такая ситуация создает атмосферу живого общения людей, которые занимаются различной деятельностью (иногда очень разной), но объединенных геоинформационным подходом к работе или исследованиям.

1.2. Основополагающие понятия и термины

Геоинформационные технологии – бурно развивающееся направление современных информационных технологий. По этой причине пока нельзя говорить о существовании общепринятой терминологии в этой отрасли знаний. Достаточно привести многочисленные определения ГИС, предложенные разными авторами, чтобы понять, насколько еще молода эта сфера деятельности.

Итак:

ГИС – это “внутренне позиционированная автоматизированная пространственная информационная система, создаваемая для управления данными, их картографического отображения и анализа”. (Berry J.)

Данное определение не совсем полное, поскольку не учитывает человека, как элемент информационной системы. Человек в любой информационной системе занимает важное место – это и наблюдатель, и эксперт, и аналитик. Очень часто исследователи в области геоинформатики для акцентирования роли человека в ГИС используют словосочетание “человеко-машинный комплекс”.

ГИС – это “аппаратно-программный человеко-машинный комплекс, обеспечивающий сбор, обработку, отображение и распространение пространственно-координированных данных, интеграцию данных и знаний о территории для их эффективного использования при решении научных и прикладных географических задач, связанных с инвентаризацией, анализом, моделированием, прогнозированием и управлением окружающей средой и территориальной организацией общества”. (Кошкарев А.В.)

ГИС – это “система, состоящая из людей, а также технических и организационных средств, которые осуществляют сбор, передачу, ввод и обработку

данных с целью выработки информации, удобной для дальнейшего использования в географическом исследовании и для ее практического применения”. (Konecny M.)

ГИС – это “комплекс аппаратно-программных средств и деятельности человека по хранению, манипулированию и отображению географических (пространственно соотнесенных) данных”. (Abler R.)

ГИС – это “динамически организованное множество данных (динамическая база данных или банк данных), соединенное с множеством моделей, реализованных на ЭВМ для расчетных, графических и картографических преобразований этих данных в пространственную информацию в целях удовлетворения специфических потребностей определенных пользователей в пределах структуры точно определенных концепций и технологий”. (Degani A.)

ГИС – это: "система, включающая базу данных, аппаратуру, специализированное матобеспечение и пакеты программ, предназначенных для расширения базы данных, для манипулирования данными, их визуализации в виде карт или таблиц и, в конечном итоге, для принятия решений о том или ином варианте хозяйственной деятельности". (Lillesand T.)

ГИС – это: "реализованное с помощью автоматических средств (ЭВМ) хранилище системы знаний о территориальном аспекте взаимодействия природы и общества, а также программного обеспечения, моделирующего функции поиска, ввода, моделирования и др." (Трофимов А.М., Панасюк М.В.)

ГИС – это интегрированная компьютерная система, находящаяся под управлением специалистов-аналитиков, которая осуществляет сбор, хранение, манипулирование, анализ, моделирование и отображение пространственно соотнесенных данных (см. рис.1.4).

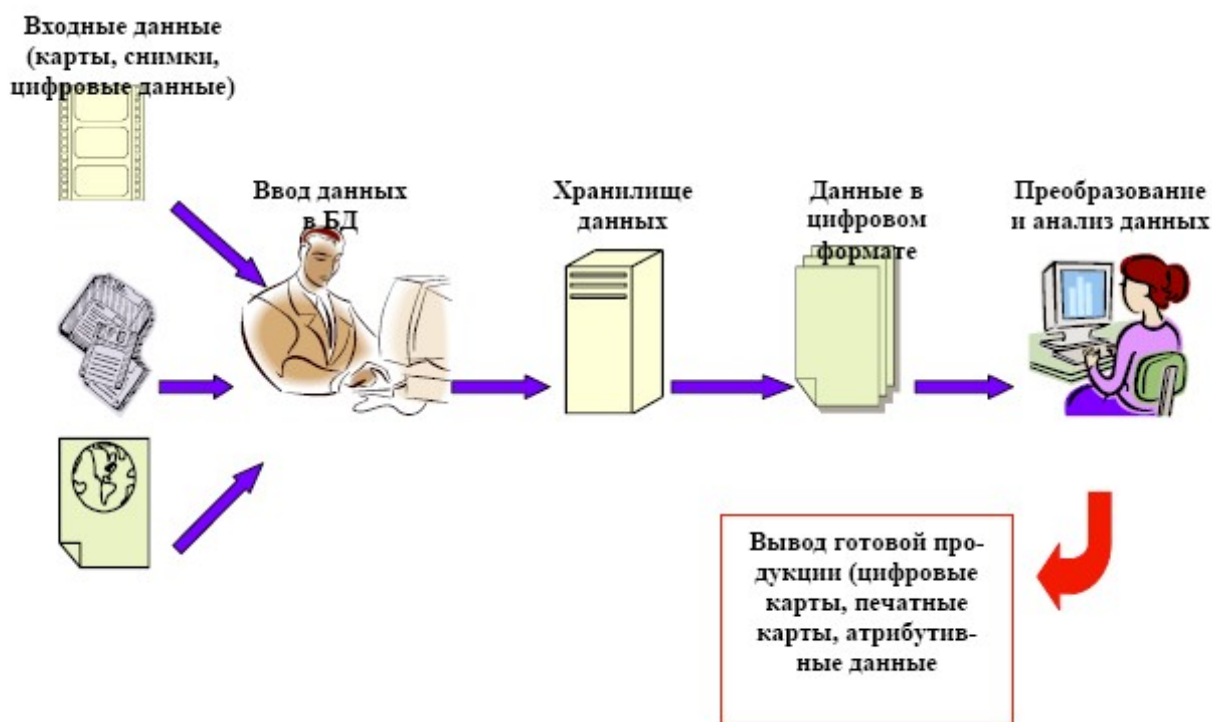


Рис. 1.4. Схема геоинформационной системы.

Как видно, определений ГИС много, но каждое из них является верным. Отличие их лишь в широте охвата рассматриваемой проблемы. Кроме того, часто будут встречаться следующие термины:

Карта – (Map, Chart, нем. Karte, фр. Carte, от греч. Chartes - лист, свиток) – плоское, математически определенное, уменьшенное, генерализованное условно-знаковое изображение поверхности Земли, другого небесного тела или космического пространства, показывающее размещение, свойства и связи природных и социально-экономических явлений. Карта рассматривается как образно-знаковая модель, обладающая высокой информативностью, пространственно-временным подобием относительно оригинала, метричностью, особой обзорностью и наглядностью, что делает ее важнейшим средством познания в науках о Земле и социально-экономических науках.

Чтение карты – восприятие карты (визуальное, тактильное или автоматическое), основанное на распознавании картографических образов, истолковании и понимании ее содержания. Эффективность чтения карты зависит от читаемости карты, т.е. от легкости и быстроты восприятия отдельных обозначений, картографических образов и всего изображения в целом. В свою очередь, читаемость определяется наглядностью условных знаков, качеством оформления карты, общей загруженностью карты, различимостью деталей изображения.

Цифровая карта – (Numerical map, Digital map, нем. Numerische karte) – цифровая модель поверхности, сформированная с учетом законов картографической генерализации в принятых для карт проекции, разграфке, системе координат и высот. По сути, термин “цифровая карта” означает именно цифровую модель, цифровые картографические данные. Цифровая карта создается с полным соблюдением нормативов и правил картографирования, точности карт, генерализации, системы условных обозначений. Цифровая карта служит основой для изготовления обычных бумажных, компьютерных, электронных карт, она входит в состав картографической базы данных, является одним из важнейших элементов информационного обеспечения ГИС и одновременно может быть результатом функционирования ГИС.

Компьютерная карта – карта, полученная на устройстве графического вывода с помощью средств автоматизированного картографирования (графопостроителей, принтеров, дигитайзеров и др. на бумаге, пластике, фотопленке и иных материалах) или с помощью геоинформационной системы. Иногда к компьютерной карте относят также карты, изготовленные на неспециализированных приборах, например, на алфавитно-цифровых печатных устройствах, так называемые ЭВМ-карты или АЦПУ-карты.

ГИС-технологии – технологическая основа создания географических информационных систем, позволяющая реализовать их функциональные возможности.

Геоинформационный анализ – анализ размещения, структуры, взаимосвязей объектов и явлений с использованием методов пространственного анализа и геомоделирования.

Функциональные возможности ГИС – набор функций географических информационных систем и соответствующих программных средств:

- ввод данных в машинную среду путем импорта из существующих наборов цифровых данных или с помощью оцифровки источников;
- преобразование данных, включая конвертирование данных из одного формата в другой, трансформацию картографических проекций, изменение систем координат;
- хранение, манипулирование и управление данными во внутренних и внешних базах данных;
- картометрические операции;
- средства персональных настроек пользователей.

Геоинформатика – наука, технология и производственная деятельность: по научному обоснованию, проектированию, созданию, эксплуатации и использованию географических информационных систем;

- по разработке геоинформационных технологий;
- по прикладным аспектам или приложениям ГИС для практических или геонаучных целей.

Геоматика — это совокупность применений информационных технологий, мультимедиа и средств телекоммуникации для обработки данных, анализа геосистем, автоматизированного картографирования; также этот термин употребляется как синоним геоинформатики или геоинформационного картографирования.

Цифровое покрытие (слой, тема) – семейство однотипных (одной мерности) пространственных объектов, относящихся к одному классу объектов в пределах некоторой территории и в системе координат, общих для набора слоев. По типу объектов различают точечные, линейные и полигональные цифровые покрытия.

Пространственный объект (графический примитив) – цифровое представление объекта реальности (цифровая модель местности), содержащее его местоуказание и набор свойств, характеристик, атрибутов или сам этот объект. Выделяют четыре основных типа пространственных объектов: 1) точечные, 2) линейные, 3) площадные (полигональные), контурные и 4) поверхности.

1.3. Эволюция ГИС

История ГИС берет своё начало с конца пятидесятих годов прошлого столетия. За пятьдесят лет пройдено несколько этапов, позволивших создать самостоятельно функционирующую сферу – сферу геоинформационных технологий. Основные достижения в геоинформационной картографии были, к сожалению, получены в США, Канаде и Европе, а не в России. Россия и бывший СССР не участвовали в мировом процессе создания и развития геоинформационных технологий вплоть до середины 1980-х годов. Тем не менее, наша страна имеет свой, пусть небольшой, опыт развития геоинформационных систем и технологий.

В истории развития геоинформационных систем выделяют четыре периода:

Новаторский период (поздние 1950е - ранние 1970е гг.)

- исследование принципиальных возможностей информационных систем, пограничных областей знаний и технологий, наработка эмпирического опыта, первые крупные проекты и теоретические работы.

Период государственного влияния (ранние 1970е - ранние 1980е гг.)

- развитие крупных геоинформационных проектов, финансируемых государством, формирование государственных институтов в области геоинформатики, снижение роли и влияния отдельных исследователей и небольших групп.

Период коммерциализации (ранние 1980е - настоящее время)

- широкий рынок разнообразных программных средств, развитие настольных инструментальных ГИС, расширение области их применения за счет интеграции с базами атрибутивных данных, создание сетевых приложений, появление значительного числа непрофессиональных пользователей, организация систем, поддерживающие индивидуальные наборы данных на отдельных компьютерах и поддерживающим корпоративные и распределенные базы геоданных.

Период потребления (поздние 1980е - настоящее время)

- повышенная конкурентная борьба среди коммерческих производителей геоинформационных технологий и услуг дает преимущества пользователям ГИС, доступность и “открытость” программных средств позволяет пользователям самим настраивать, адаптировать, использовать и даже модифицировать программы, появление пользовательских “клубов”, телеконференций, территориально разбросанных, но связанных единой тематикой пользовательских групп, возросшая потребность в географических данных, начало формирования геоинформационной инфраструктуры планетарного масштаба.

Несколько слов сказать об организациях, проектах и исследователях, сыгравших ключевую роль в развитии ГИС.

В конце 60-х Бюро переписи США разработало формат GBF-DIME (Geographic Base File, Dual Independent Map Encoding). В этом формате впервые была реализована схема определения пространственных отношений между объектами, называемая топологией, которая описывает, как линейные объекты на карте взаимосвязаны между собой, какие площадные объекты граничат друг с другом, а какие объекты состоят из соседствующих элементов. Впервые были пронумерованы узловые точки, впервые были присвоены идентификаторы площадям по разные стороны линий. Это было революционное нововведение. Формат GBF-DIME позже трансформировался в TIGER. Важными лицами этого процесса явились математик Джеймс Корбетт (James Corbett), программисты Дональд Кук (Donald Cooke) и Максфилд (Maxfield). Карты в формате GBF-DIME в течение 70х годов были сформированы для всех городов Соединенных Штатов. Эту технологию по сегодняшний день использует множество современных ГИС.

Многие важные идеи, касающиеся ГИС, возникли в стенах Лаборатории компьютерной графики и пространственного анализа Гарварда. Из этой лаборатории вышло несколько ключевых фигур ГИС индустрии: это Говард Фишер (Howard Fisher) – основатель лаборатории и программист Дана Томлин (Dana Tomlin), заложившая основы картографической алгебры, создав знаменитое се-

мейство растровых программных средств Map Analysis Package - MAP, PMAP, aMAP.

Наиболее известными и хорошо зарекомендовавшими себя программными продуктами Гарвардской лаборатории являются:

- SYMAP (система многоцелевого картографирования);
- CALFORM (программа вывода картографического изображения на плоттер);
- SYMVU (просмотр перспективных (трехмерных) изображений);
- ODYSSEY (предшественник знаменитого ARC/INFO).

Большое влияние на развитие ГИС-технологий оказали теоретические разработки в области географии и пространственных взаимоотношений, а также в развитие количественных методов в географии в США, Канаде, Франции, Англии, Швеции (работы У.Гаррисона (William Garrison), Т.Хагерстранда (Torsten Hagerstrand), Г.Маккарти (Harold McCarty), Я.Макхарга (Ian McNarg)).

В завершении этого краткого экскурса в историю ГИС отметим старейшие компании, основанные в 1969 году, которые являются и по сей день крупнейшими разработчиками ГИС – это ESRI и Intergraph. Эти две компании являются производителями самых популярных в США и в мире геоинформационных систем – так, вдвоем они производят ровно половину ГИС, используемых в США. Начиная с 90-х гг. прошлого столетия, эти фирмы активно осваивают российский рынок ГИС.

1.4. Сферы применения ГИС

В настоящее время геоинформационные технологии проникли практически во все сферы жизни. Отметим основные:

- Экология и природопользование
- Земельный кадастр и землеустройство
- Морская, авиационная и автомобильная навигация
- Управление городским хозяйством
- Региональное планирование
- Маркетинг
- Демография и исследование трудовых ресурсов
- Управление дорожным движением
- Оперативное управление и планирование в чрезвычайных ситуациях
- Социология и политология

Кроме того, ГИС используются для решения разнородных задач, таких как:

- обеспечение комплексного и отраслевого кадастра;
- поиск и эффективное использование природных ресурсов;
- территориальное и отраслевое планирование;
- контроль условий жизни населения, здравоохранение, социальное обслуживание, трудовая занятость;
- обеспечение деятельности правоохранительных органов и силовых структур;
- наука и образование;

- картографирование.

На рис.1.5 представлены связи ГИС с другими дисциплинами.



Рис.1.5. Связь ГИС с научными дисциплинами и технологиями.

Специалисты, работающие в области ГИС и геоинформационных технологий, занимаются следующим:

- накоплением первичных данных;
- проектированием баз данных;
- проектированием ГИС;
- планированием, управлением и администрированием геоинформационных проектов;
- разработкой и поддержкой ГИС;
- маркетингом и распространением ГИС-продукции и геоданных;
- профессиональным геоинформационным образованием и обучением ГИС-технологиям.

1.5. Базовые компоненты ГИС

Любая ГИС включает в себя следующие компоненты:

- аппаратная платформа (hardware),
- программное обеспечение (software),
- данные (data),
- человек-аналитик.

Аппаратная платформа в свою очередь состоит из следующих частей:

- компьютеры (рабочие станции, ноутбуки, карманные ПК),
- средства хранения данных (винчестеры, компакт-диски, дискеты, флэш-память),
- устройства ввода информации (дигитайзеры, сканеры, цифровые камеры и фотоаппараты, клавиатуры, компьютерные мыши),

- устройства вывода информации (принтеры, плоттеры, проекторы, дисплеи).

Сердцем любой ГИС являются используемые для анализа данные. Устройства ввода позволяют конвертировать существующую географическую информацию в тот формат, который используется в данной ГИС. Географическая информация включает в себя бумажные карты, материалы аэрофотосъемок и дистанционного зондирования, адреса, координаты объектов собранные при помощи систем глобального позиционирования GPS (Global Position System), космических спутников или цифровой географической информации, хранимой в других форматах.

Приведем несколько примеров аппаратных платформ, которые могут быть использованы в ГИС. Самая простая и недорогая конфигурация ГИС-платформы, которая может быть установлена дома либо в небольшом офисе включает в себя компьютер и лазерный либо струйный принтер (черно-белый). Если же ГИС предназначена для создания высококачественных профессиональных цифровых карт, тогда аппаратная платформа может быть представлена следующими компонентами: высокопроизводительный компьютер, мощный сервер, современный дигитайзер, быстродействующие цветные лазерные принтеры и плоттеры.

Если говорить о программном обеспечении ГИС, то следует отметить, что большинство программных пакетов обладают схожим набором характеристик, такими как, послойное картографирование, маркирование, кодирование геоинформации, нахождение объектов в заданной области, определение разных величин, но очень сильно различаются в цене и функциональности. Выбор программного обеспечения зависит от конкретных прикладных задач, решаемых пользователем. Для примера приведем список, содержащий названия фирм и ПО, которое они выпускают, табл.1.1.

Таблица 1.1.

ГИС Software и компании

Фирма-производитель	Software
MapInfo	MapInfo Pro
ESRI	ArcView, Arc/INFO
Autodesk GmbH	AutoCAD MAP, AutoCAD Land Development, Autodesk MapGuide R5, AutoCAD Map 2000
Caliper	Maptitude
Integrgraph	GeoMedia
Tactician	Tactician
Geograph	ГеоГраф ГИС 2.0
КРЕДО-Диалог	CREDO

В установленной ГИС затраты на оборудование и ПО составляют лишь малую часть от затрат на приобретение и обработку данных. Обычно поставщики географических и атрибутивных данных предоставляют информацию о формате данных, дате их получения, их источниках, качестве и анализируемости.

1.6. Географические и атрибутивные данные

Как уже отмечалось, ГИС нацелена на совместную обработку информации двух типов:

1. **географическая** (пространственная, картографическая) информация;
2. **атрибутивная** (непространственная, семантическая, тематическая, описательная, табличная) информация.

Географическая информация в ГИС представлена данными, описывающими пространственное месторасположение объектов (координаты, элементы графического оформления). Данные находятся в цифровой форме на магнитных лентах, магнитных, оптических и “жестких” дисках и служат для визуализации картины в той или иной модели данных.

Атрибутивная информация в ГИС – это данные, описывающие качественные или количественные параметры пространственно соотнесенных объектов.

Так, например, жилая постройка на дисплее может быть представлена в виде полигона (графическая составляющая), а в атрибутивной базе данных будет содержаться информация об ее площади, почтовом адресе, количестве этажей, материале стен, типе фундамента, годе постройки и т.д., рис. 1.6.

В геоинформационной системе присутствует подсистема управления как географической, так и атрибутивной информации. Пространственный анализ, который включает в себя проверку взаимного расположения объектов, установление закономерностей их распределения, нахождение смежных объектов, измерение расстояния и площади и т.д., проводят с опорой на географическую информацию. Функции семантической (непространственной) обработки предназначены для анализа и управления атрибутивной информацией, рис. 1.7.

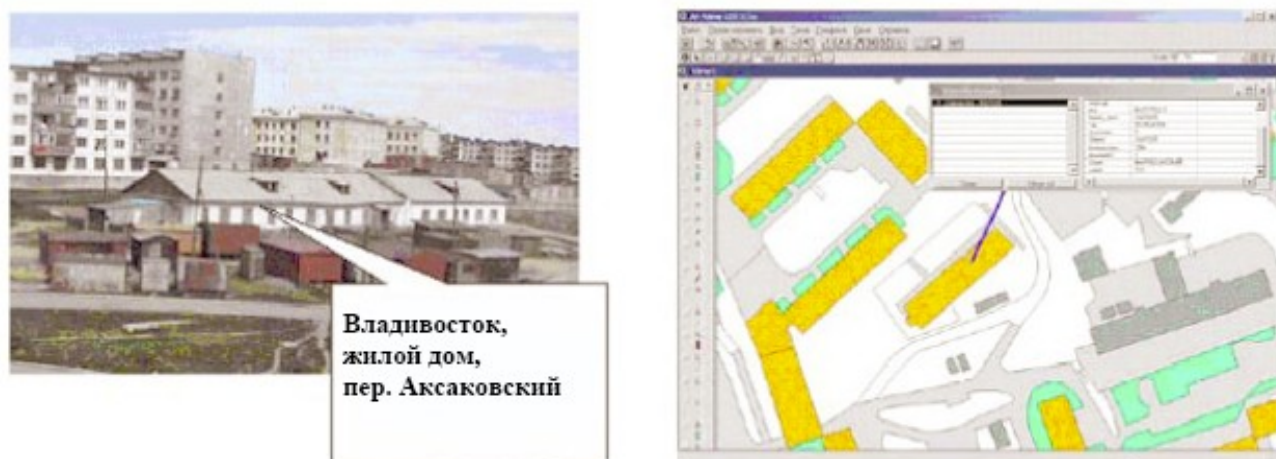


Рис.1.6. Естественный мир и его отображение в ГИС.

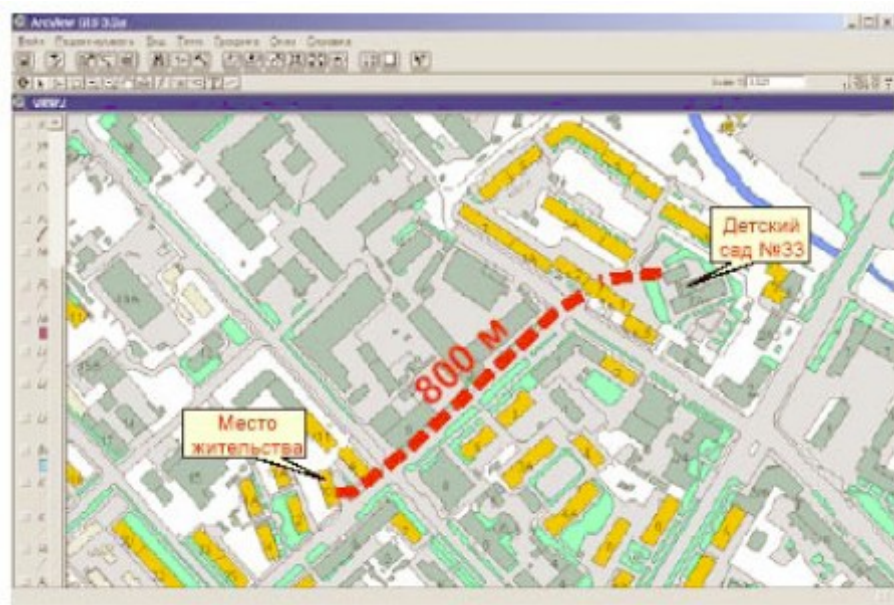


Рис.1.7. Вычисление кратчайшего пути в геоинформационной системе ArcView GIS.

Практически в каждой ГИС имеются средства и инструменты, позволяющие вводить и редактировать информацию, визуально отображать данные – это масштабирование изображений (увеличение или уменьшение), прокрутка, пролистывание или просмотр как слайд-шоу и т.д. В этом процессе не последнее место занимает дружелюбный графический пользовательский интерфейс, предоставляемый современными операционными системами, такими как Windows, Linux, Solaris, – диалоговые окошки, контекстные меню, другие элементы управления (кнопки, переключатели, ползунки и т.д.).

В полнофункциональной ГИС, как и любой информационной системе, имеются развитые средства вывода информации. К таким средствам можно отнести генераторы отчетов, инструменты создания и редактирования тематических карт, различных схем, графиков, легенд, таблиц и диаграмм. Современные ГИС позволяют создавать высококачественные карты, по информативности и технологичности не уступающие, а зачастую превосходящие существующие традиционные бумажные карты.

У многих ГИС имеются встроенные средства разработки приложений, которые используются для адаптации стандартного программного обеспечения с целью решения конкретных задач пользователя. Для этих целей применяются не только специальные языки программирования, но и общераспространенные (C, C#, C++, Delphi, Visual Basic и др.).

1.7. ГИС и цифровая картография

Как уже упоминалось, создание картографической продукции с помощью компьютера можно осуществить разными способами. Существует ряд графических редакторов (CorelDraw, Adobe Illustrator, Adobe InDesign и др.), которые позволяют подготавливать карты со сложным содержанием очень высокого качества. Однако, даже точные картографические изображения, созданные в гра-

фическом редакторе, нельзя именовать геоинформационной системой. Такие изображения называют цифровыми картами (см. раздел 1.2) и рассматривают как составные элементы или результат функционирования ГИС. Очень часто понятие цифровой карты путают с понятием компьютерной карты (см. раздел 1.2).

В то же время далеко не всегда цифровая карта может простым путем войти в состав ГИС, даже если их внешние границы совпадают. Нужно различать цифровую карту, изготовленную для тиражирования на бумагу или пластик, и для ГИС. Обычно выделяют целый ряд признаков, которые позволяют отличать цифровые карты для ГИС от цифрового макета карты для печати, табл.1.2. Из таблицы можно увидеть, что в технологии подготовки цифровой карты для ГИС и макета для печати много принципиальных различий.

Важным признаком ГИС является географическая привязка объектов, что дает возможность пользоваться единым координатным пространством. Трансформирование из одной координатной системы в другую и изменения проекций можно выполнять, опираясь на особенности конечного продукта. Используя жесткую координатную привязку, можно с легкостью управлять одними и теми же слоями или объектами ГИС различного типа и масштабности. В итоге пользователю предоставляют набор деталей, которые можно собирать разными способами, а вид готовой ГИС будет определяться только его творческими способностями.

Другой фундаментальный признак ГИС – это применение аналитической обработки. В этом случае аналитический алгоритм составляется самим пользователем на основании запросов. Выполнив несколько последовательных операций пространственного анализа (буферизацию, объединение, вырезание, наложение), почти всегда можно получить необходимый результат. Далее мы рассмотрим подобные операции более детально и продемонстрируем их работу на примерах.

К одной из наиболее значимых функций ГИС относится возможность моделирования на их основе. В принципе человеку нужно только составить серию запросов: “что произойдет, если...”, и простейшая модель местности или географического объекта готова.

Таблица 1.2.

Отличие цифровой карты для ГИС от цифрового макета карты

Признак	Цифровая карта для ГИС	Цифровой макет карты
Форма хранения и обработки готового продукта на ПК	Набор файлов	Один файл
Координаты объектов	Реальные пространственные или местные	Условные (в пределах отдельного изображения)
Возможность преобразования изображения из одной координатной системы в другую	Да	Нет
Проекционные преобразова-	Да	Нет

ния		
Преобразование из одного формата данных в другой формат	Да	Сложно, так как трансформация сложных графических примитивов приводит к потере данных
Топологическая корректность	В большинстве случаев да	Нет
Модель представления данных	Векторная и растровая	Векторная и растровая
Форматы представления данных	Графические примитивы и атрибутивная информация в виде баз данных	Графические примитивы
Графические примитивы	Точки, линии, полигоны	Точки, линии, полигоны, текст, фигуры и группы объектов (комбинация точек, линий, полигонов и фигур)
Структура графических объектов	Несколько слоев	Может быть как несколько, так и один слой
Легенда	Как инструмент управления визуализацией объекта	Как часть карты в виде группы графических объектов
Координатная привязка объектов	Точная	Используются выноски и смещения объектов, тем самым повышая наглядность
Подписи	Атрибут к графическим примитивам	Являются графическим объектом
Пространственные запросы	Да	Нет
Справочно-информационные запросы	Да	Только по элементам оформления карты
Моделирование	Да	Нет
Получение атрибутивной информации	Таблицы, графики и диаграммы	Нет
Возможность соединения соседних изображений	Стандартная операция	Трудоемкая ручная операция
Обработка фрагмента изображения	Да	Не всегда
Масштабирование изображений	Да	Да
Использование пространственных запросов и моделирования для создания принципиально нового изображения графических объектов	Да	Нет
Реализация тематических карт, используя включение/отключение слоев	Да	Да

и объектов		
Соблюдение стандартов представления бумажных карт	Не обязательно, чаще нет	Да
Компоновка изображения для печати	Да	Да

1.8. Аппаратная платформа ГИС

Закономерным вопросом начинающего пользователя является фраза типа: “Какие программы и оборудование мне необходимы, чтобы работать с геоинформационной системой?” И в самом деле, на начальных этапах развития ГИС для сопровождения геоинформационных проектов требовалась очень мощная и дорогостоящая аппаратура. Такая ситуация продолжалась приблизительно до конца 90-х гг. XX в. Прогресс в развитии персональных компьютеров радикально изменил положение дел. Сейчас практически на любом современном ПК можно организовать рабочее место пользователя ГИС. В настоящее время ГИС работают на различных типах компьютерных платформ, от централизованных серверов до отдельных или связанных сетью персональных компьютеров.

Длительное время ГИС базировались на двух аппаратных платформах – персональных компьютерах (ПК) и рабочих станциях (Workstation). Рассмотрим их более подробно.

ГИС, построенные на базе персональных компьютеров, как правило, представляли собой индивидуальные настольные картографические системы, нацеленные на обработку небольших массивов информации и сравнительно недорогие по стоимости. ПК-платформа использовала микропроцессоры семейства 8086 производства корпорации Intel либо процессоры AMD, Cyrix. Внутренне эти микропроцессоры были основаны на архитектуре CISC (с расширенным набором инструкций). Компьютеры работали под управлением однозадачных операционных систем (MS-DOS, MS Windows), располагали небольшим объемом оперативной памяти (до 32 Мб).

Профессиональные геоинформационные системы строились на основе рабочих станций. На рабочих станциях устанавливали высокопроизводительные микропроцессоры на базе архитектуры RISC (с сокращенным набором инструкций), имели большой объем оперативной памяти (до 512 Мб), высокоразрешающие мониторы с большой диагональю (до 21 дюйма). Рабочие станции работали под управлением многозадачных операционных систем (UNIX, Solaris, VMS, O/S2 и др.).

Технологический рывок, произошедший в производстве персональных компьютеров, изменил ситуацию коренным образом. Увеличение тактовой частоты системной шины, внутренней частоты CPU (процессоров), быстродействия микросхем оперативной памяти и другие изменения в аппаратной базе привели к тому, что современные ПК по производительности не уступают средним офисным рабочим станциям, а по цене дешевле последних на целый порядок. Нет смысла перечислять все технические характеристики компьютеров

сегодняшнего дня, так как происходящие изменения слишком революционны и динамичны.

Кроме качественных изменений в аппаратной базе произошел переход на программное обеспечение для ГИС на основе распространенных операционных систем Microsoft Windows и Linux. Например, начиная с Windows NT, ПО старейшего производителя ГИС – фирмы ESRI – по характеристикам целиком настроено для функционирования на рабочих станциях с операционной системой Unix. Это сильно упростило эксплуатацию геоинформационных систем.

Неотъемлемую часть аппаратной базы для ГИС составляют периферийные устройства вводавывода информации. В начале создания геоинформационных проектов ввод данных осуществлялся с помощью дигитайзеров, рис.1.8. Работа с дигитайзером напоминает работу инженера-чертежника, проводящего линии или ставящего точки, только не на обычной чертежной доске, а на специальном планшете, с помощью которого графические данные вводятся в компьютер. Сейчас подобные операции чаще всего выполняются по отсканированному изображению (по так называемой растровой подложке). Для получения растрового изображения используют специальные устройства – планшетные (настольные) и широкоформатные сканеры. Часто первичную информацию приходится заносить на планшеты или карты довольно большого размера. Подобная операция осуществляется широкоформатными сканерами, рис.1.8. Технология работы по растровой подложке позволяет комбинировать растровые и векторные слои, сильно увеличивает точность и скорость оцифровки. Существует еще несколько преимуществ этой технологии, например, возможность работы одновременно несколькими пользователями, предварительное преобразование растровых изображений и т.д. Все это в итоге привело к развитию набора специализированного ПО для векторизации растров. Многие профессиональные ГИС имеют встроенные векторизаторы, автоматизирующие процесс оцифровки растровых изображений. Многие данные уже переведены в форматы, напрямую воспринимаемые ГИС приложениями.



Рис.1.8. Дигитайзер WACOM и широкоформатный сканер Contex.

Вывод изображения на печать также связан с получением продукции большого формата. Для этого используется еще один компонент периферийно-

го оборудования для ГИС – широкоформатный плоттер, рис.1.9. В настоящее время наиболее распространена струйная технология печати, так как при этом соотношение цена/качество является оптимальным. Мы не будем перечислять технические характеристики существующих плоттеров. Более полную информацию по плоттерам можно найти в Интернете.



Рис.1.9. Плоттер Mimaki CG-60st.

Следует также упомянуть об еще одном компоненте ГИС, который значительно повышает скорость получения и обработки первичной информации карт или полевых наблюдений. Это аппаратура для автоматической регистрации результатов полевых измерений, выполненных с использованием современных электронных тахеометров и геодезических приборов, а также навигационных систем спутникового позиционирования (GPS), рис.1.10.



Рис.1.10. GPS навигатор фирмы Garmin.

В последние годы еще одним незаменимым компонентом ГИС стали карманные персональные компьютеры (Pocket PC), которые позволяют быстро и надежно принимать, обрабатывать, анализировать и передавать пространственную информацию. Преимущества карманных ПК очевидны: малые габариты и вес, многофункциональность, простота использования, относительная дешевизна, рис.1.11.



Рис.1.11. Карманный ПК Compaq, применяемый для сбора и анализа ГИС данных.

Следует отметить, что достижения последних лет в микроэлектронике практически не отразились на стоимости профессиональных широкоформатных картографических сканеров, плоттеров и некоторого другого периферийного оборудования. По-прежнему это один из самых дорогостоящих элементов аппаратного обеспечения ГИС.

1.9. Типология ГИС

Геоинформационные системы можно классифицировать по разным признакам и характеристикам, но при этом нужно учитывать тот факт, что жесткая конкурентная борьба между основными производителями специализированного ПО ведет к совершенствованию ГИС от версии к версии. Исходя из этого, критерии оценки систем крайне условны и справедливы лишь в течение какого-то определенного временного интервала.

Классификацию ГИС в зависимости от реализации на конкретной аппаратной базе мы уже говорили выше.

Наиболее существенная классификация на сегодняшний день – это классификация по функциональным возможностям. В соответствии с ней ГИС подразделяются на:

- профессиональные, нацеленные на обработку больших массивов информации на высокопроизводительных компьютерах и вычислительных сетях и предназначенные для серьезных научных исследований, руководства целыми отраслями или крупными территориями (государствами, мегаполисами, городами). Наиболее выделяющиеся среди них программные продукты фирм ESRI, INTERGRAPH, AutoDesk, SIMENS NIXDORF, GDS и др.;
- настольные, имеющими по сравнению с первыми меньшую производительность и используемыми для решения прикладных научных задач, задач оперативного управления и планирования. Среди них можно отметить такие

продукты, как MapInfo Professional, ArcView, WinGIS, Atlas GIS, Credo, ГИС-Конструктор и т.д., рис.1.12.;

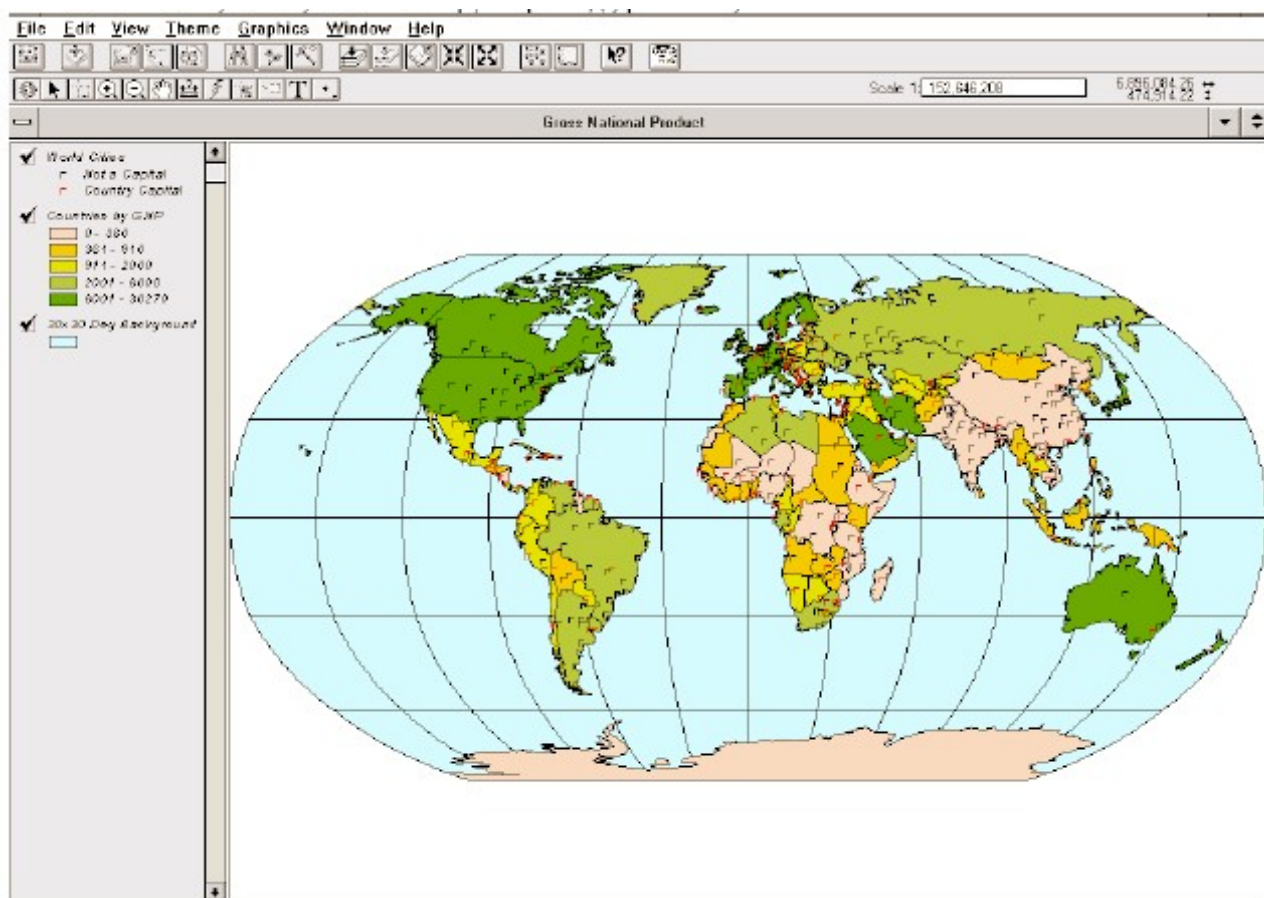


Рис.1.12. Окно программы ArcView GIS.

- выюверы (viewer), электронные атласы, т.е. простые недорогие системы для информационно-справочного использования. Программные продукты этого класса лишены возможности редактирования информации и предназначены в основном для поиска и визуального отображения информации, подготовленной в профессиональных или настольных ГИС. Представителями этого рода программных продуктов являются ArcExplorer (ESRI), M-City (информационно-справочная система с картой г. Москвы), Владивосток (Адресный план города). Программа позволяет проводить масштабирование и измерения расстояний, осуществлять поиск объектов (улицы, постройки, районы), получать описательную информацию об объектах.

Кроме того ГИС можно классифицировать по типам представления географической информации. Выделяют два типа ГИС, в которых используются разные модели представления данных:

- ГИС на основе растровой модели представления данных (регулярно-ячееистое представление и квадротомическое представление). В таких ГИС цифровое представление географических объектов формируется в виде совокупности ячеек растра (пикселей) с присвоенным им значением класса объекта, рис.1.13.;

1	1	1	3	3	3	3	3	3
1	1	1	3	3	3	3	3	3
1	1	2	2	2	2	3	3	3
1	1	2	2	2	2	2	3	3
1	2	2	2	2	2	3	3	3
3	3	3	2	2	2	3	3	3
3	3	3	3	2	3	3	3	3
3	3	3	3	3	3	3	3	3

Рис.1.13. Пример структуры, описываемой растровой моделью. 1 – жилой район, 2 – водоем, 3 – сельскохозяйственные земли.

- ГИС на основе векторной модели представления данных (векторно-топологическое представление и векторно-нетопологическое). В этом случае цифровое представление точечных, линейных и полигональных пространственных объектов осуществляется в виде набора координатных чисел, рис.1.14.

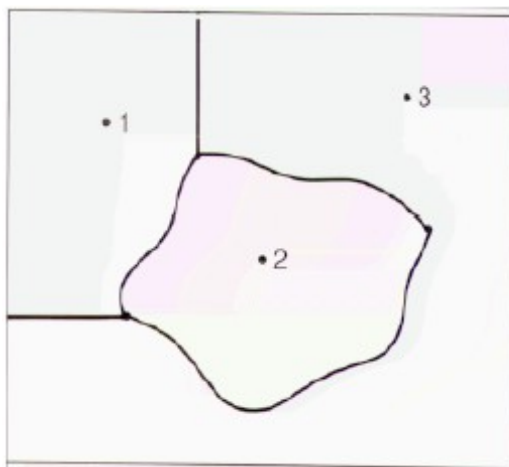


Рис.1.14. Пример структуры, описываемой векторной моделью. 1 – жилой район, 2 – водоем, 3 – сельскохозяйственные земли.

Следует отметить, что современные геоинформационные системы обычно работают как с векторной, так и с растровой моделями представления данных. Стоит лишь говорить о более развитой инструментарии для обработки векторной или растровой графики. Довольно часто растровые данные конвертируют в векторный формат, рис.1.15.

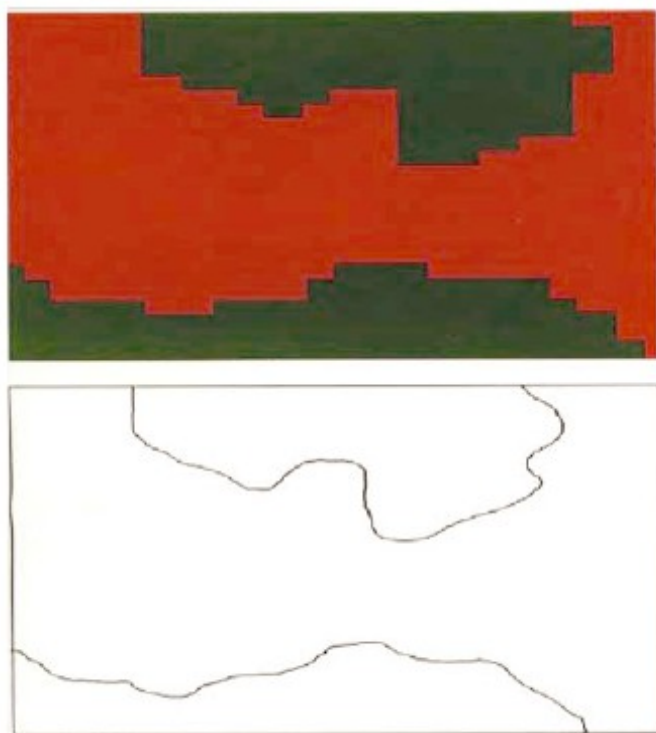


Рис.1.15. Увеличенное изображение данных ГИС файла. На верхнем рисунке данные описаны растровой моделью, на нижнем те же данные перекодированы в векторный формат.

Рассмотрим преимущества растровой и векторной моделей.

Растровая модель:

1. Картографические проекции просты и точны, т.е. любой объект неправильной формы описывается с точностью до одной ячейки растра.
2. Непосредственное соединение в одну картину снимков дистанционного зондирования (спутниковые изображения или отсканированные аэрофотоснимки).
3. Поддерживает большое разнообразие комплексных пространственных исследований.
4. Программное обеспечение для растровых ГИС легче освоить и оно более дешевое, чем для векторных ГИС.

Векторная модель:

1. Хорошее визуальное представление географических ландшафтов.
2. Топология местности может быть детально описана, включая телекоммуникации, линии электропередач, газо- и нефтетрубопроводы, канализационную систему.
3. Превосходная графика, методы которой детально моделируют реальные объекты.
4. Отсутствие растеризации (зернистости) графических объектов при масштабировании зоны просмотра.

Для растровой ГИС приняты следующие фундаментальные термины:

Разрешение – минимальная размерность по одной из координатных осей наименьшего элемента географического пространства, для которого могут быть

приведены какие-либо данные. В растровой модели данных элементарным объектом для большинства систем выступает квадрат или прямоугольник. Такие единицы именуют как сетка, ячейка или пиксель. Множество ячеек образует решетку, растр, матрицу.

Площадная Зона – набор соседствующих местоположений одинакового свойства. Термин класс (или район) часто используют в отношении всех само-бытных зон, которые имеют одинаковые параметры. Главными компонентами зоны являются ее значение и местоположения.

Значение – это единица информации, хранящаяся в теме (слое) для каждой точки или пикселя объекта



Рис.1.16. Пример слоев, составленных из дуг и узлов.

Двумерные объекты

- Область – определяется как ограниченный непрерывный объект, который может иметь либо нет собственную границу.
- Внутренняя область – это область, которая не имеет собственную границу.
- Полигон (син. многоугольник, полигональный объект, контур, контурный объект, область) – двумерный (площадной) объект, у которого внутренняя область образована замкнутой последовательностью дуг в векторно-топологических представлениях. Совокупность полигонов образует полигональный слой.

- Пиксель – это самый малый неделимый элемент изображения.

Трехмерные объекты

- Объемная фигура – геометрическое тело (куб, параллелепипед, сфера), имеющее три измерения (длину, ширину, высоту).

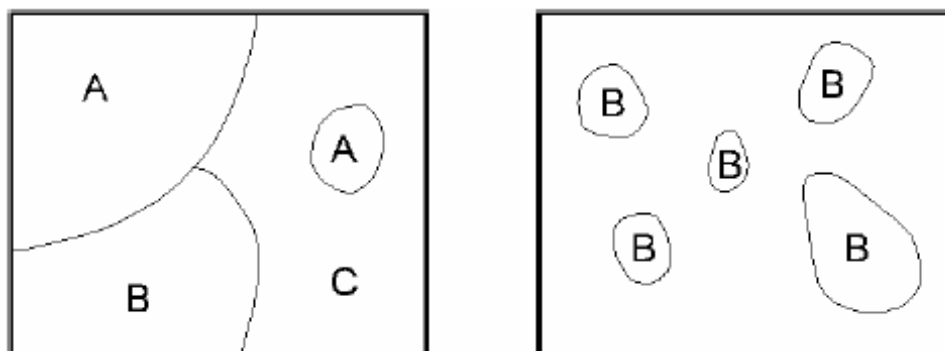


Рис.1.17. Пример слоев, составленных из объектов полигонального типа

Каждому индивидуальному объекту сопоставляется свой уникальный указатель, называемый идентификатором (ID). Обычно, идентификатор – это формальный номер, приписываемый пространственному объекту слоя. ID может присваиваться автоматически или назначаться пользователем и служит для связи позиционной и непозиционной части пространственных данных.

В реальном мире точки представляют собой населенные пункты, небольшие водоёмы и горные вершины, здания или несколько объектов, расположение которых описывается единственной точкой.

Линиями или дугами являются те реально существующие объекты, которые можно рассматривать как линии. Это может быть дорога, река, линия электропередач или подземные коммуникации, например, водопроводная или канализационная система.

Полигонами обычно обозначают регионы (области, районы, штаты), типы почв, избирательные округа, земельные участки или контуры зданий.

Объемные фигуры задействованы при обозначении каких либо количественных мер объектов (объем водоема, объем добываемого газа, собранный урожай) либо представляют собой объекты (здания) на трехмерных картах (3d-карты).

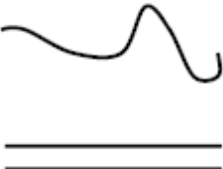
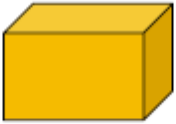
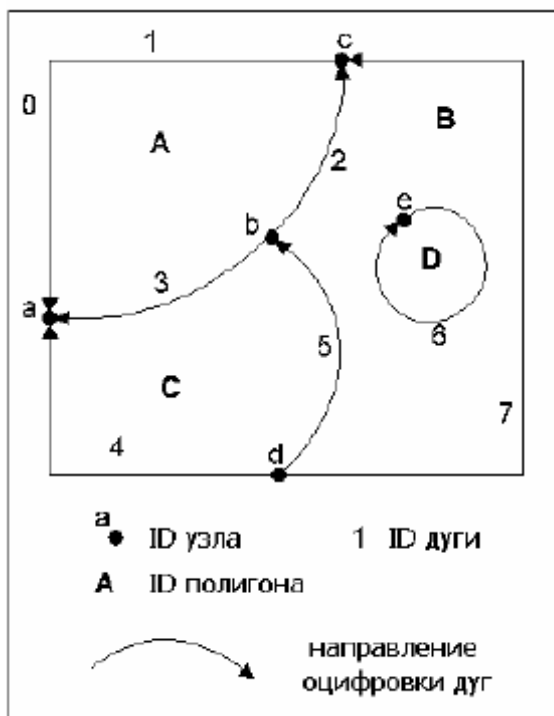
Идентификатор	Точка	Линия, дуга	Полигон	Объем
1 2 3 номер объекта	  город или водоём	 река или дорога	 город или уголья	 урожай или здание

Рис.1.18. Геометрические классы данных.



ID дуги	левый полигон	правый полигон	от узла	до узла
1	A	0	c	a
2	A	B	b	c
3	C	A	b	a
4	0	C	d	a
5	C	B	d	b
6	B	D	e	e
7	B	0	d	c

ID полигона	кол-во дуг	направление дуг
A	3	-1, -2, 3
B	4	2, -7, 5, 0, -6
C	3	-3, -5, 4
D	1	6

Рис.1.19. Взаимосвязи между объектами различных типов.

На рис.1.19. показано топологическое представление векторной информации. Формирование топологии включает определение и кодирование взаимоотношений между точечными, линейными и полигональными объектами.

На рис.1.20. представлено картографическое изображение района Вторая Речка города Владивостока. При формировании этого трехмерного изображения задействованы линии, полигоны и объемные фигуры, обозначающие постройки.



Рис.1.20. Адресный план Второй Речки г. Владивостока.

На следующем рисунке 1.21 показано применение полигональных линий для указания областей, имеющих схожие параметры (изолинии).

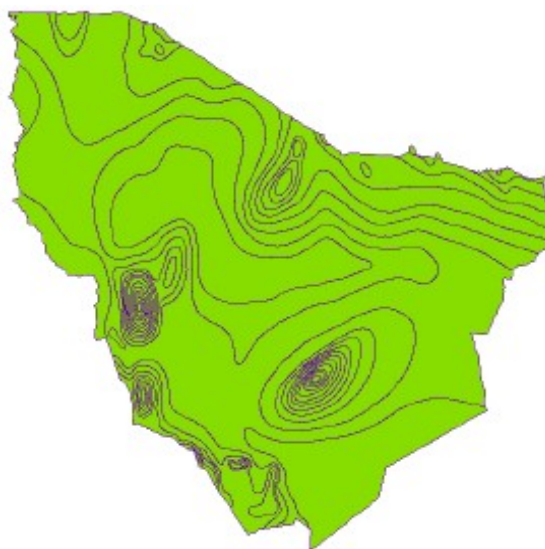


Рис.1.21. Пример использования полигонов для обозначения областей с каким-либо одинаковым свойством.

Очень часто в ГИС задействуется и символьный класс данных. Символы используются в основном для обозначения городов, строений, природных объектов (горные вершины, водные источники, заповедники, места обитания

животных). На рис.1.22. представлена карта местности, в которой для обозначения объектов используются символы.



Рис.1.22. Пример использования символов для обозначения географических объектов.

Кроме представленных выше классификаций, существующие ГИС можно разделять по используемой в системе топологической модели данных:

- без топологической поддержки;
- с объектной топологической поддержкой;
- с линейно-узловой топологической поддержкой.

По принципам внутреннего устройства и функционирования ГИС выделяют открытые (расширяемые) и закрытые системы.

Открытые системы позволяют пользователю адаптировать программную среду для решения его прикладных задач путем создания собственных приложений. Для этого используют широко распространенные языки программирования, такие как C++, C#, Java, Delphi и др. Такие системы поддерживают общепринятые обменные форматы данных (DEM, DLG, GeoTIFF, VPF и др.) и принятые в конкретных операционных средах протоколы взаимодействия приложений (например, ActiveX, OLE, DDE, COM для Windows).

Закрытые системы не имеют этих достоинств. Они изначально нацелены на решение специфических прикладных задач и при изменении хотя бы одного условия задачи становятся бессильными. Помимо этого, зачастую возникают проблемы, связанные с обменом информации между приложениями. Это можно объяснить недостаточной документированностью внутренних форматов цифрового представления данных.

Широкое использование ГИС приводит к множественности типов геоинформационных систем, которые отличаются функциональностью, территориальным охватом, тематикой. Так выделяют несколько видов ГИС, различающихся величиной пространственного охвата и масштабом, табл.1.3.

Таблица 1.3.
Виды ГИС

Виды ГИС	Охват территории, км ²	Масштаб
Глобальные	10^5 - 10^8	1:1000000 1:100000000
Национальные	10^4 - 10^7	1:1000000 1:10000000
Региональные	10^3 - 10^5	1:100000 1:2500000
Муниципальные	10^3	1:1000 1:50000
Локальные (парки, заповедники)	10^2 - 10^3	1:1000 1:100000

Тема 2. Решение аналитических задач в ГИС.

2.1. Модели данных в ГИС

Выбор метода организации данных в геоинформационной системе, и, в первую очередь, модели данных, т.е. способа цифрового описания пространственных объектов, значительно важнее, чем выбор ПО. Это обусловлено тем, что модель данных напрямую определяет многие функциональные возможности создаваемой ГИС и применимость тех или иных технологий ввода. От модели зависит как пространственная точность представления визуальной части информации, так и возможность получения качественного картографического материала и организации контроля цифровых карт. От способа организации данных в ГИС очень сильно зависит производительность системы, например, при выполнении запроса к базе данных или рендеринге (визуализации) на экране монитора.

Ошибки в выборе модели данных могут сказаться решающим образом на возможности реализации в ГИС необходимых функций и расширения их списка в будущем, эффективности выполнения проекта с экономической точки зрения. От выбора модели данных напрямую зависит ценность формируемых баз данных географической и атрибутивной информации.

Уровни организации данных можно представить в виде пирамиды, рис.2.1. Модель данных – это концептуальный уровень организации данных. Рассмотренные в прошлом модуле термины, типа “полигон”, “узел”, “линия”, “дуга”, “идентификатор”, “таблица” как раз относятся к этому уровню, в равной степени, как и понятия “тема” и “слой”.

Более подробное рассмотрение организации данных часто называется структурой данных. В структуре фигурируют математические и программистские термины, такие как “матрица”, “список”, “система ссылок”, “указатель”, “способ сжатия информации”. На следующем по детальности уровне организации данных специалисты имеют дело со структурой файлов данных и их непосредственными форматами. Уровень организации конкретной БД является уникальным для каждого проекта.



Рис.2.1. Уровни организации данных в ГИС.

2.2. Организация и обработка информации в ГИС

ГИС, впрочем, как и любая другая информационная система, обладает развитыми средствами обработки и анализа входящих данных с целью дальнейшей их реализации в вещественной форме. На рис.2.2. представлена схема аналитической работы ГИС. На первом этапе производится “коллекционирование” как географической (цифровые карты, изображения), так и атрибутивной информации. Собранные данные являются наполнением двух баз данных. Первая БД хранит картографические данные, вторая же наполнена информацией описательного характера. На втором этапе система обработки пространственных данных обращается к базам данных для проведения обработки и анализа востребованной информации. При этом весь процесс контролируется системой управления БД (СУБД), с помощью которой можно осуществлять быстрый поиск табличной и статистической информации. Конечно, главным результатом работы ГИС являются разнообразные карты.

Для организации связи между географической и атрибутивной информацией используют четыре подхода взаимодействия. Первый подход – геореляционный или, как его еще называют, гибридный. При таком подходе географические и атрибутивные данные организованы по-разному. Между двумя типами данных связь осуществляется посредством идентификатора объекта. Как видно из рис.2.2., географическая информация хранится отдельно от атрибутивной в своей БД. Атрибутивная информация организована в таблицы под управлением реляционной СУБД.

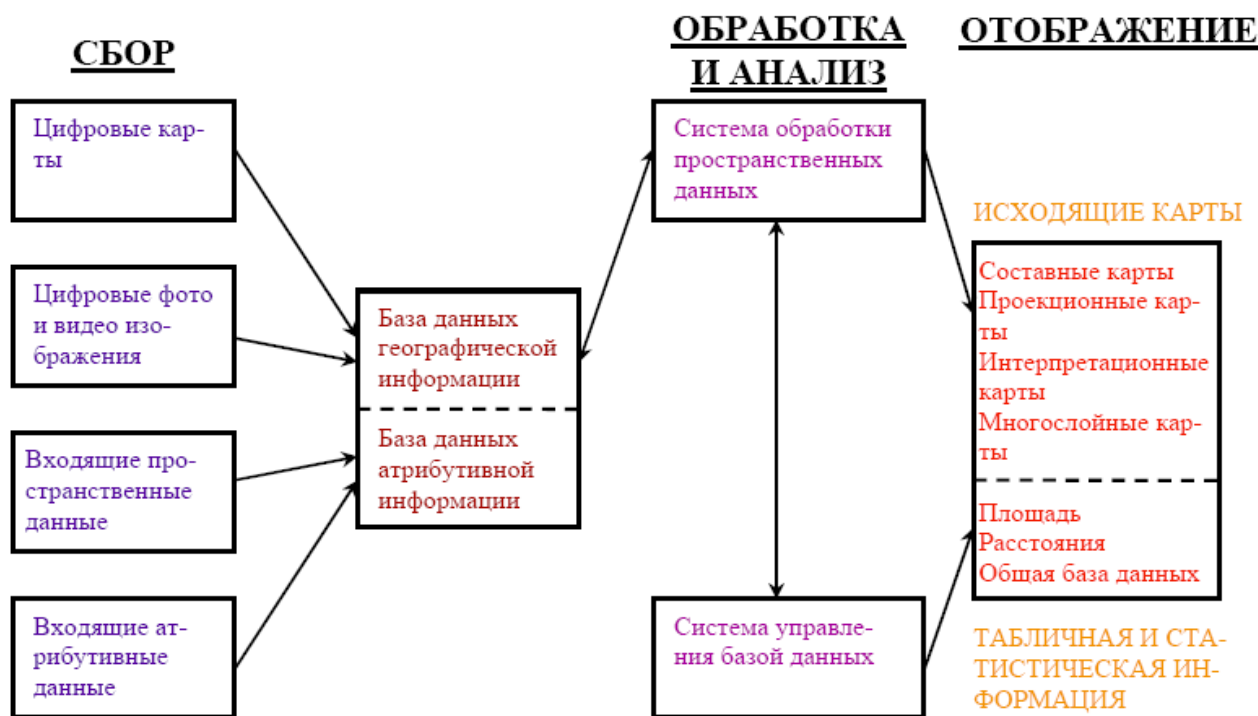


Рис.2.2. Схематическое представление процессов сбора, обработки, анализа и вывода данных ГИС.

Следующий подход называется интегрированным. При этом подходе предусматривается использование средств реляционных СУБД для хранения как пространственной, так и атрибутивной информации. В этом случае ГИС выступает в качестве надстройки над СУБД.

Третий подход называют объектным. Плюсы этого подхода в легкости описания сложных структур данных и взаимоотношений между объектами. Объектный подход позволяет выстраивать иерархические цепочки объектов и решать многочисленные задачи моделирования.

В последнее время самое широкое распространение получил объектно-реляционный подход, являющийся синтезом первого и третьего подходов.

Следует отметить, что в ГИС выделяют несколько форм представления объектов:

- в виде нерегулярной сети точек;
- в виде регулярной сети точек;
- в виде изолиний.

Представление в виде нерегулярной сети точек – это произвольно расположенные точечные объекты в качестве атрибутов имеющие какое-то значение в данной точке поля. Пример такой формы представления данных показан на рис. 2.3.



Рис.2.3. Пример формы представления объектов в виде нерегулярной сети точек.

Представление в виде регулярной сети точек – это равномерно расположенные в пространстве точки достаточной густоты. Регулярную сеть точек можно получать интерполяцией из нерегулярных либо путем проведения измерений по регулярной сети.

Наиболее распространенной формой представления в картографии является представление изолиниями. Недостатком данного представления является то, что обычно нет никакой информации о поведении объектов, находящихся между изолиниями. Данный способ представления является не самым удобным для анализа. На рис.2.4. приведен пример этой формы представления.

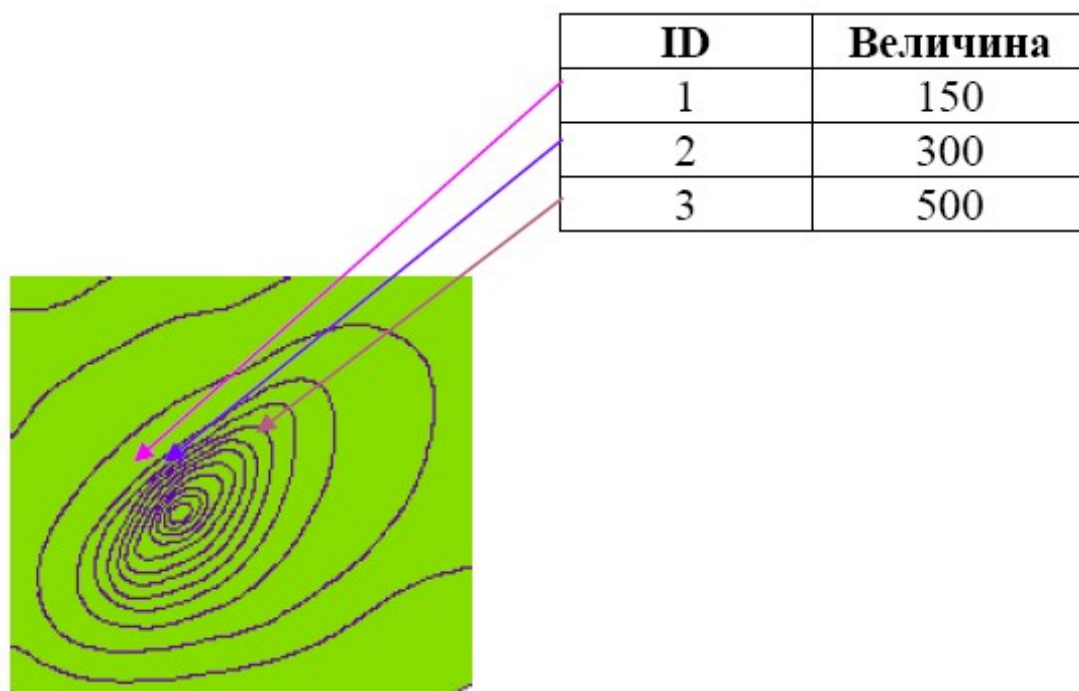


Рис.2.4. Пример формы представления объектов в виде изолиний.

2.3. Модели организации пространственных данных

Самой распространенной моделью организации данных является слоевая модель, рис.2.5. Суть модели в том, что осуществляется деление объектов на тематические слои и объекты, принадлежащие одному слою. Получается так, что объекты отдельного слоя сохраняются в отдельный файл, имеют свою систему идентификаторов, к которой можно обращаться как к некоторому множеству. Как видно из рис.2.5., в отдельные слои вынесены промышленные районы, торговые центры, автобусные маршруты, дороги, участки учета населения. Часто один тематический слой делится еще и по горизонтали – по аналогии с отдельными листами карт. Это делается для удобства администрирования БД и во избежание работы с большими файлами данных.

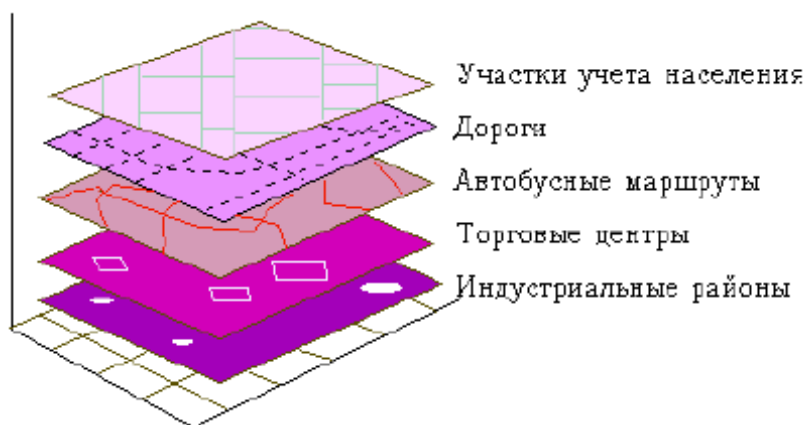


Рис.2.5. Пример слоевой организации данных

В рамках слоевой модели существует две конкретных реализации: векторно-топологическая и векторно-нетопологическая модели. Об основах этих моделей мы говорили в первом модуле, когда рассматривали ГИС на основе векторной модели представления данных.

Первая реализация – векторно-топологическая, рис.2.6. В этой модели есть ограничения: в один лист одного тематического слоя можно поместить объекты не всех геометрических типов одновременно. К примеру, в системе ARC/INFO в одном покрытии можно поместить или только точечные или только линейные, или полигональные объекты, либо их комбинации, исключая случай “точечные + полигональные” и три типа объектов сразу.

Векторно-нетопологическая модель организации данных – это более гибкая модель, но часто в один слой помещаются только объекты одного геометрического типа. Число слоев при слоевой организации данных может быть весьма большим и зависит от конкретной реализации. При слоевой организации данных удобно манипулировать большими группами объектов, представленных слоями как единым целым. Например, можно включать и выключать слои для визуализации, определять операции, основанные на взаимодействии слоев.

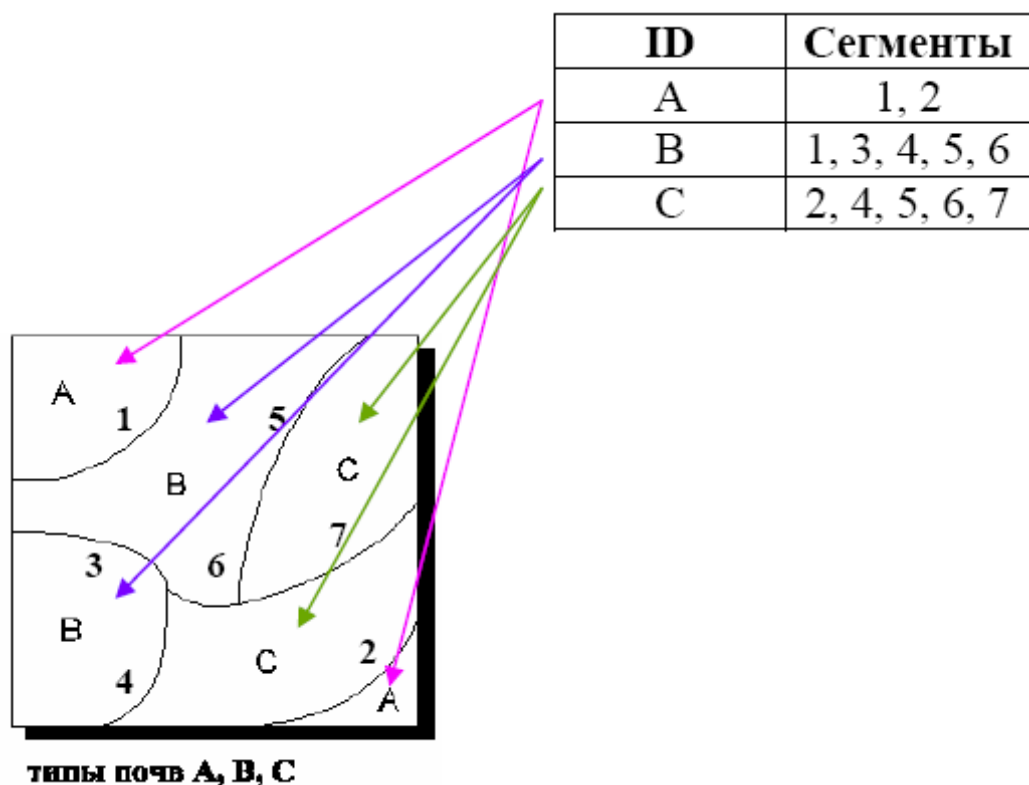


Рис.2.6. Векторно-топологическая модель организации данных.

Следует отметить, что слоевая модель организации данных абсолютно преобладает в растровой модели данных.

Наряду со слоевой моделью используют объектно-ориентированную модель. В этой модели используется иерархическая сетка (топографический классификатор), рис. 2.7.

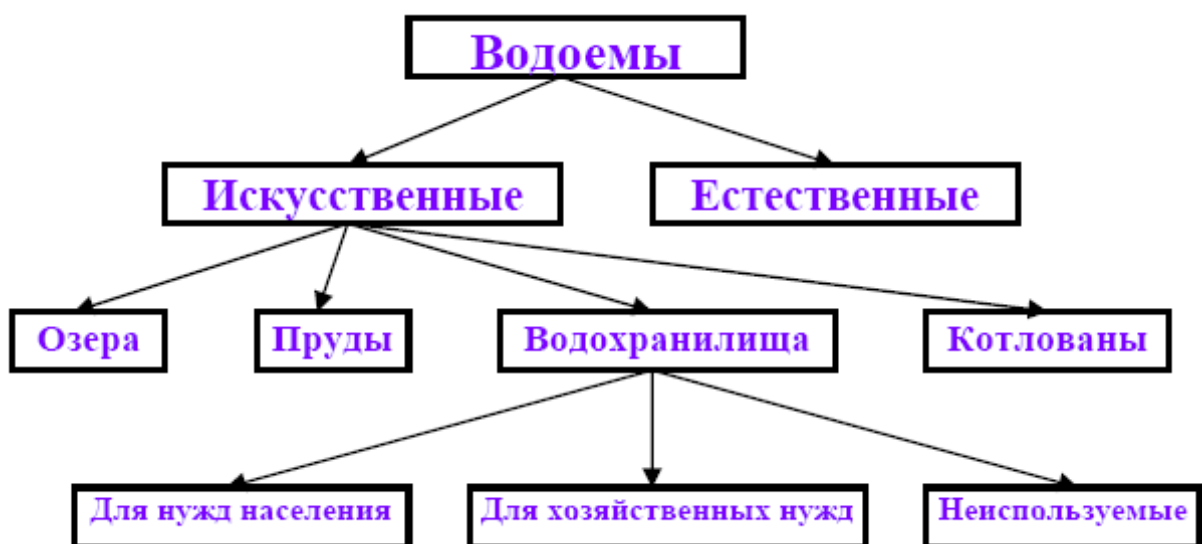


Рис.2.7. Пример топографического классификатора.

В объектно-ориентированной модели акцент делается на положение объектов в какой-либо сложной иерархической схеме классификации и на взаимоотношения между объектами. Этот подход менее распространен, чем слоевая

модель по причине трудности организации всей системы взаимосвязей между объектами.

2.4. Принципы организации информации в ГИС

Как говорилось выше, информация в ГИС хранится в географической и атрибутивной базах данных. Рассмотрим принципы организации информации на примере векторной модели представления пространственных данных.

Любой графический объект можно представить как семейство геометрических примитивов с определенными координатами вершин, которые могут исчисляться в любой системе координат. Геометрические примитивы в разных ГИС различаются, но базовыми являются уже известные Вам точка, линия, дуга, полигон. Расположение точечного объекта, например, угольной шахты, можно описать парой координат (x, y). Такие объекты, как река, ЛЭП, водопровод, железная дорога описываются набором координат ($x_1, y_2; \dots; x_n, y_n$), рис.2.8. Площадные объекты типа речных бассейнов, сельхоз угодий или избирательных участков представляются в виде замкнутого набора координат ($x_1, y_1; \dots x_n, y_n; x_1, y_1$). Векторная модель наиболее пригодна для описания отдельных объектов и менее всего подходит для отражения непрерывно изменяющихся параметров.

Кроме координатной информации об объектах в географической БД может храниться информация о внешнем оформлении этих объектов. Это может быть толщина, цвет и тип линий, тип и цвет штриховки полигонального объекта, толщина, цвет и тип его границ. Каждому геометрическому примитиву сопоставляется атрибутивная информация, описывающая его количественные и качественные характеристики. Она хранится в полях табличных баз данных, которые предназначены для хранения информации разных типов: текстовая, числовая, графическая, видео, аудио. Семейство геометрических примитивов и его атрибутов (описаний) образует простой объект.

Современные объектно-ориентированные ГИС работают с целыми классами и семействами объектов, что позволяет пользователю получать более полное представление о свойствах этих объектов и присущих им закономерностях.

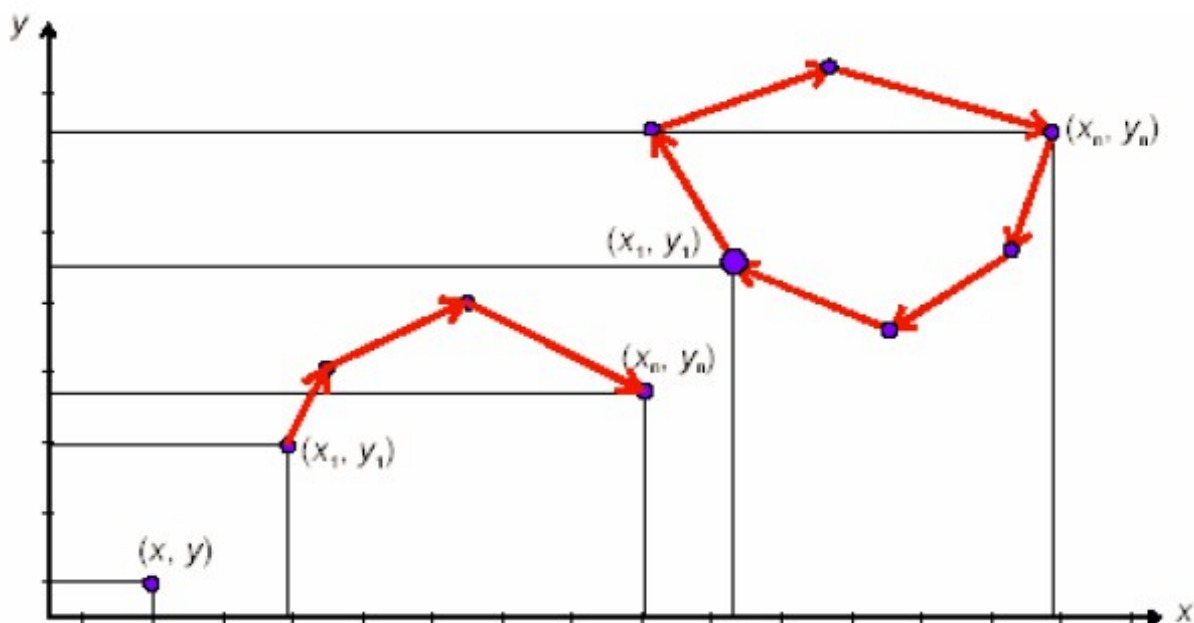


Рис.2.8. Пример использования векторной модели для описания геообъектов.

Взаимосвязь между изображением объекта и его атрибутивной информацией возможна посредством уникальных идентификаторов. Они в явной или неявной форме существуют в любой ГИС.

Во многих ГИС пространственная информация представляется в виде отдельных прозрачных слоев с изображениями географических объектов. Размещение объектов на слоях зависит в каждом отдельном случае от особенностей конкретной ГИС, а также особенностей решаемых задач. В большинстве ГИС информацию на отдельном слое составляют данные из одной таблицы БД. Бывает, что слои образуются из объектов, составленных из однородных геометрических примитивов. Это могут быть слои с точечными, линейными или площадными географическими объектами. Иногда слои создаются по определенным тематическим свойствам объектов, например, слои железнодорожных линий, слои водоемов, слои природных ископаемых. Практически любая ГИС позволяет пользователю управлять слоями. Основные управляющие функции – это видимость/невидимость слоя, редактируемость, доступность. Кроме всего, пользователь может увеличивать информативность цифровой карты путем вывода на экран значений атрибутов пространственных. Многие ГИС используют растровые изображения в качестве фундаментального слоя для векторных слоев, что также повышает наглядность изображения.

2.5. Ввод информации в ГИС

Ввод данных – это процедура, связанная с кодированием данных в компьютерно-читаемую форму и их записью в базу данных ГИС.

Выделяют три главных этапа ввода данных:

- сбор данных;
- редактирование и очистка данных;
- географическое кодирование данных.

Последние два этапа называются также предварительной обработкой данных. В процессе такой обработки накапливается новый класс данных – метаданные (данные о данных). Метаданные обычно содержат:

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

Рассмотрим способы ввода данных в ГИС. Первый способ – это ввод информации при помощи клавиатуры. Этот тип ввода, главным образом, используется для атрибутивных данных. Обычно ввод с клавиатуры совмещают с ручной оцифровкой.

Второй способ ввода – ручная оцифровка при помощи дигитайзера. Этот способ наиболее широко используется для ввода пространственных данных с традиционных карт. Эффективность и качество оцифровки зависит от качества программного обеспечения оцифровки и умения оператора. Данный способ требует больших временных затрат и допускает наличие ошибок.

Следующий способ ввода – сканирование карт, позволяющее получать их цифровое изображение. Современные высокоразрешающие сканеры позволяют сканировать карты с разрешением около 20 микрон (0.02 мм). Полученный цифровой снимок нуждается в обработке и редактировании для улучшения качества. При этом изображение преобразовывают в векторный формат. Сканированные изображения могут непосредственно использоваться для производства карт.

Кроме того, есть еще один способ ввода данных в ГИС – ввод существующих цифровых файлов. Дело в том, что многие ведомства и организации имеют обширные базы данных географической информации. Наборы таких данных должны быть доступны, а получение данных должно осуществляться при помощи сетевых технологий. Приобретение и использование существующих цифровых наборов данных является наиболее эффективным способом заполнения ГИС.

2.6. Ввод данных в ГИС с растровой моделью данных

Растровая модель является оптимальной для работы с непрерывными свойствами объектов. Растровое изображение – это набор значений для отдельных элементов (растров, ячеек, пикселей). Отдельный растр характеризуется координатами, глубиной цвета (в цветных растрах), градацией серого цвета (серая шкала), черного или белого цвета (в черно-белых изображениях). В общем случае растровая картина – это обычное фотоизображение, которое получено сканированием традиционной бумажной карты или аэро- и космического фотографированием участка земной поверхности. Растровое изображение можно охарактеризовать разрешением, измеряемым в единицах dpi (dot's per inch – точек на дюйм) и указывающим, сколько пикселей располагается в одном дюйме изображения. Чем выше разрешение, тем качественнее и информативнее изображение. Но не следует забывать, что с увеличением разрешения увеличивается

и файл растрового изображения. В ГИС обычно используются растровые изображения, разрешение которых лежит в диапазоне 200–600 dpi (исключением могут быть только аэро- и космоснимки, разрешение которых может достигать нескольких тысяч dpi).

2.7. Ошибки оцифровки карт

Как бы прецизионно не проводилась оцифровка и сканирование традиционных карт, ошибки неизбежны. Уровень ошибок в базе данных ГИС непосредственно связан с уровнем ошибок исходных карт. Всё дело в том, что карты не всегда адекватно отображают информацию и не всегда точно передают данные о местоположении объектов. На рис.2.9 наглядно показан процесс накопления ошибок на каждом из этапов построения традиционных карт.

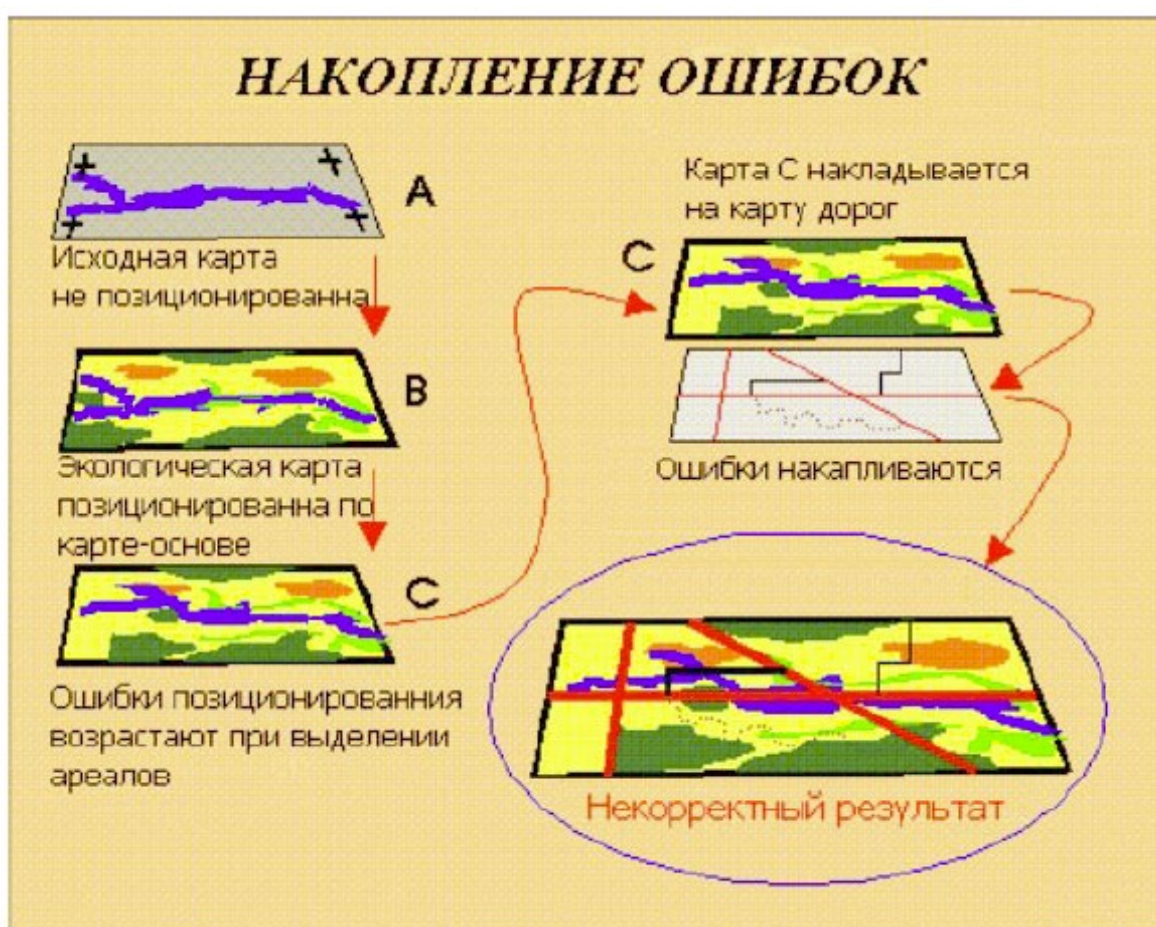


Рис.2.9. Пример получения некорректного результата при создании карты.

В процессе оцифровки можно выделить следующие ошибки:

- разрывы (два сегмента линии не стыкуются друг с другом);
- подергивания (линия имеет участки “пульсирования”);
- петли (линия местами закручивается);
- пересечения (сегменты линий накладываются друг на друга).

Кроме того, часто встречаются такие ошибки как недовод и перевод, рис.2.10.



Рис.2.10. Ошибки оцифровки карт.

При дискретной оцифровке карты (т.е. по отдельным областям, которые потом соединяются в единую карту) возникают несовпадения или нестыковки, рис.2.11.

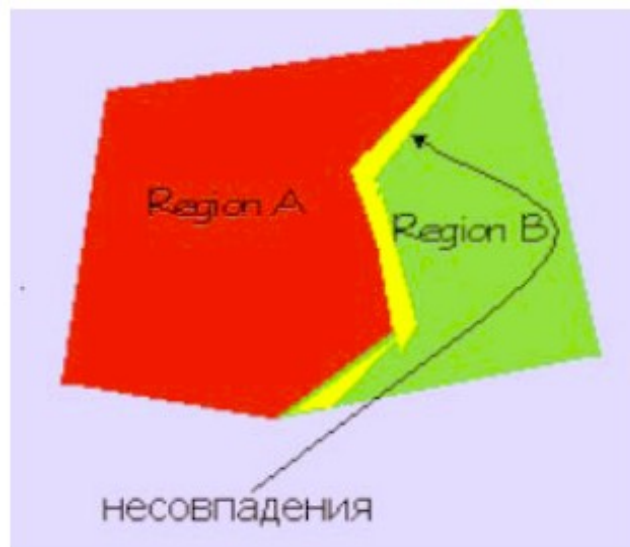


Рис.2.11. Ошибка дискретной оцифровки.

2.8. Анализ информации в ГИС

Любая современная ГИС содержит в себе набор средств для анализа пространственно-атрибутивной информации являются. Используя аналитические функции ГИС можно получить ответы на такие вопросы, как:

- Где расположен объект А?
- Каково расположение объекта А по отношению к объекту В?
- Какое количество объектов А располагается в пределах расстояния D от объекта В?
- Какое значение имеет функция Z в точке X?

- Каковы размеры объекта В?
- Что получится в результате пересечения объектов А и В?
- Какой маршрут от объекта Х до объекта У будет оптимальным?
- Какие объекты расположены внутри объектов X1, X2, ..., Xn?
- Сильно ли изменится пространственное распределение объектов после изменения существующей классификации?
- Что произойдет с объектом А, если изменить объект В и его местоположение относительно А?

Запросы в ГИС можно задавать как простым кликом мышью на объекте, так и с помощью развитых аналитических средств. В группе со средствами стандартного языка структурированных запросов SQL (Structured Query Language) аналитические возможности ГИС дают пользователю мощные и настраиваемые инструменты для обработки и управления информацией.

Выделим основные функции ГИС, связанные с анализом пространственно-атрибутивной информации.

Возможности непространственного (атрибутивного) анализа:

- запрос по атрибутам и их отображение;
- поиск цифровых карт и их визуализация;
- классифицирование непространственных данных;
- картографические измерения (расстояние, направление, площадь);
- статистические функции.

Возможности пространственного анализа:

- “оверлейные” операции;
- анализ близости;
- сетевой анализ;
- поиск объектов;
- анализ видимости-невидимости;
- прогнозирование;
- картометрические функции;
- интерполяция;
- зонирование;
- создание контуров;
- декомпозиция и объединение объектов;
- буферизация;
- переклассификация.

Аналитические методики картографических данных в ГИС мало чем отличаются от методик анализа информации на традиционных картах. Измерение количественных параметров объектов и их математическая обработка являются общепринятыми. Однако расчеты проводятся настолько быстро, что это позволяет за малые интервалы времени проверять огромное число предположений и гипотез и подбирать наиболее подходящие из них.

Пространственное расположение объектов исследуется при помощи операций анализа размещения, связей и других геопространственных взаимоотношений объектов и их атрибутов. К таким операциям можно отнести буферизацию, анализ близости, оверлейный и сетевой анализ, районирование и др. Ком-

бинируя перечисленные операции можно решать достаточно сложные пространственные задачи.

Далее мы представим детальное рассмотрение некоторых наиболее ценных функций анализа пространственного расположения объектов, так как функции обработки описательной информации в ГИС (сортировка, группировка, поиск значений, калькуляция, статистика и пр.) схожи с функциями, используемыми в обычных СУБД.

2.8.1. Буферизация

Буферная зона (buffer zone, buffer, corridor) – представляет из себя полигональный слой, образованный путем расчета и построения эквидистант, или эквидистантных линий (equidistant line), равноудаленных относительно множества точечных, линейных или полигональных пространственных объектов. Операция “буферизации” (buffering) применяется, например, для целей выделения трехкилометровой пограничной зоны, 20-метровой полосы отчуждения железнодорожной линии и т.п. Буферная зона полигонального объекта может строиться как вовне, так и внутри полигона. В случае если расстоянию между объектами и эквидистантами ставятся в соответствие значения одного из его атрибутов, говорят о “буферизации со взвешиванием” (weighed buffering).

В современных ГИС буферные зоны создаются автоматически, причем построить их можно вокруг объектов любых типов, рис. 2.12. Говоря проще, буферные зоны – это могут быть эпидемиологические зоны, зоны техногенных катастроф (розлив нефти, авария на атомной станции), зоны дальнего действия различных радиотехнических устройств и систем и т.д.



Рис.2.12. Построение буферных зон заданной ширины для различных графических примитивов.

Представьте, что у вас есть задача создать область, охватывающую объекты, находящиеся в пределах 500 метров по обе стороны от реки, 2.13. Процесс создания такой области называется созданием буферной зоны. Сама такая зона называется буфером. Вид буфера определяется его радиусом. Радиусом буфера в нашем случае является величина 500 метров.

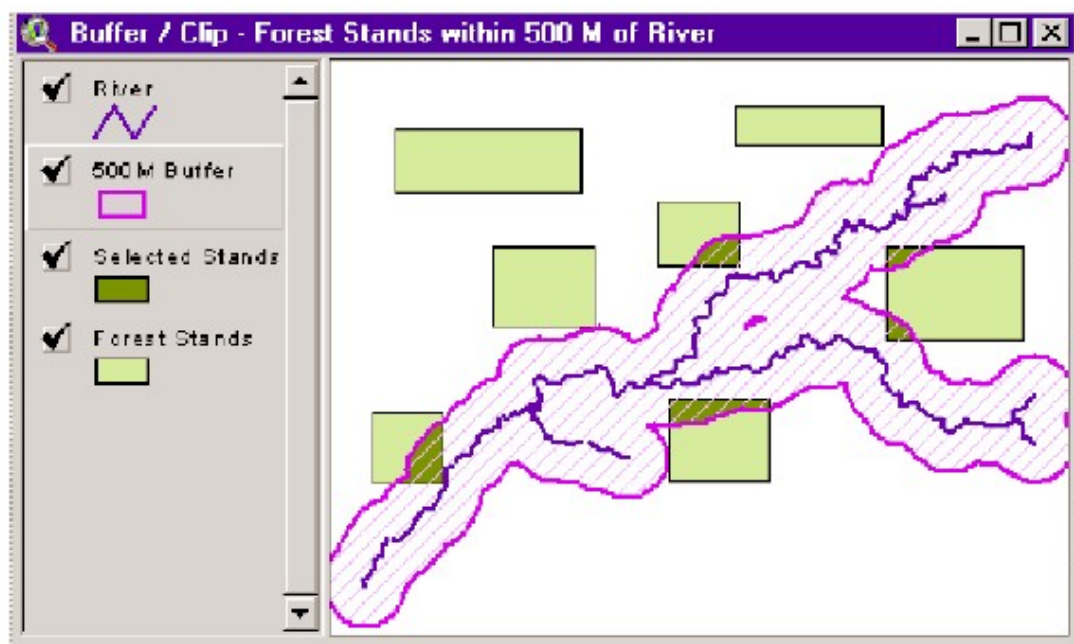


Рис.2.13. Буферная зона вокруг объекта.

Чтобы создать буфер, нужно задать радиус буфера, либо в виде константы, либо в виде колонки таблицы, либо в виде выражения. Затем нужно указать гладкость (число сегментов для буферной окружности). Радиус буфера определяет его размеры. Скажем, чтобы буфер охватывал все объекты, расположенные в пределах 10 километров по обе стороны шоссе, следует задать радиус буфера 10 километров. Если в качестве радиуса используется выражение или данные из некоторой колонки таблицы, то ГИС будет вычислять радиус. Радиус можно задать как постоянную величину (константу), а также использовать значения из некоторой колонки таблицы в качестве значений радиуса. Например, чтобы создать вокруг городов буферные зоны, которые отражали бы численность их населения, можно выбирать значения радиуса буфера из колонки “Население”. Более того, радиус буфера можно задавать в виде выражения. Допустим, нужно создать буферы вокруг городов, отражающие плотность населения. Но в таблице нет колонки, которая содержала бы значение плотности населения. В таком случае надо задать радиус буфера выражением, в котором будет вычисляться плотность населения на основании данных численности населения и площади городов.

Число сегментов для буферной окружности определяет степень скругления (гладкость). Чем больше сегментов используется для прорисовки буферной окружности, тем больше уровень гладкости буферов. Вместе с тем надо помнить, что большая гладкость требует и большего времени на создание буфера. Стандартное значение гладкости – 12 сегментов для полной окружности.

Любая современная ГИС может рассчитывать ширину буфера от границы объекта двумя методами – для сферических координат и для декартовых координат. Сферические вычисления измеряют расстояние на сферической поверхности Земли. Это означает, что расстояние от границы исходного объекта до нового буферного объекта может изменяться от узла к узлу. Декартовые вычис-

ления расстояния производятся на плоскости X–Y, на которую спроецированы данные.

Можно создавать единый буфер вокруг всех выбранных объектов или отдельные буферы вокруг каждого объекта. Осуществить буферизацию для нескольких объектов сразу можно двумя способами. Во-первых, можно создать единый буфер вокруг всех этих объектов. В этом случае следует помнить, что ГИС считает полученный буфер единым объектом типа многоугольник. Если выбрать один из буферных многоугольников, будут выбраны и все остальные. Другим способом является создание отдельных буферов для каждого из объектов.

2.8.2. Оверлейные операции

Оверлейная операция, оверлей (overlay) – представляет из себя операцию наложения друг на друга двух или более слоев, результатом которой является графическая композиция (графический оверлей) используемых слоев либо единственный результирующий слой, несущий в себе набор пространственных объектов исходных слоев, топологию этого набора и атрибуты, которые являются производными от значений атрибутов исходных объектов в топологическом оверлее векторной модели представлений пространственных объектов.

К оверлейным относятся операции:

- определения принадлежности точки полигону;
- определения принадлежности линии полигону;
- определения принадлежности полигона полигону;
- наложения двух полигональных слоев;
- уничтожения границ одноименных классов полигонального слоя с порождением нового слоя;
- определения линий пересечения объектов;
- объединения (комбинирования) объектов одного типа;
- определения точки касания линейного объекта и т.д.

Примером оверлейной операции служит операция топологического оверлея “точка-в-полигон” (point-in-polygon), рис.2.14. По существу происходит наложение двух слоев, в результате чего образуется новый слой.

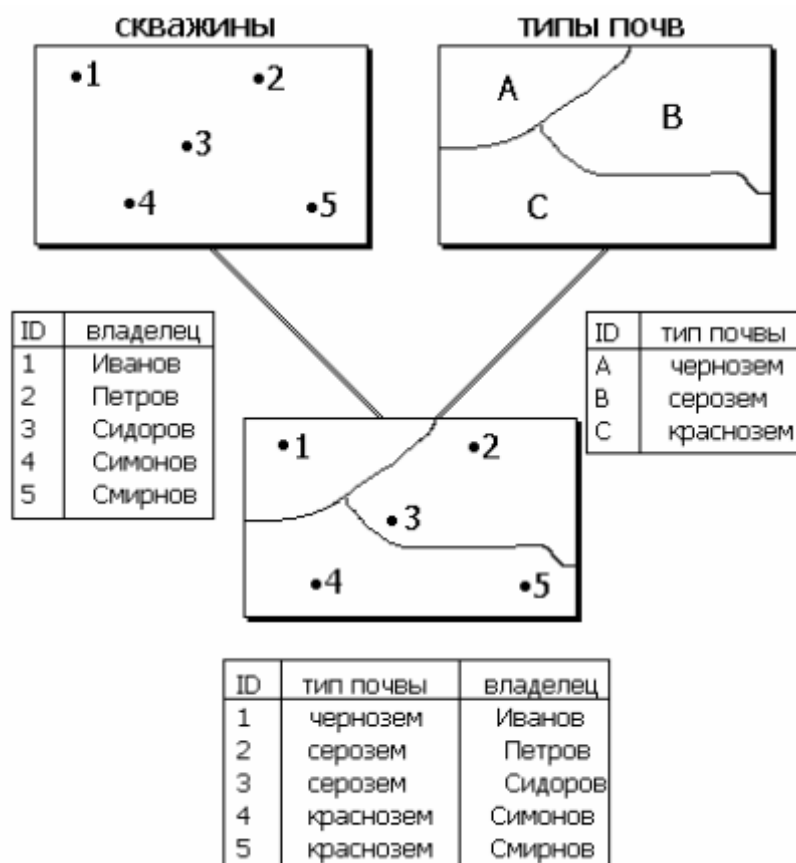


Рис.2.14. Оверлейная операция “точка-в-полигон”.

Операция наложения двух полигональных слоев (polygon-on-polygon) методом вырезания применяется для вырезания части одного слоя, используя для этого другой слой в качестве формы. Эта операция создает новый слой посредством наложения объектов двух слоев, рис.2.15. Один из этих слоев должен быть полигонального типа и он используется для определения области отсечения. В полученном слое сохраняют только те объекты исходного слоя, которые попадают в область вырезания. Объектами исходного слоя могут быть любые объекты (полигоны, линии или точки). Объекты нового слоя будут одного типа с объектами исходного слоя. В итоге получают объективную атрибутивную таблицу для нового слоя, которая содержит поля, аналогичные имеющимся полям в атрибутивной таблице исходного слоя.

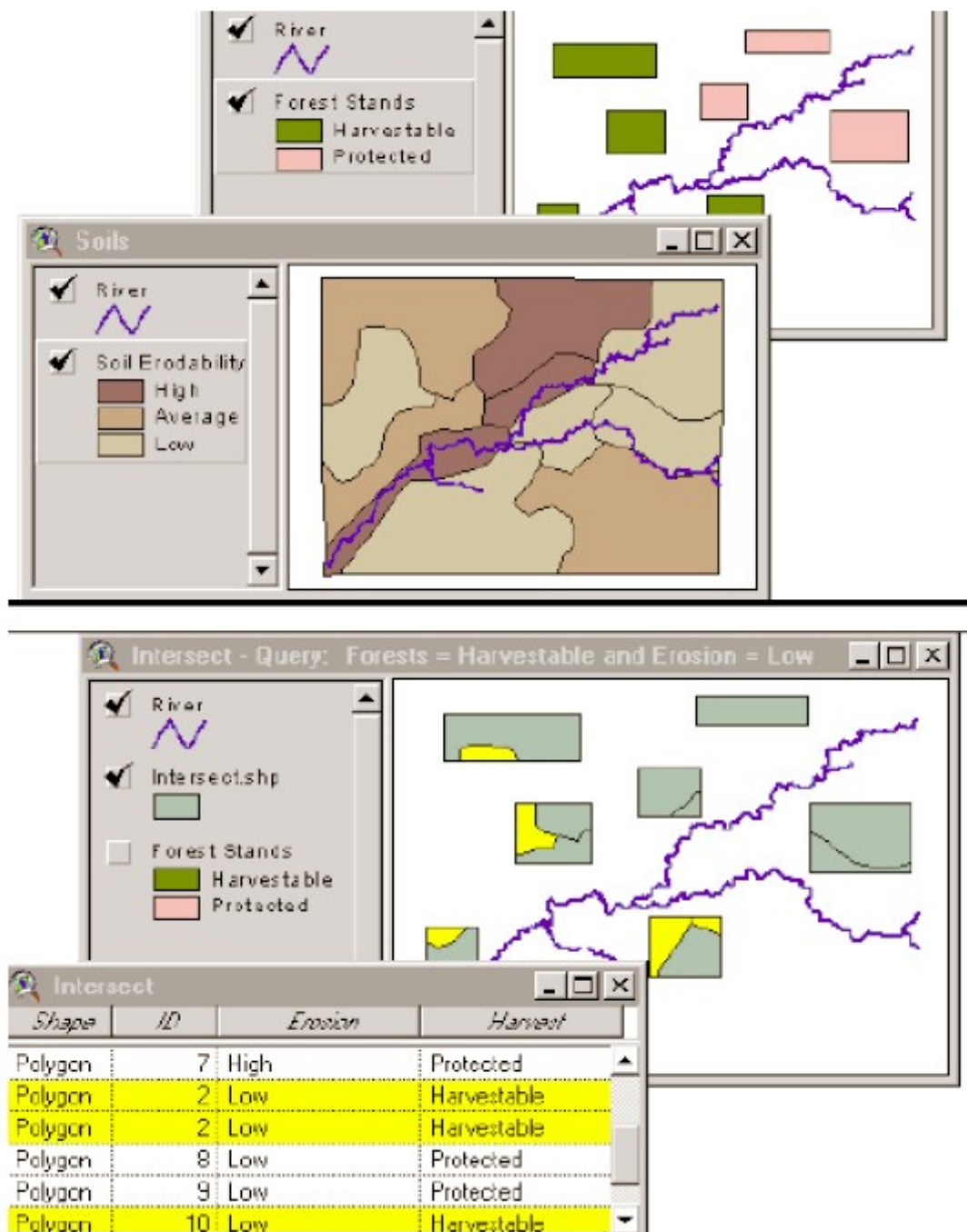


Рис.2.15. Операция наложения двух полигональных слоев.

Помимо операций топологического оверлея существуют операции логического или булевского оверлея. Все операции (всего их четыре) основаны на элементарных логических функциях – логические И, ИЛИ, НЕ и исключающее ИЛИ, рис.2.16.

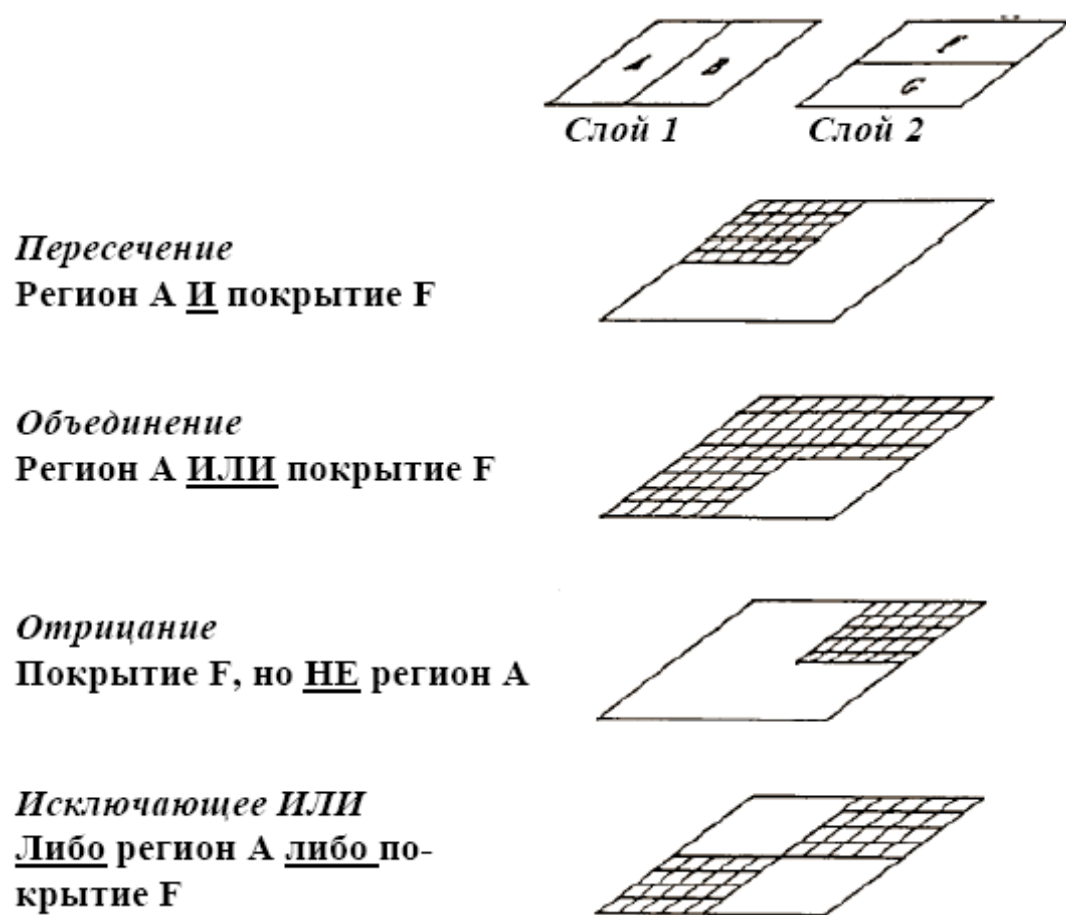


Рис.2.16. Операции логического оверлея.

В качестве примера, на рис.2.17 показана операция пересечения, основанная на логической функции И.

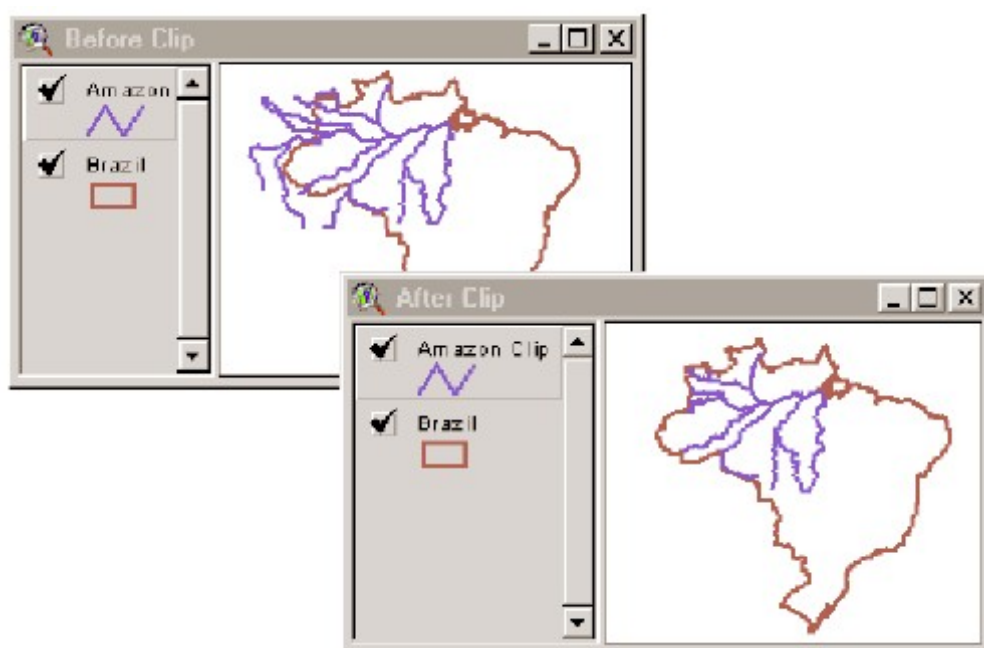


Рис.2.17. Пример операции пересечения.

2.8.3. Переклассификация

Переклассификация – это аналитическая операция, направленная на преобразование слоя карты по заданному условию. К примеру, на карте нанесены сельхоз угодья с разными типами почв, рис.2.18. Кроме того, на карте указаны растительные культуры, произрастающие на данном участке земли. В данном случае операция переклассификации позволяет объединить однородные почвенные зоны в единую область без акцента на растущие на них сельхоз культуры, рис.2.18. В этом случае условием переклассификации является принадлежность к одному типу почвы.

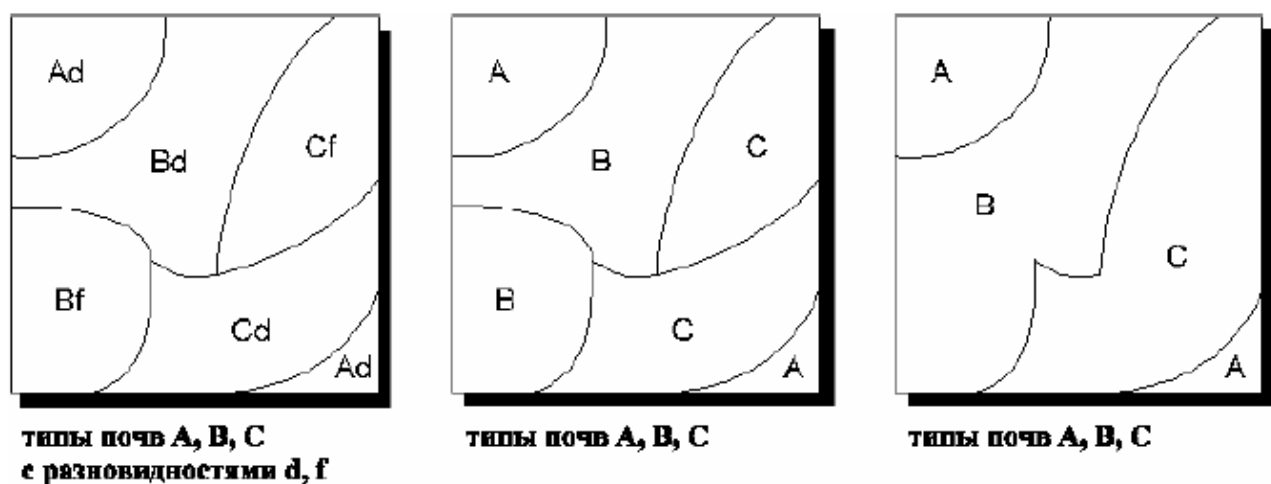


Рис.2.18. Пример аналитической операции переклассификации.

Выделяют несколько основных переклассификационных условий. Одно из первых – это отсечение объектов, пространственное положение которых не соответствует заданной позиции, рис.2.19.

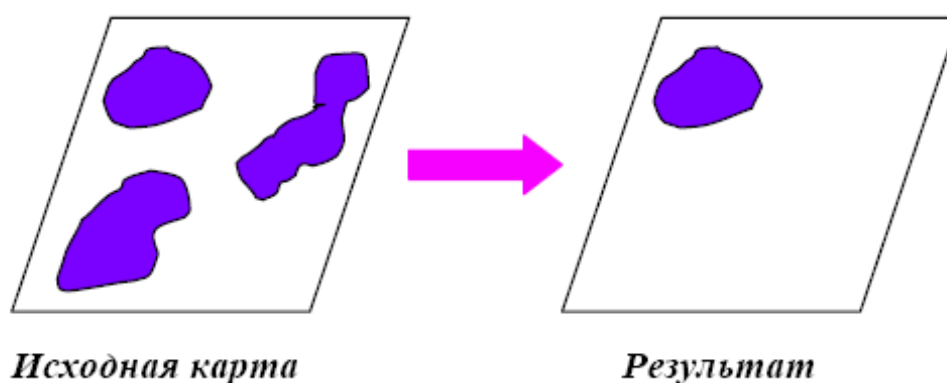


Рис.2.19. Позиционная переклассификация.

Следующее переклассификационное условие – значение какой-либо величины (высота над уровнем моря, зональная температура, количество осадков), отображаемой на карте. Например, на карте нужно изменить футы на метры, рис.2.20.

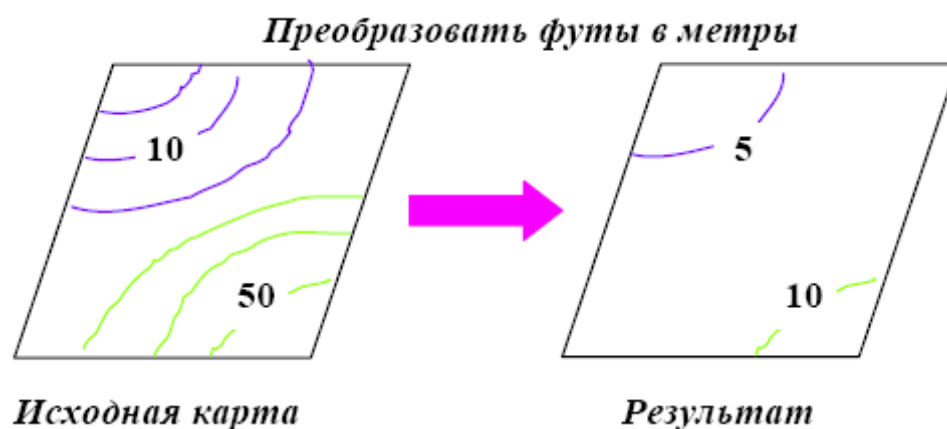


Рис.2.20. Переклассификация по значению величины.

Переклассификация часто производится по размеру объектов. Например, на слое карты необходимо убрать объекты, площадь которых ниже либо выше заданного значения, рис.2.21.

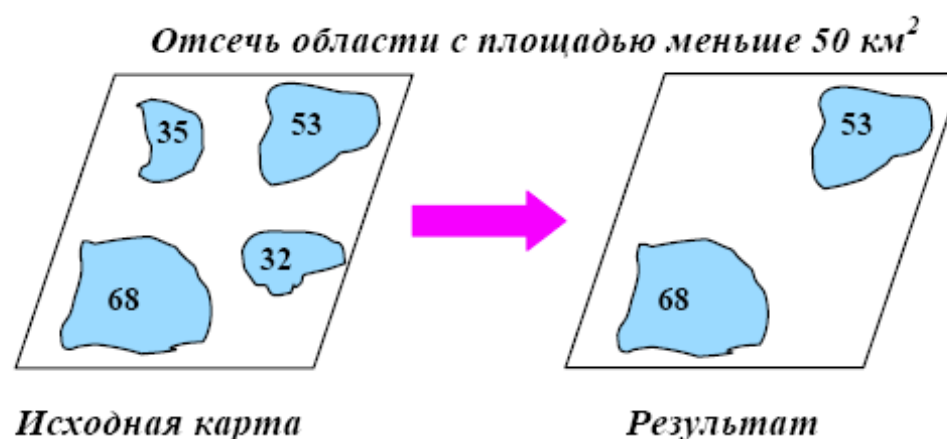


Рис.2.21. Переклассификация по размеру объектов.

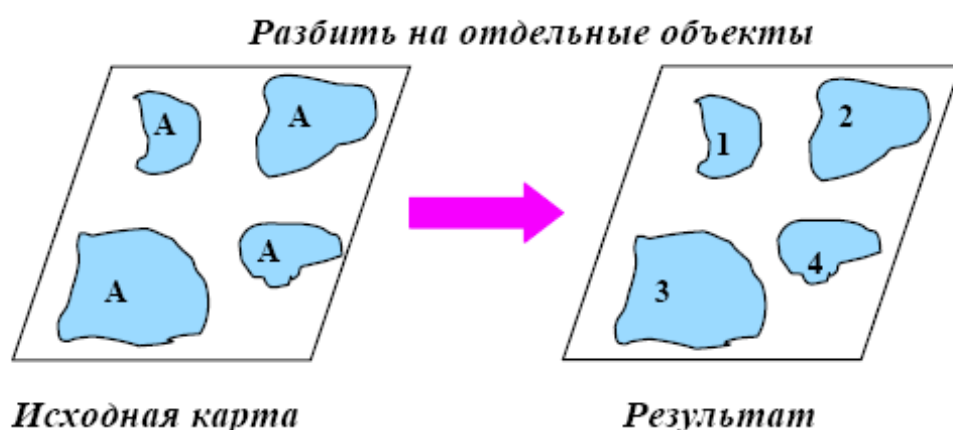


Рис.2.22. Переклассификация единого класса объектов в индивидуальные объекты.

Переклассификация используется для разбиения класса объектов на индивидуальные объекты, так как с ними удобнее работать, рис.2.22.

2.8.4. Картометрические функции

Картометрические функции – это операции, позволяющие измерять расстояния, площади, периметры, объемы, заключенные между секущими поверхностями и т.д., рис.2.23. Как правило, такие операции являются обязательными внутренними функциями ГИС.

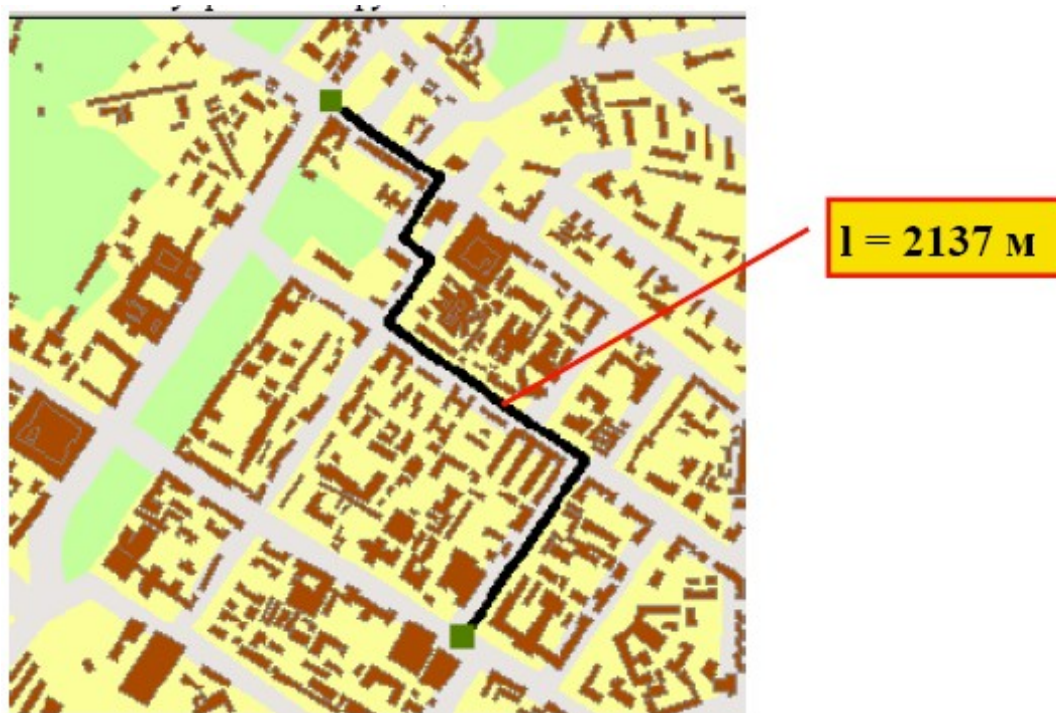


Рис.2.23. Измерение расстояния.

Картометрические измерения тесно связаны с морфометрическими (morphometry) измерениями, суть которых заключается в вычислении морфометрических показателей (morphometric indexes, morphometric params), т.е. показателей формы и структуры явлений (извилистости, расчленения, плотности и мн. др.) на основе картометрических определений. Измерения и исчисления по тематическим картам иногда выделяют в особый раздел – тематическую картометрию и морфометрию (thematic cartometry and morphometry).

Процесс вычисления картометрических и морфометрических функций состоит в определении координат, направлений, дистанций, периметров, размеров, площадей, форм объектов, а также параметров дистанционной съемки, полученных по стереопаре (стереологические параметры). При проведении картометрических измерений нужно знать, что:

- процесс вычисления координат объектов различается для разных примитивов: проще всего вычислить координаты точек - (x, y) , затем линий – $(x_1, y_1; \dots; x_n, y_n)$, и, наконец, полигонов – $(x_1, y_1; \dots x_n, y_n; x_1, y_1)$. Для линий иногда приходится вычислять дополнительные характеристики, такие как длина и угол простираия. Для полигонов чаще всего определяют периметр, площадь, размеры;

- форму обычно охарактеризовывают такими параметрами, как факторы формы круга и эллипса. Фактор формы круга показывает насколько полигон близок к кругу, т.е. фигуре, площадь которой ограничена наименьшим периметром. Для круга фактор формы круга равняется 1. С увеличением периметра фигуры при неизменной площади значение фактора формы круга уменьшается до 0. Фактор формы эллипса говорит о близости фигуры к эллипсу (изменение значений этого фактора такое же, как для круга);

- вычисление стереологических параметров необходимо для описания объемной (3d) структуры объектов. Фундаментом для расчета параметров служат значения площади и периметра примитива, полученные с карты. В большинстве случаев, этими параметрами описывают структуры, элементы которых связаны между собой в пространстве.

2.8.5. Районирование

Процесс районирования (зонирования) состоит в объединении объектов на карте в большие регионы или территории для обобщения данных по этим территориям. Районирование используется в самых различных задачах, таких, как создание и анализ территорий сбыта, избирательных округов, территорий, обслуживаемых подразделениями аварийной службы, маршрутов доставки, анализ распределения ресурсов и т.д. ГИС создает тематическую карту методом индивидуальных значений, в которой тематической переменной является название территории. На этой карте цветами обозначены различные территории – районы, рис.2.24. Специальное окно обычно показывает данные о районах в табличной форме. Кроме того ГИС позволяет динамически отслеживать изменения в данных по районам при переносе объектов из одного района в другой. Районирование чаще всего используется для оптимизации территориального планирования и решения задач иногда называемых “балансировкой (выравниванием) территорий”.

При районировании не создается новых географических объектов на карте, а также не вносятся никаких постоянных изменений в стили существующих объектов. Районирование представляет собой инструмент динамической группировки существующих объектов и анализа соответствующих данных. Однако пользователь ГИС может зафиксировать изменения в объектах, сохранив в виде отдельной таблицы результаты районирования. Районирование можно осуществить для любой таблицы, содержащей графические объекты типа область, линия или точка. Различные районы изображаются различными штриховками, типами линий или символов. Число районов для каждой таблицы обычно не может превышать 300.

Районирование особенно полезно при большом разбросе значений данных, когда необходимо оценить различные сценарии разделения. Районирование можно применять для создания новых территориальных единиц или для перепланирования существующего деления.

2.8.6. Сетевой анализ

Сетевой анализ направлен на решение задач по определению ближайшего, наиболее выгодного сетевого (это может быть транспортная сеть, сеть телекоммуникаций и т.д.) маршрута (рис.2.25), установлению уровней нагрузки на сеть, определению зон влияния на объекты сети других объектов. Сетевой анализ часто используют в процессе принятия решений по транспортным задачам, по проектированию и эксплуатации разнообразных сетей инженерных коммуникаций и т.д.



Рис.2.25. Определение наиболее выгодного маршрута.

Сетевой анализ нацелен на обработку данных линейных объектов, которые имеют разветвленную (древовидную) структуру. Он может быть использован, например, при анализе геологических данных по интенсивности спектральных линий.

Для решения более сложных исследовательских задач используется моделирование распределения пространственных и атрибутивных параметров графических объектов методом регулярной ячейки. Этот метод представляет из себя набор пространственных операций, в процессе выполнения которых территория разбивается на регулярные ячейки строго установленного размера и вычисляются статистические значения пространственных или атрибутивных данных объектов в этих ячейках. Регулярная ячейка представляет из себя двумерный пространственный объект, элемент разбиения земной поверхности линиями регулярной сети, то есть регулярно-ячеистого представления пространственных объектов, в отличие от пикселя (как элемента растрового представления),

образуемого разбиением линиями растра изображения (а не земной поверхностью).

2.8.7. Другие аналитические операции

Анализ видимости-невидимости – это одна из операций по обработке цифровых моделей рельефа, которая обеспечивает оценку поверхности с точки зрения видимости или невидимости отдельных его частей путем выделения зон и построения карт видимости-невидимости с некоторой точки обзора или множества точек, заданных их положением в пространстве (источников или приемников излучений).

Пространственный анализ видимости-невидимости основан на оценке взаимной видимости двух точек. Анализ видимости-невидимости применяется для оценки влияния рельефа (в особенности горного) или рельефности городской застройки на величину зоны устойчивого радиоприема (радиовидимости) при проектировании радио- и телевещательных станций, радиорелейных сетей и систем мобильной радиосвязи.

Анализ близости – представляет собой пространственно-аналитическую операцию, основанную на поиске двух ближайших точек среди заданного их множества (поиск кратчайшего расстояния) и используемую в различных алгоритмах пространственного анализа. При обработке геологической информации это может быть локализация ближайших точек в геохимических аномалиях с заданными параметрами.

2.9. Подготовка отчетов, карт, схем

Современные полнофункциональные геоинформационные системы обладают развитыми средствами генерации различных выходных форм. Помимо стандартных генераторов отчетов, которые применяются в обычных СУБД, в ГИС встроены средства издания компьютерных карт различного назначения. Следует отметить, что их печать производится на основе фундаментальных требований, которые предъявляются к традиционным бумажным картам, произведенным на обычном типографском оборудовании. Заданный масштаб изображения в процессе печати контролируется высокоточными средствами. Полнофункциональные ГИС предоставляют возможность создания широкого диапазона легенд карт, различных вставок и отчетов, рис.2.26.

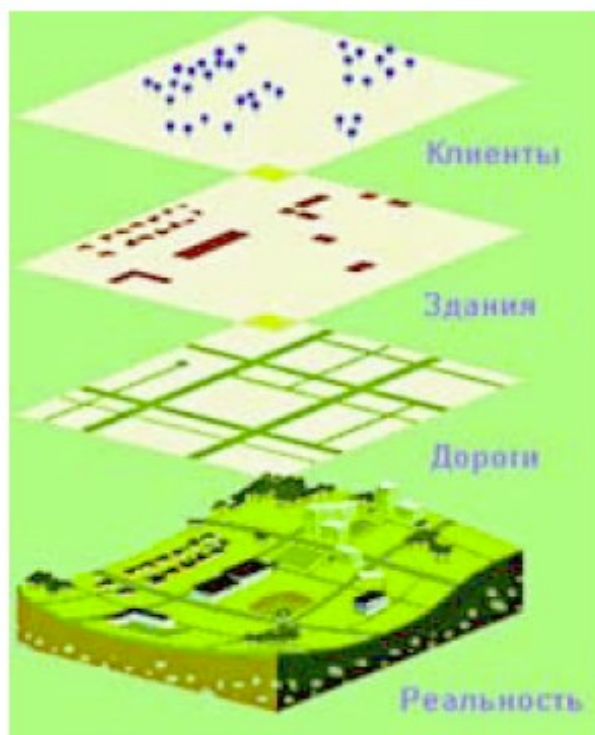


Рис.2.27. Слои карты.

Для создания пространственной модели, адекватной окружающему миру, используют средства пространственного анализа. Пространственное моделирование – это процесс анализа характеристик различных слоев для каждого местоположения, применяемый для решения пространственных задач. Обычно ГИС наносит на выбранные слои сеть с прямоугольными ячейками, которая называется гридом (от англ. grid – решетка, сеть). Каждая ячейка представляет определенное местоположение и имеет определенное значение для каждого слоя карты. Ячейки для разных слоев накладываются друг на друга, описывая каждое местоположение различными атрибутами.

Большинство пространственных моделей включают в себя поиск оптимального местоположения. Это, например, модели выбора участков или модели пригодности. Их целью является определение наиболее подходящего места для выращивания гибридной сельскохозяйственной культуры, бурения нефтяной скважины, строительства детского сада. Несмотря на значительные различия в шкалах и требованиях к данным, способы решения подобных задач похожи.

Допустим, нам необходимо выбрать оптимальное место для строительства нового магазина. Для решения этой задачи нужно создать модель пригодности. При таком типе модели характеристики оцениваются по их пригодности, а затем комбинируются для создания комплексной карты пригодности для каждого местоположения, учитывающей все переменные величины.

Процесс решения подобной задачи разбивается на четыре этапа:

1. Формулировка задачи
2. Разбиение задачи на составные части
3. Присвоение объектам значений пригодности
4. Решение задачи

Первый этап – формулировка – начинается с представления цели исследования, которую нужно достичь. То есть пользователь должен представлять карту, которую хочет получить.

Как уже отмечалось, наша задача – нахождение оптимального места для строительства магазина. Предположим, что мы владеем несколькими близлежащими u_{1084} маленькими магазинами, которые в основном рассчитаны на людей с высокими доходами. Мы продаем им высококачественные продукты питания и бытовые товары. Наш бизнес является доходным и необходимо найти районы города для организации новых магазинов. В результате мы должны получить карту, показывающую территории, ранжированные по степени пригодности возможных вариантов для размещения нового магазина. Она называется картой ранжированной пригодности, так как показывает диапазон значений, отражающих степень пригодности каждого района. Такой тип карты и процесс её создания применимы почти во всех областях пространственного анализа и ГИС.

Когда задача сформулирована, нужно разделить её на более мелкие части, чтобы узнать, какие данные и шаги потребуются для её решения. Эти шаги представляют промежуточные задачи, которые мы будем решать, чтобы определить пригодность каждого местоположения.

Основным условием при определении задач по этапам является то, чтобы они основывались на том, что можно измерить. Так каким же образом определить лучшее место для размещения магазина? Во-первых, магазину нужны покупатели, имеющие желание купить наш продукт. Во-вторых, для покупателей важно расстояние до магазина. Поэтому нам нужно знать следующее:

- Где находятся потенциальные покупатели?
- Достаточно ли их там?
- Далеко ли они находятся от уже существующих магазинов?

Вот три основных вопроса, которые формируют в данном случае три слоя или три темы карты, рис.2.28.



Рис.2.28. Основные темы карты.

Чтобы создать карту потенциальных покупателей, необходимо определить несколько параметров, характеризующих жителей, желающих приобрести наши товары, рис.2.29. Это делается путем опроса. Исходя из набора данных о местоположении магазинов и их характерных особенностях, нужно выбрать преуспевающие магазины, нанести на карту районы их торгового обслуживания, совместив с демографическими данными, чтобы убедиться, что все потенциальные покупатели по данным опроса и те, кто живет вблизи магазинов – одни и те же люди. Затем, зная демографическую ситуацию, наносим на карту районы их проживания.

Когда станет известно, каких покупателей следует искать, необходимо составить карту. Лучше всего создать карту процентного соотношения потенциальных покупателей. Данные образа жизни представлены по районам переписи в виде статистической выборки и не выражают общее число всех жителей этой области. Картографирование доли потенциальных покупателей позволяет провести сравнение районов с различной плотностью выборки. Создание карты процентного соотношения – это простая табличная операция, где суммируется число жителей по каждой из нужных категорий, которое затем делится на общее число жителей в выборке и умножается на 100.

Чтобы определить, достаточно ли покупателей, необходимо создать карту численности населения в пределах районов торгового обслуживания магазина. Карта плотности населения создается при помощи функции расчета плотности из набора точечных данных.



Рис.2.29. Выявление потенциальных покупателей.

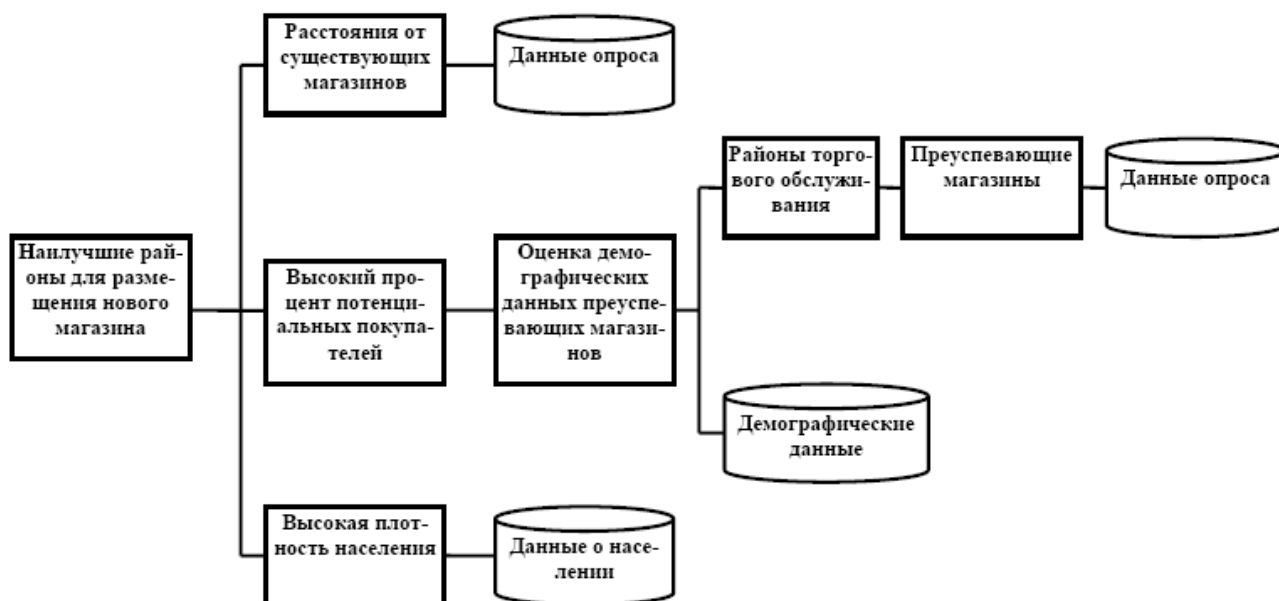


Рис.2.30. Схема этапов решения задачи о размещении нового магазина.

Нетрудно заметить, что задача всё больше дробится на составные части, поэтому в конце каждой ветви на диаграмме должен быть указан источник данных, рис.2.30. Такой подход помогает определить данные, необходимые для количественного описания каждого объекта.

После того, как каждый объект обрел свой слой карты, необходимо скомбинировать объекты, чтобы создать единую ранжированную карту потенциальных районов торгового обслуживания. Для этого нужен способ сравнения значений одного класса с другим. Это решается путем присвоения числовых значений классам каждого слоя или темы.

Каждый объект ранжируется в зависимости от того, насколько он пригоден в качестве места для нового магазина. Присвоим каждому объекту значение по шкале от 1 до 10, где 10 соответствует наилучшему варианту. В результате этого процесса получим шкалу пригодности.

Существует также класс “нет данных” или “непригоден”, используемый, чтобы исключить районы, которые не будут рассматриваться. Так как все измерения будут представлены по одной числовой шкале, они будут иметь равную значимость при определении наиболее пригодных мест. Изначально модель создается именно таким образом, но затем, при проверке альтернативных сценариев, к слоям или измерениям будут применяться весовые коэффициенты для дальнейшего изучения данных и их взаимосвязей. На этапе присвоения объектам шкал пригодности более детально определяются также средства и шаги, требующиеся для измерения объектов и присвоения шкал.

Чтобы обеспечить достаточное количество покупателей для нового магазина, нужно использовать карту плотности населения. Практически любая настольная ГИС позволяет создать карту, показывающую число жителей внутри заданного радиуса.

Последним шагом в моделировании является объединение карт пригодности потенциальных покупателей, карты населения и карты расстояний, чтобы получить единую меру “ТJ/ТТЗ 1 лучших территорий для нового магазина”. Это делается сведением всех трех карт вместе и делением на три.

Тема 3. Дистанционное зондирование и системы спутникового позиционирования.

3.1. Понятие дистанционного зондирования

Эффективную работу современных ГИС трудно представить без спутниковых методов исследования территорий нашей планеты. Дистанционное спутниковое зондирование нашло широко применение в геоинформационных технологиях как в связи с быстрым развитием и совершенствованием космической техники, так и со свертыванием авиационных и наземных методов мониторинга.

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.

Процесс ДЗ представлен на рис.3.1 и состоит из следующих элементов:

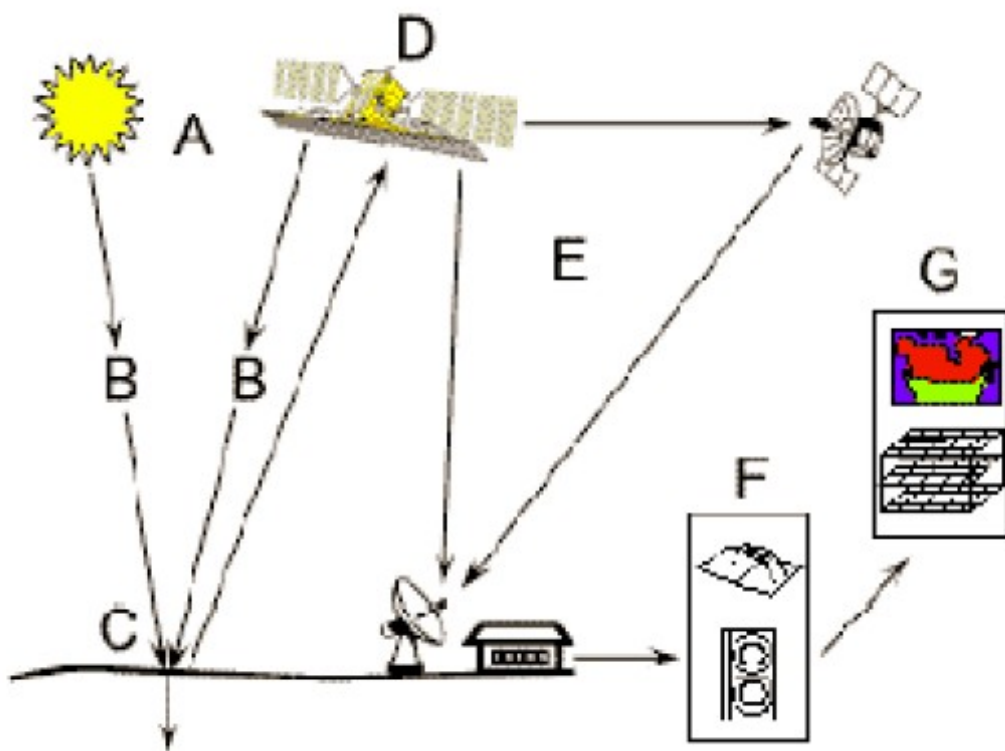


Рис.3.1. Этапы ДЗ.

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 взаимодей-

ствие необходимо учитывать, так как 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 (E) – 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 области применения спутникового дистанционного зондирования (СДЗ):

- получение информации о состоянии окружающей среды и землепользовании;
- оценка урожая сельхоз угодий;
- изучение флоры и фауны;
- оценка последствий стихийных бедствий (землетрясения, наводнения, пожары, эпидемии, извержения вулканов);
- оценка ущерба при загрязнении суши и водоемов;
- океанология.

Средства СДЗ позволяют получать сведения о состоянии атмосферы не только в локальном, но и в глобальном масштабе. Данные зондирования поступают в виде изображений, как правило, в цифровой форме. Дальнейшая обработка осуществляется компьютером. Поэтому проблематика СДЗ тесно связана с задачами цифровой обработки изображений.

Для наблюдения нашей планеты из космоса используют дистанционные методы, при которых исследователь имеет возможность на расстоянии получать информацию об изучаемом объекте. Дистанционные методы зондирования, как правило, являются косвенными, то есть с их помощью измеряют не интересующие наблюдателя параметры, а некоторые связанные с ними величины. Например, нам необходимо оценить состояние лесных массивов Уссурийской тайги. Аппаратура спутника, задействованная в мониторинге, будет регистрировать лишь интенсивность светового потока от изучаемых объектов в нескольких участках оптического диапазона. Чтобы расшифровать такие данные, требуются предварительные исследования, включающие в себя различные эксперименты по изучению состояния отдельных деревьев контактными методами.

Затем необходимо определить, как выглядят те же объекты с самолета, и лишь после этого судить о состоянии лесов по спутниковым данным.

Методы изучения Земли из космоса не случайно относят к высокотехнологичным. Это связано не только с использованием ракетной техники, сложных оптико-электронных приборов, компьютеров, скоростных информационных сетей, но и с новым подходом к получению и интерпретации результатов измерений. Спутниковые исследования проводятся на небольшой площади, но они дают возможность обобщать данные на огромные пространства и даже на весь земной шар. Спутниковые методы, как правило, позволяют получать результат за сравнительно короткий интервал времени. К примеру, для бескрайней Сибири спутниковые методы наиболее приемлемы.

На рис.3.2 и 3.3 представлены изображения планеты Земля со спутника.



Рис. 3.2. Космический снимок Западной Европы.

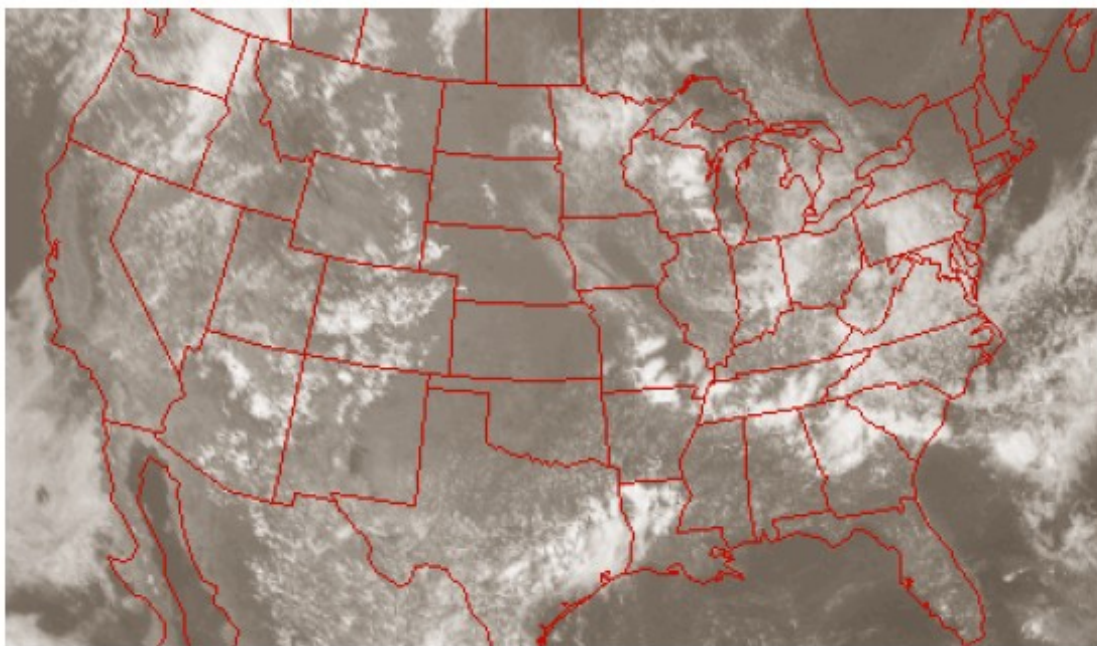


Рис. 3.3. Космический снимок Северной Америки.

К числу особенностей дистанционных методов относится влияние среды (атмосферы), через которую проходит сигнал со спутника. Например, наличие облачности, закрывающей объекты, делает их невидимыми в оптическом диапазоне. Но даже и при отсутствии облачности атмосфера ослабляет излучение от объектов. Поэтому спутниковым системам приходится работать в так называемых окнах прозрачности, учитывая, что в них имеет место поглощение и рассеяние газами и аэрозолями. В радиодиапазоне возможно наблюдение Земли и сквозь облачность.

Информация о Земле и её объектах поступает со спутников в цифровом виде. Наземная цифровая обработка изображений проводится при помощи компьютеров. Современные спутниковые методы позволяют не только получать изображение Земли. Используя чувствительные приборы, удастся измерять концентрацию атмосферных газов, в том числе вызывающих парниковый эффект. Спутник “Метеор-3” с установленным на нем прибором TOMS позволял за сутки оценить состояние всего озонового слоя Земли. Спутник NOAA кроме получения изображений поверхности дает возможность исследовать озоновый слой и изучать вертикальные профили параметров атмосферы (давление, температуру, влажность).

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, рис.3.4а. Пассивные методы подразумевают регистрацию отраженной от поверхности объектов солнечной энергии либо теплового излучения Земли, рис.3.4б.

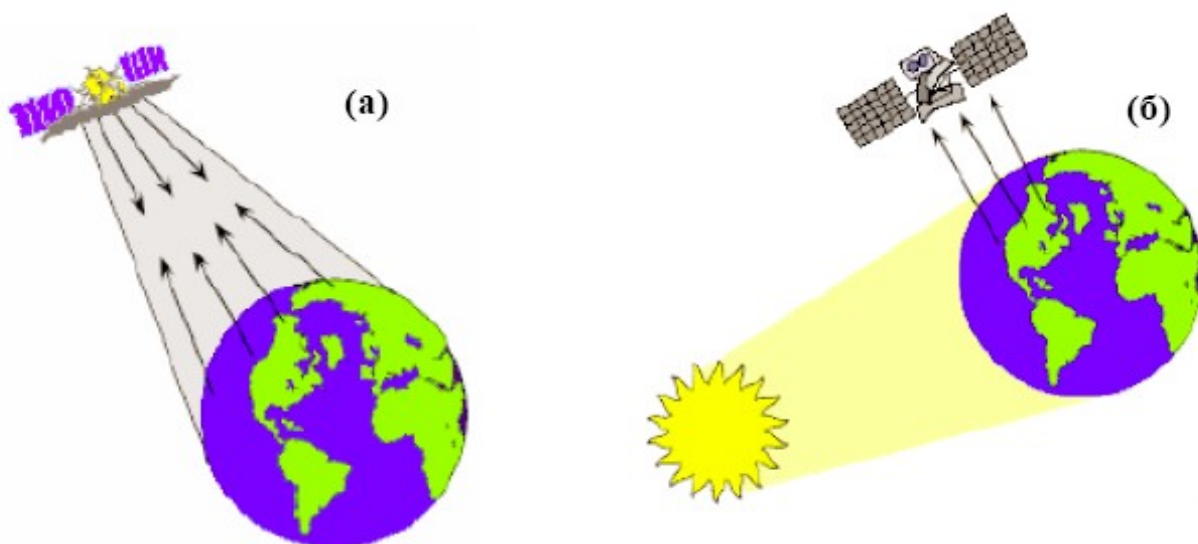


Рис.3.4. Активный (а) и пассивный (б) методы ДЗ.

При дистанционном зондировании Земли из космоса используются оптический диапазон электромагнитных волн и микроволновый участок радиодиапазона. Оптический диапазон включает в себя ультрафиолетовый (УФ) участок спектра; видимый участок – синюю (В), зеленую (Г) и красную (Р) полосы; инфракрасный участок (ИК) – ближний (БИК), средний и тепловой.

При пассивных методах зондирования в оптическом диапазоне источниками электромагнитной энергии являются разогретые до достаточно высокой температуры твердые, жидкие, газообразные тела.

На волнах длиной более 4 мкм собственное тепловое излучение Земли превосходит излучение Солнца. Регистрируя интенсивность теплового излучения Земли из космоса, можно достаточно точно оценить температуру суши и водной поверхности, которая является важнейшей экологической характеристикой. Измерив температуру верхней границы облачности, можно определить её высоту, если учесть, что в тропосфере с высотой температура уменьшается в среднем на $6.5^{\circ}\text{C}/\text{км}$.

При регистрации теплового излучения со спутников используется интервал длин волн 10-14 мкм, в котором поглощение в атмосфере невелико. При температуре земной поверхности (облаков), равной -50°C , максимум излучения приходится на 12 мкм, при $+50^{\circ}\text{C}$ – на 9 мкм.

3.2. Оптические методы дистанционного зондирования

Первые изображения Земли из космоса были получены с помощью фотокамеры. Эта методика применяется и в настоящее время. Спутник с фоторегистратцией “Ресурс-Ф1М” (Россия) позволяет фотографировать Землю в интервале длин волн 0.4–0.9 мкм. Отснятые материалы спускаются на Землю и проявляются. Анализ снимков, как правило, проводится визуально с помощью проекционной аппаратуры, которая позволяет также получать цветные фотоотпечатки. Метод обеспечивает высокую геометрическую точность изображения; можно увеличить снимки без заметного ухудшения качества. Однако он мало опе-

ративен, поскольку изображение u1087 представлено в виде фотографий, а не в цифровой форме, и эффективен в видимом и ближнем ИК-диапазонах.

Этих недостатков лишены сканерные методы. Сканер с цилиндрической разверткой в принципе представляет собой маятник, закрепленный в одной точке и колеблющийся поперек направления движения, рис.3.5. 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. Сканерная информация в цифровой форме передается со спутника в реальном времени или в записи на бортовой магнитофон; на Земле она обрабатывается на ЭВМ.

Линейный сканер содержит расположенные в линию неподвижные фоточувствительные элементы, число которых колеблется от 190 до 1000. Такая линия называется линейкой приборов с зарядовой связью (ПЗС). На линейку 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 ПЗС работают в видимом и ближнем ИК-диапазонах.



Рис.3.5. Сканерный метод ДЗ.

3.3. Радиотехнические методы ДЗ

В общих чертах принцип активной радиолокации состоит в следующем. На спутнике устанавливается передатчик, посылающий с помощью антенны в направлении Земли импульсы с высокочастотным заполнением, рис.3.6. После этого наступает пауза, в течение которой производится прием отраженных сигналов. Если импульс отражается от некоторого объекта М, расположенного на расстоянии L от спутника, то отраженный сигнал вернется назад через интервал времени $\Delta t = 2L/c$, где c – скорость света, множитель 2 учитывает, что сигнал проходит путь L дважды: от радиолокатора до объекта и от объекта до радиолокатора. Чем дальше объект от радиолокатора, тем больше Δt . Интенсивность отраженных сигналов зависит от дальности и различна для разных объектов, так как они отличаются размерами и электрофизическими характеристиками. Измеряя Δt , можно найти расстояние до объекта. Таким образом, средствами радиолокационной техники автоматически осуществляется сканирование по дальности, так как сигналы от разных объектов приходят в разное время.

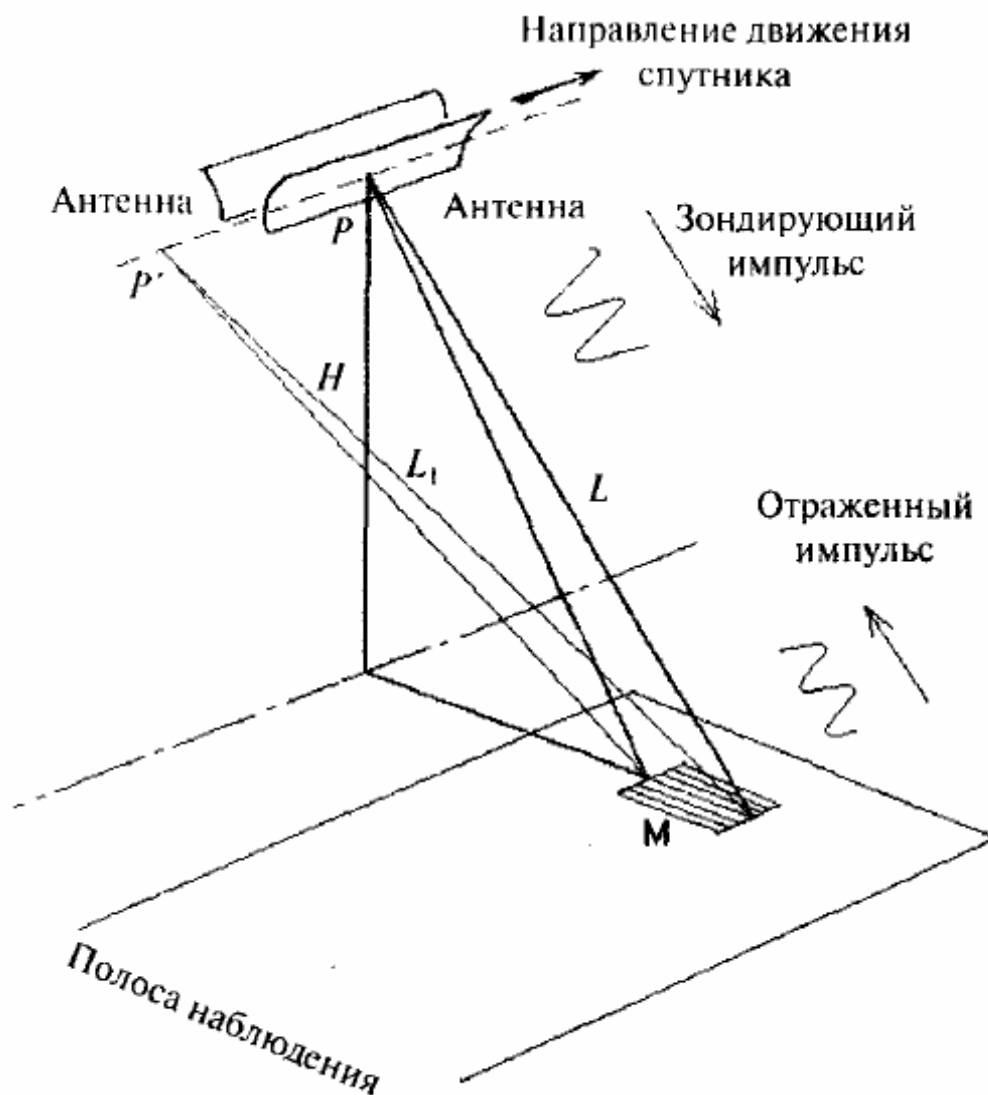


Рис.3.6. Схема работы радиолокатора.

3.4. Прием информации со спутников

Станции для приема информации со спутников на Земле (называемые земными) содержат антенну с опорно-поворотным устройством (ОПУ), радиоприемное устройство и средства обработки, хранения и отображения информации, рис.3.7.

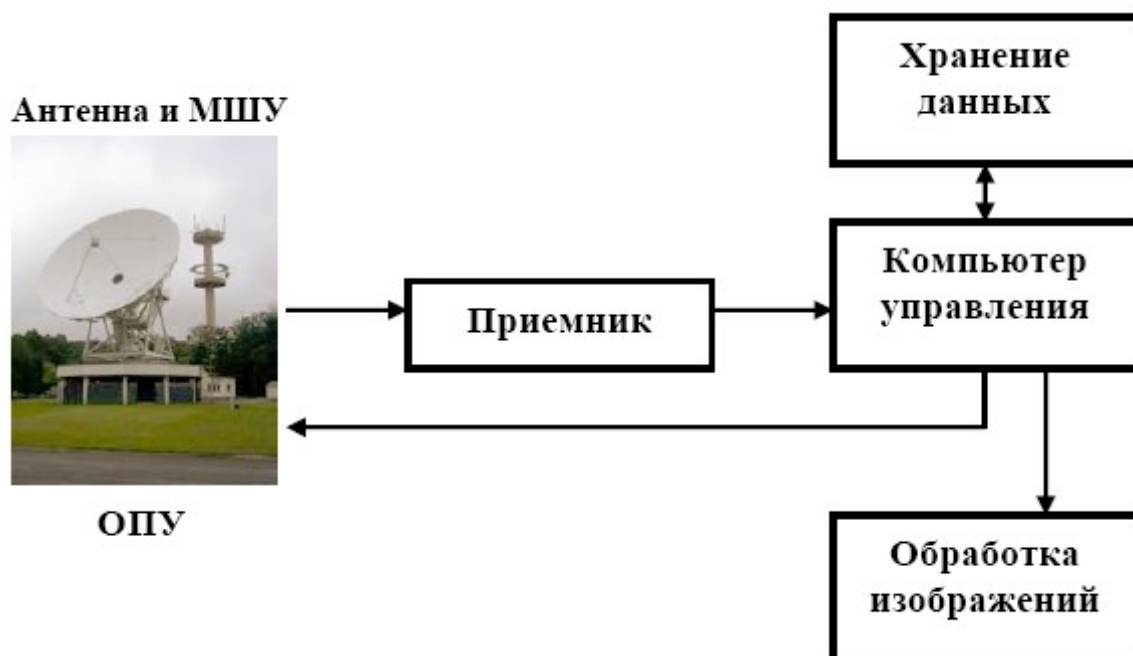


Рис.3.7. Схема станции приема информации со спутника.

Наиболее употребительные зеркальные антенны с параболическим рефлектором наводятся ОПУ на спутник по командам компьютера, в который заложены орбитальные данные. В фокусе антенны установлен облучатель, сигнал с которого усиливается малошумящим усилителем (МШУ). Далее сигнал по кабелю поступает на приемник, цифровой сигнал с выхода которого обрабатывается на компьютере. Обработанные изображения помещаются в базу данных.

3.5. Спутники для дистанционного зондирования

Спутники NOAA (США). Метеорологические и природоведческие спутники NOAA (рис.3.8) имеют длину 4.18 м, диаметр 1.88 м, массу на орбите 1030 кг. Круговая орбита имеет высоту 870 км, один виток спутник совершает за 102 мин. Площадь солнечных батарей спутника 11.6 м², мощность батарей не менее 1.6 кВт, но со временем батареи деградируют из-за воздействия космических лучей и микрометеоров. Для нормальной работы спутника необходима мощность не менее 515 Вт.



Рис.3.8. Спутник NOAA.

Спутники серии NOAA обращаются на почти круговых гелиосинхронных орбитах с высотой порядка 850 км. Из-за кривизны Земли зона радиовидимости спутника составляет ± 3400 км, поэтому за один проход спутника удастся получить информацию с поверхности около 3000×7000 км. В настоящее время на орбите находятся шесть спутников этой серии (NOAA 11, 12, 14, 15, 16 и 17), но функционируют надежно только три (NOAA 12, NOAA 16, NOAA 17), что позволяет получать информацию о состоянии окружающей среды в регионе с частотой не реже 6 - 10 раз в сутки.

На спутниках серии NOAA установлены приборы AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), обеспечивающие непрерывные ряды наблюдений в видимом и инфракрасном диапазонах спектра. Основные технические характеристики прибора AVHRR приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1.

Основные технические характеристики прибора AVHRR

Спектральные каналы	NOAA-6,8,10	NOAA-7,9,11,12,14,15,16,17
1	0,58-0,68 мкм	0,58-0,68 мкм
2	0,725-1,00 мкм	0,725-1,00 мкм
3	3,55-3,93 мкм	3,55-3,93 мкм
4	10,50-11,50 мкм	10,3-11,3 мкм
5		11,5-12,5 мкм
Ширина полосы обзора	2800 км	2800 км
Разрешение на местности	1,1x1,1 км	1,1x1,1 км

Прибор AVHRR является типичным сканером. Отличительной особенностью прибора AVHRR является возможность принимать сигнал в окне прозрачности атмосферы 10-12 мкм. Это позволяет оценивать температуру поверхности моря. Одновременно прибор позволяет принимать сигнал в видимой и в ближней инфракрасной областях спектра при составлении полного изображения поверхности Земли за одни сутки. Это, при достаточно длинном ряде наблюдений, делает его незаменимым при оценке текущих изменений растительности планеты. На рис.3.9 представлено изображение озера Байкал, полученное со спутника NOAA при помощи сканера AVHRR.

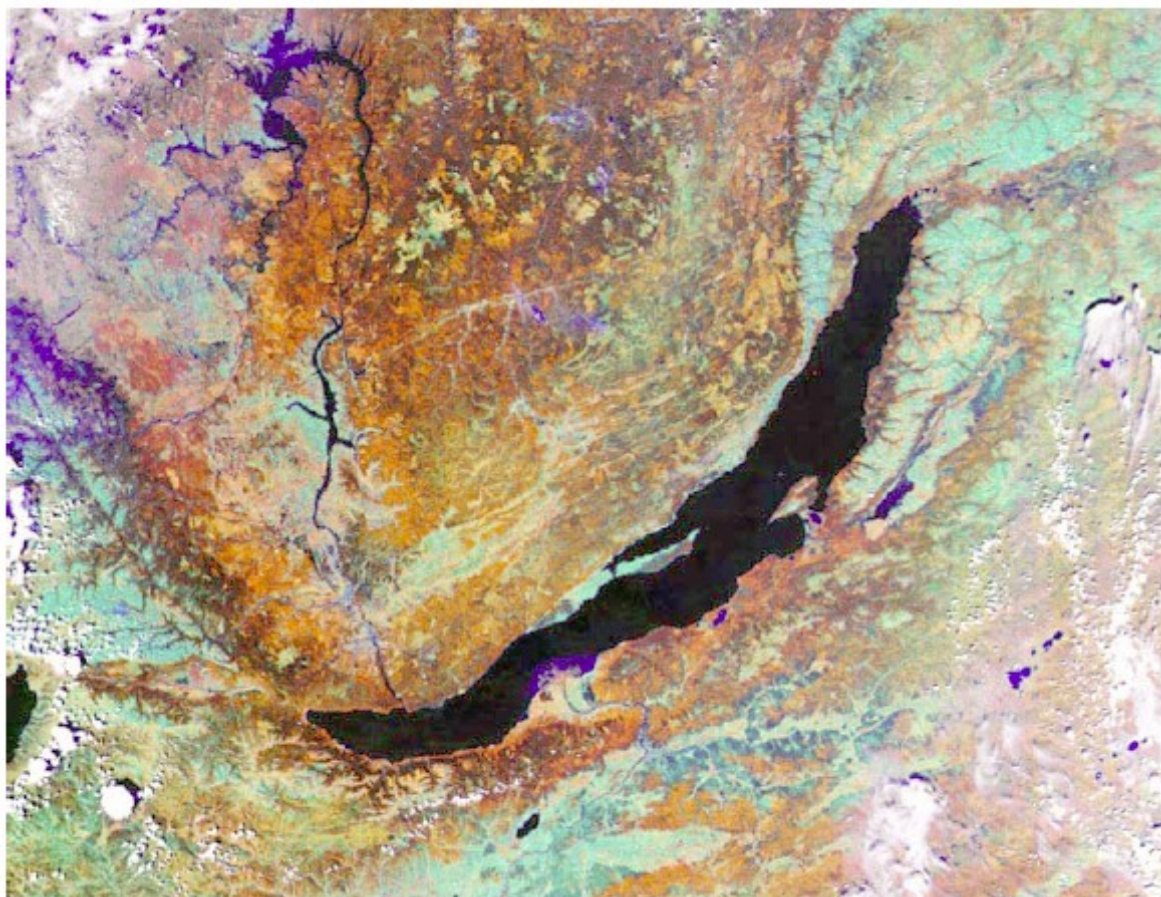


Рис.3.9. Космический снимок озера Байкал, полученный сканером AVHRR.

На спутниках NOAA установлена аппаратура HIRS для определения температуры в тропосфере на разных высотах (вертикальные профили атмосферы) в полосе обзора 2240 км. Для этого HIRS содержит автоматический сканирующий спектрофотометр ИК-диапазона, использующий свойство углекислого газа изменять положение и ширину линии поглощения на длинах волн порядка 14–15 мкм в зависимости от давления. Этот же прибор позволяет оценивать общее содержание озона в столбе атмосферы по поглощению теплового излучения от поверхности Земли и атмосферы на длине волны 9.59 мкм.

Кроме указанной аппаратуры на спутниках установлены: прибор SSU для исследования стратосферы; микроволновый прибор MSU для определения температурных профилей стратосферы; аппаратура поиска и спасения по междуна-

родной программе Коспас/SARSAT; система ARGOS для сбора метеорологической и океанографической информации с автоматических метеостанций, морских буев и воздушных шаров. ARGOS позволяет следить за миграцией крупных животных и птиц, если к их телу прикреплены специальные малогабаритные передатчики.

Спутники серии “Ресурс-01” (Россия). Многозональная космическая информация высокого и среднего разрешения, поступающая с космических аппаратов (КА) “Ресурс-01” широко используется различными отраслями народного хозяйства и службами России, стран СНГ, а также в интересах наук о Земле. КА “Ресурс-01” запускаются на круговые солнечно-синхронные орбиты высотой 600-650 км, наклоном 98° . Период обращения спутников – 97.4 мин, разрешение на поверхности 150×250 м. В состав аппаратуры КА “Ресурс-01” входят: многоканальное сканирующее устройство высокого разрешения – МСУ-Э; многоканальное сканирующее устройство среднего разрешения с конической разверткой – МСУ-СК.

На КА “Ресурс-01” N4 установлен комплекс аппаратуры для изучения природных ресурсов Земли, экологического контроля, метеорологического обеспечения, проведения гелио- и геофизических наблюдений, исследования радиационного баланса Земли. Орбита КА “Ресурс-01” N4 – солнечно-синхронная. Местное среднее солнечное время в подспутниковой точке в средних широтах на нисходящей ветви (пролет в направлении север-юг) составляет около 10 час 15 мин, а на восходящей ветви (пролет в направлении юг-север) – около 20 час 50 мин. Ориентация КА трехосная, одна из осей направлена в нади́р, другая ось по вектору скорости. Передача данных размещенного на борту КА научно-информационного комплекса осуществляется по цифровой и аналоговой радиолиниям.

На рис.3.10 и 3.11 представлено два фрагмента космических снимков лесного пожара в районе реки Северная Двина, полученные с помощью радиометров с различным пространственным разрешением. На снимках видны очаги возгорания леса и шлейф дыма, распространяющегося на многие километры. Верхний снимок получен с помощью радиометра среднего разрешения МСУ-СК. Красной линией ограничена территория, изображенная на нижнем снимке, полученном практически одновременно с помощью радиометра высокого разрешения МСУ-Э.

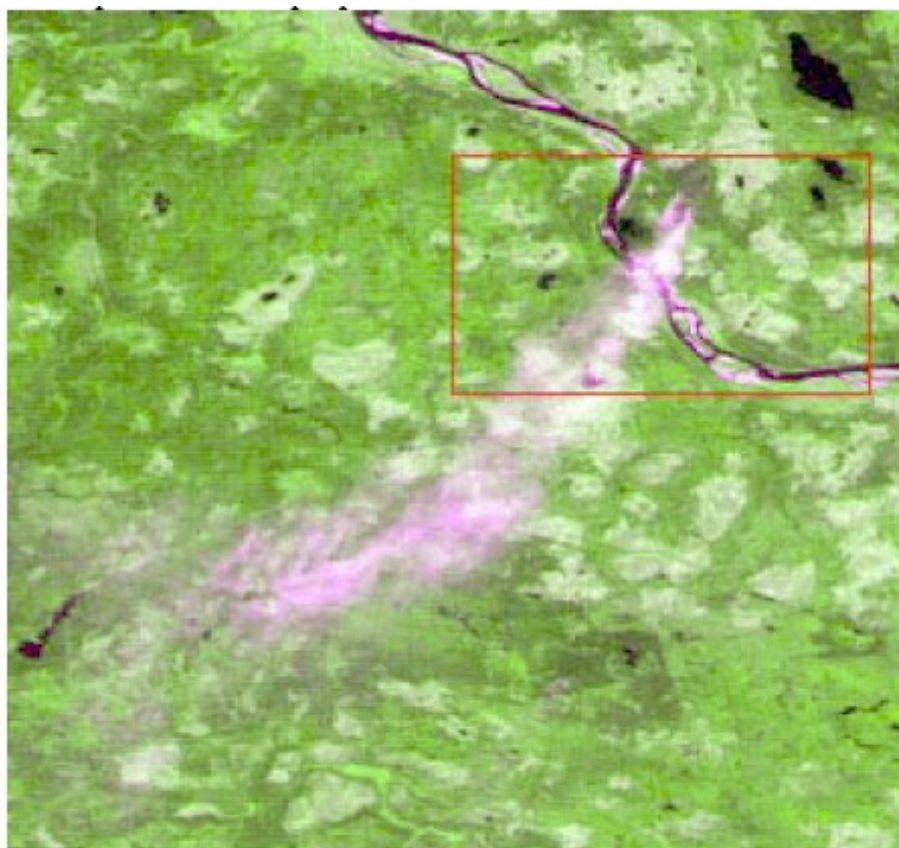


Рис.3.10. Космический снимок пожара сканером МСУ-СК.

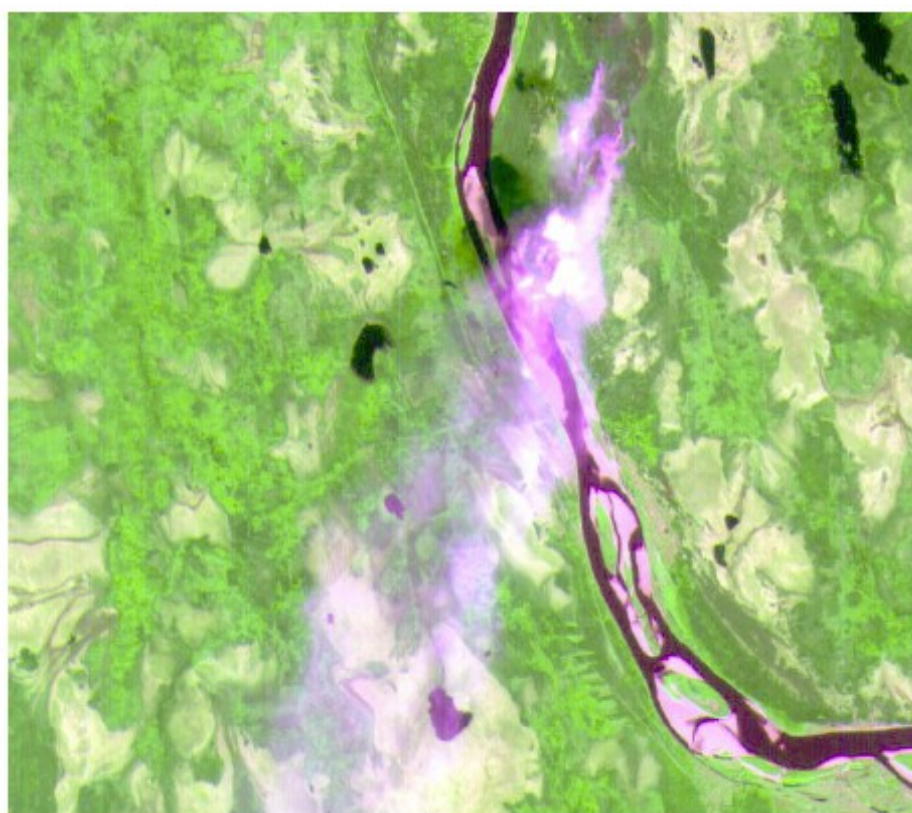


Рис.3.11. Космический снимок того же пожара, сделанный сканером МСУ-Э.

Спутники LANDSAT (США). Первый спутник LANDSAT (США) был запущен 23 июля 1972 г. Высота орбиты спутников LANDSAT 1, 2, 3 составляла 920 км, спутников LANDSAT 4, 5, 6, 7 (рис.3.12) – 705 км. Период обращения спутника LANDSAT-5 составляет 98 мин. Над одной и той же точкой поверхности пролетает один раз в 16 дней приблизительно в 9ч 45мин местного времени. Основными приборами спутников серии LANDSAT являются прибор MSS (Multi-Spectral Scanner) и TM (Thematic Mapper). MSS имеет спектральные каналы 0.49–0.605 мкм (зеленый участок спектра), 0.603–0.7 мкм (красный), 0.701–0.813 мкм (красный – ближний ИК), 0.808–1.023 мкм (ближний ИК), зона обзора 185×185 км. Сканирование осуществляется с помощью качающегося зеркала диаметром 30 см с частотой качания 13.62 Гц.

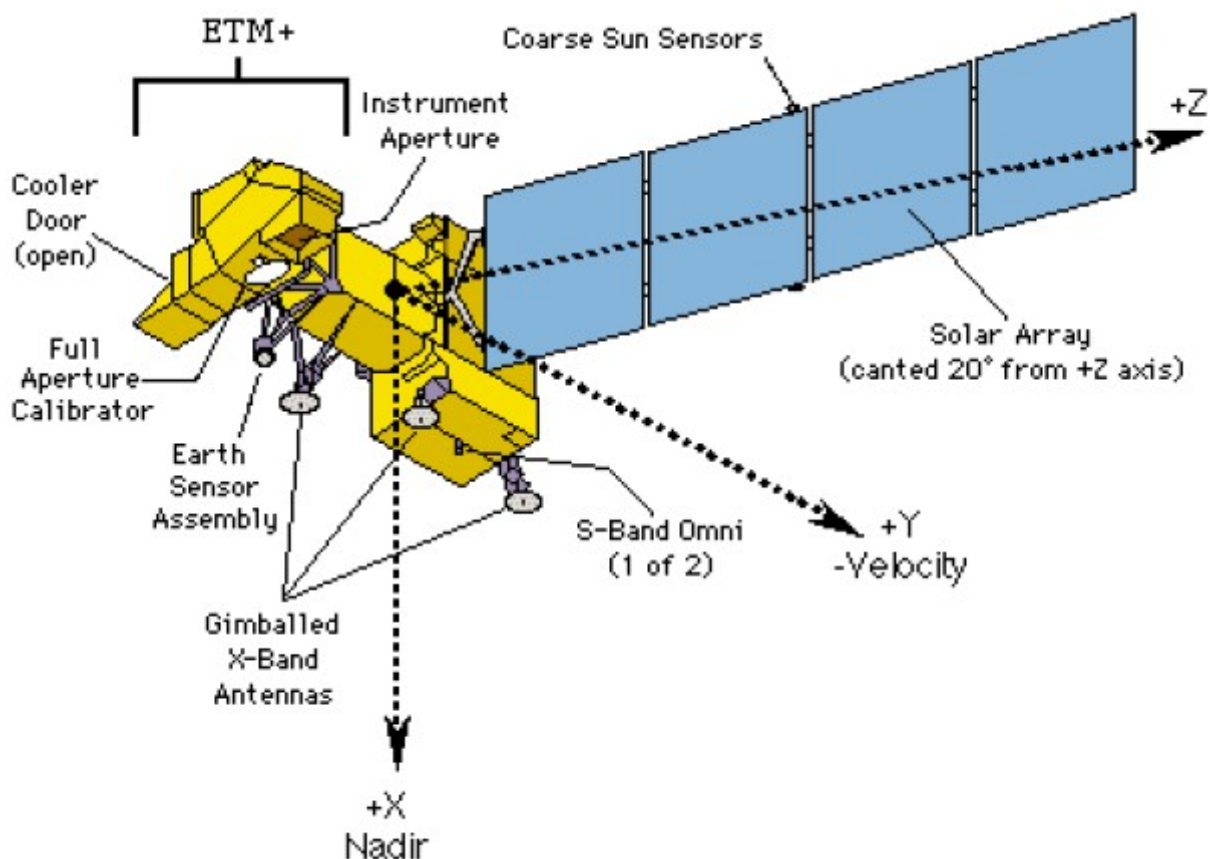


Рис.3.12. Схематическое изображение спутника LANDSAT-7.

Прибор MSS был одним из первых приборов, который позволил начать систематическое изучение поверхности Земли из космоса, рис.3.13. В связи с этим уместно напомнить, что в начале 70-х было только две великие космические державы - США и СССР. Советскому Союзу удалось запустить первый искусственный спутник (1957) и осуществить первый в истории человечества полет космического корабля с человеком на борту (1961). Но США, уже в то время, начала несколько программ автоматического дистанционного зондирования с передачей получаемых данных на Землю. Из таких программ стоит упомянуть спутник TIROS, который был запущен в 1960 г. для метеорологических наблюдений и спутник LANDSAT, запущенный в 1972 г с целью наблюдения поверх-

ности Земли в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах с достаточно высоким пространственным разрешением. Первый спутник серии LANDSAT назывался ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite) и с этого спутника начался непрерывный ряд наблюдений поверхности Земли. В конце 1999 г. на орбите находились спутник Landsat-5, запущенный в 1984 г. и спутник Landsat-7, запущенный 15 апреля 1999 г.

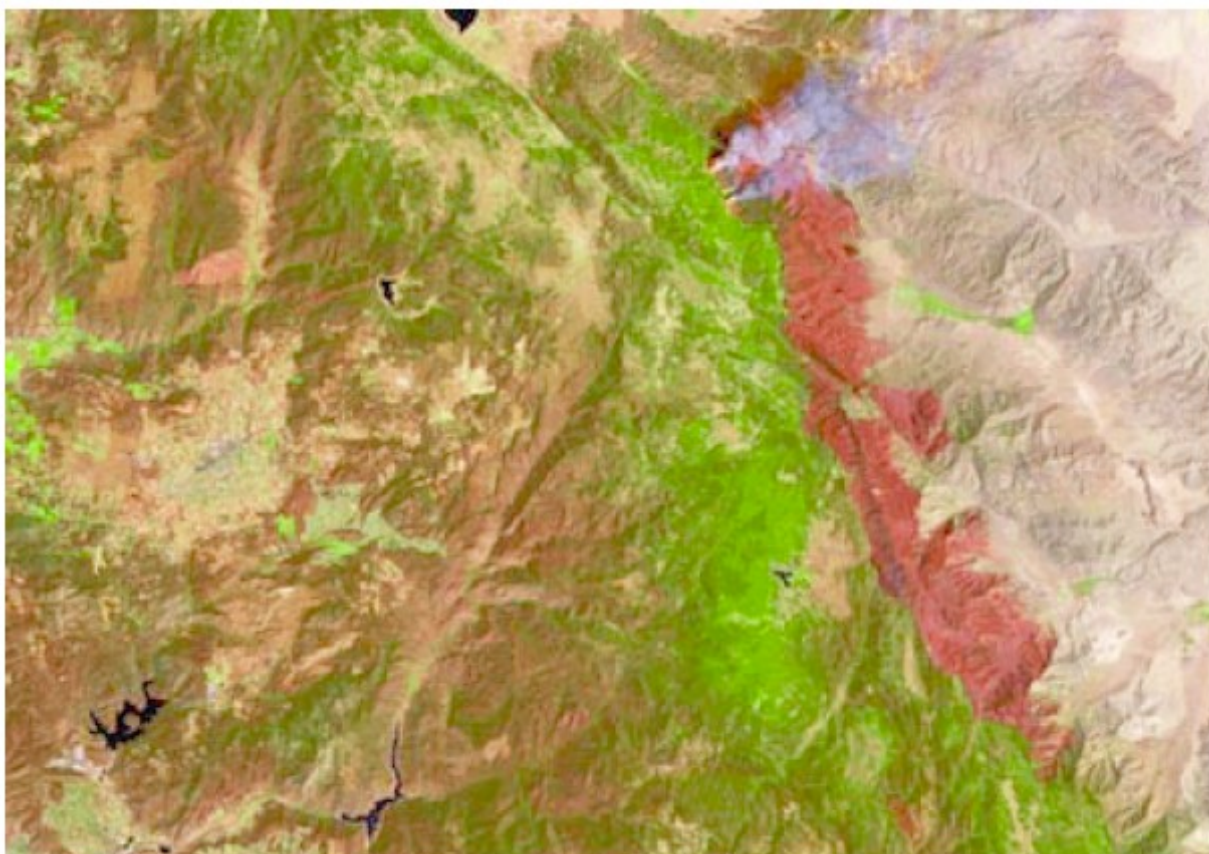


Рис.3.13. Космический снимок пожара, полученный спутником LANDSAT-7.

Прибор MSS на спутнике LANDSAT 1, 2, 3 являлся классическим сканером и работал следующим образом. Излучение, отраженное от поверхности Земли, собиралось телескопической системой (не показанной на рисунке) и направлялось на сканирующее зеркало. Это зеркало поворачивалось вокруг некоторой оси с периодом 3.3 миллисекунды, обеспечивая сканирование местности в направлении перпендикулярном движению спутника с углом зрения равным приблизительно 12° . Такой угол зрения при высоте спутника равной 920 км обеспечивал ширину полосы обзора равную 185 км. Отраженное от сканирующего зеркала излучение попадало на систему фильтров. Эта система обеспечивала разделение излучения на спектральные диапазоны. После этого излучение регистрировалось с помощью системы детекторов. В приборе MSS было предусмотрено по 6 детекторов для каждого спектрального диапазона. Это позволяло одновременно принимать рассеянное излучение от 6 полос шириной около 80 м каждая, обеспечивая, тем самым, пространственное разрешение на местности 80×80 м. Система детектирования преобразовывала принимаемое из-

лучение в цифровой сигнал в диапазоне от 0 – 255. Этот диапазон определяет яркостное (радиометрическое) разрешение прибора. Зарегистрированные сигналы с помощью системы телеметрии передавались на Землю, где из них формировались изображения для каждой из спектральных полос. Каждое из таких изображений состояло приблизительно из 7581600 элементов (пикселей).

Спутники SPOT (Франция). Согласно программе SPOT (System Probatoire D'Observation de la Terre) первый запуск искусственного спутника Земли (ИСЗ) был осуществлён в феврале 1986 г. В настоящее время на орбите функционируют спутники SPOT 1, 2, 4 и 5. Связь со спутником SPOT 3 была потеряна в 1996 г. Спутники находятся на солнечно-синхронной орбите. Самым последним и передовым по характеристикам в настоящее время является спутник SPOT 5. Спутник оснащен высокоточным стереоскопическим детектором, позволяющим получать стереоснимки для топографических целей и построения моделей рельефа, и двумя камерами высокого разрешения (High Resolution Geometric imagers), позволяющими получать черно-белые изображения с разрешением 5 м, а в режиме стереосъёмки 2,5 м и цветные - с разрешением 10 метров. Кроме того, на Spot 5 установлена камера Vegetation 2, позволяющая получать практически ежедневно снимки всей поверхности Земли с разрешением 1 километр.

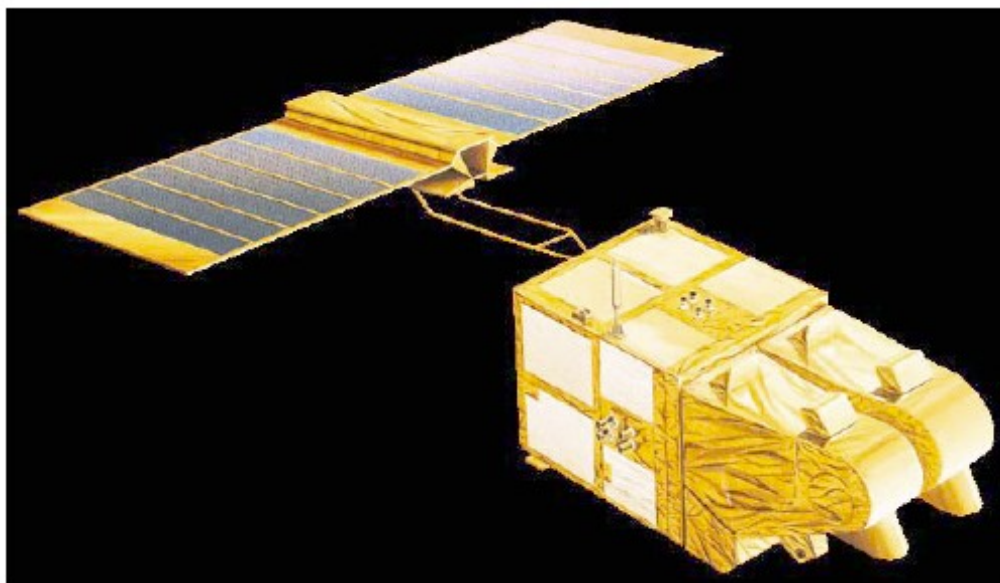


Рис.3.14. Спутник SPOT-5.

На борту спутников SPOT размещены многоэлементные сканирующие устройства SPOT HRV (High Resolution Visible), которые работают в многозональном (пространственное разрешение 20 м, спектральные диапазоны 0.50 – 0.59, 0.61 – 0.68, 0.79 – 0.89 мкм) и панхроматическом (разрешение 10 м) режимах. Спутник пролетает над одной и той же местностью каждые 26 дней, а полоса обзора прибора HRV составляет 117 км. В действительности наблюдение подстилающей поверхности может осуществляться в полосе 950 км. Это достигается с помощью поворотного зеркала. Особенностью спутников SPOT является возможность получать стереоизображения земной поверхности путем съемки одного и того же участка на двух последовательных витках.



Рис.3.15. Изображение Гаваны (Куба), полученное прибором HRV спутника SPOT-4.

Спутники ERS (Европейское космическое агентство). Спутник ERS-1 (рис.3.16) был запущен в июле 1991 г., ERS-2 (рис.3.17) – в апреле 1995 г. Высота орбиты 798×782 км с наклоном 98.54° и периодом обращения 100.67 мин. В состав бортовой аппаратуры включена радиолокационная станция микроволнового зондирования AMI (Active Microwave Instrument), которая обеспечивает три режима работы.

Режим построения радиолокационных изображений подстилающей поверхности с использованием синтезированной апертуры антенны (AMI-SAR image mode) применяется при наблюдении береговой зоны, полярных льдов (рис.3.18), при определении состояния поверхности моря, выявлении особенностей геологического строения земной поверхности, изучении растительного покрова. Сигналы, отраженные от поверхности Земли, могут приниматься двумя антеннами, расположенными одна над другой. По разности фаз их сигналов (интерферометрический метод измерения) можно определять высоту наземных объектов с точностью 10м.



Рис.3.16. Вид спутника ERS-1.

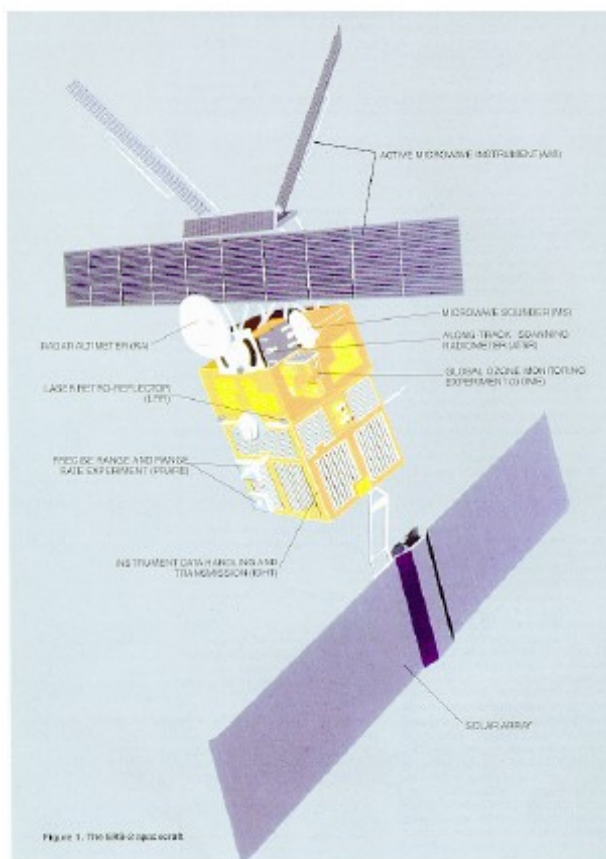


Рис.3.17. Вид спутника ERS-2.

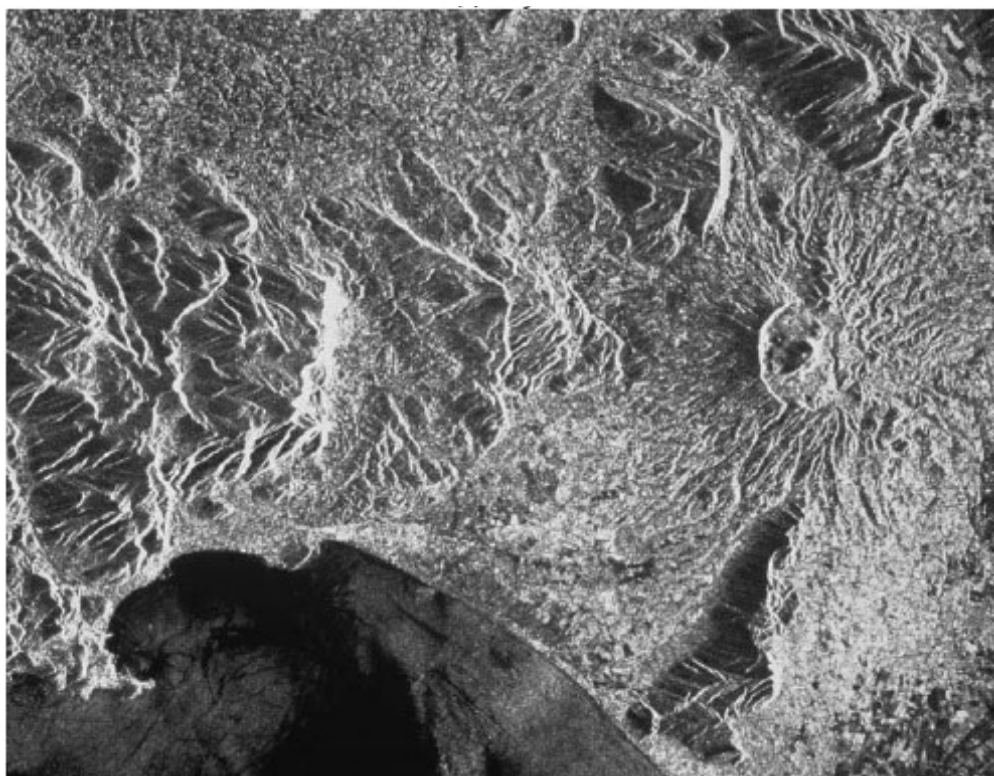


Рис.3.18. Изображение полярных льдов, полученное модулем AMI-SAR.

Режим изучения морских волн с использованием синтезированной апертуры антенны (AMISAR wave mode) обеспечивает определение направления и длины морских волн. Данный режим программно включается каждые 200-300 км, позволяя получать изображения размером 6×6 км, по которым можно оценивать характеристики морских волн.

Режим трехлучевого скаттерометра (AMI Scatterometer mode) предназначен для определения характеристик приповерхностных морских ветров. В этом режиме три передающие антенны формируют три луча, сканирующие в полосе шириной до 500 км, позволяя определять направление и скорость ветра. Элементы разрешения размером 50×50 км формируются с интервалом 25 км.

В состав измерительной аппаратуры входит также радиолокационный высотометр RA (Radar Altimeter) для определения скорости ветра, измерения характерной высоты волн, топографии морской поверхности, ледяного покрова и поверхности суши, построения контуров ледяных массивов, а также выявления границ морских льдов. Высотометр может работать в режиме исследования океана (Ocean Mode), обеспечивая точность измерения скорости волн 2 м/с и точность измерения высоты волн 0.5 м в диапазоне $1 \div 20$ м в пределах пятна размером $1.6 \div 2.0$ км, точность определения высоты подъема поверхности моря 10 см.

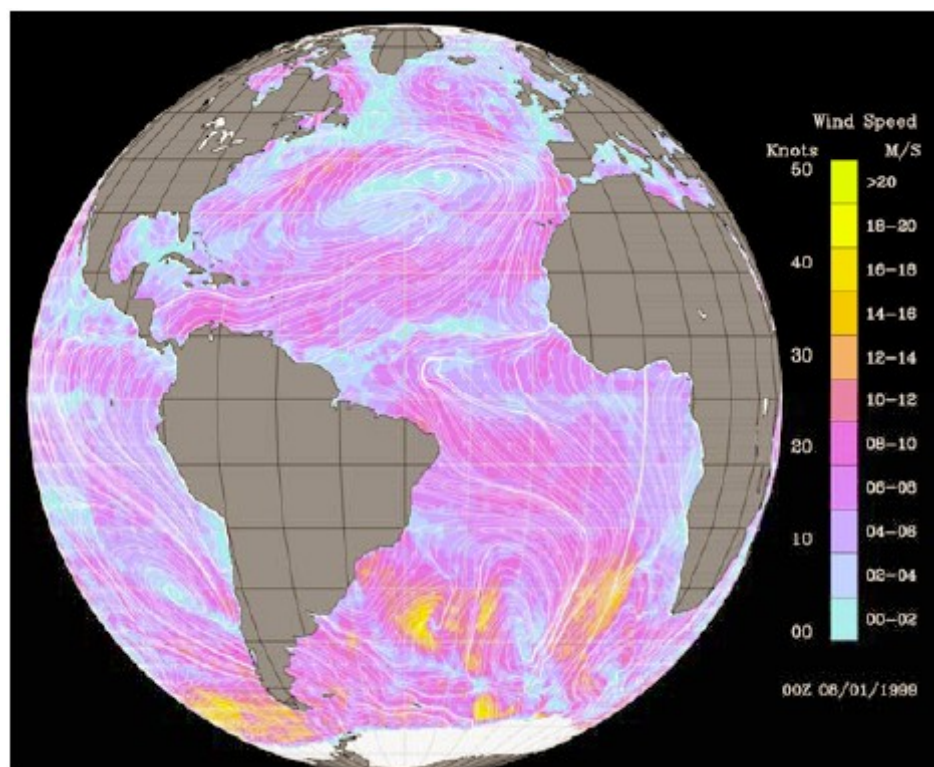


Рис.3.19. Направление ветров над поверхностью океана.

В режиме определения характеристик ледяного покрова (Ice Mode) высотометр работает с более низким пространственным разрешением (около 7 км). Этот режим используется при топографии ледяных покровов, определении типа льда и выявлении границ ледяного покрова.

Комплекс приборов ATSR (Along-Track Scanning Radiometer and Microwave Sounder) включает радиометр оптического диапазона и двухканальное микроволновое устройство вертикального зондирования. Радиометр предназначен для наблюдения поверхности моря (рис.3.20) и суши, измерения их температуры, температуры верхней облачности и обеспечивает прием излучения в спектральных каналах 0.65; 0.85; 1.27; 1.6; 3.7; 11 и 12 мкм с пространственным разрешением 1 км в надире.

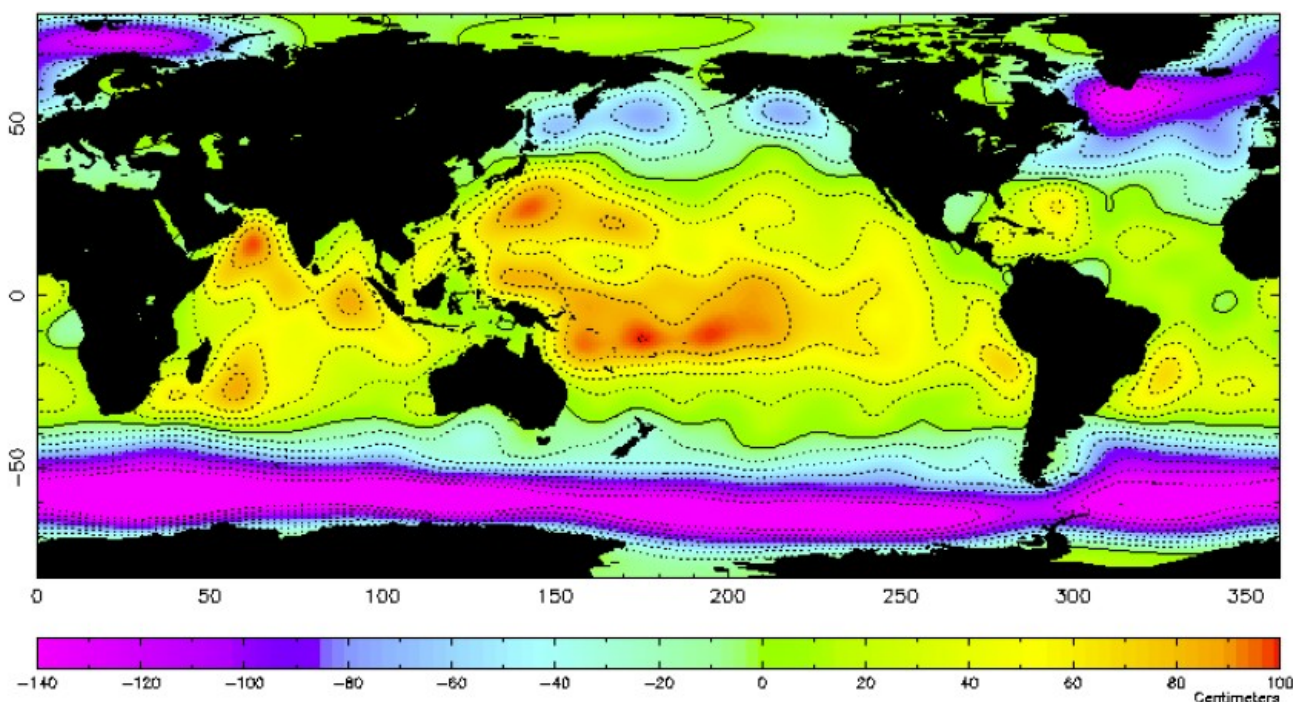


Рис.3.20. Топография мирового океана, полученная прибором ATSR.

Спектрометр GOME (Global Monitoring Experiment) используется для построения вертикальных профилей концентрации озона (O_3) и малых газовых компонентов (NO , NO_2 , BrO , H_2O) в тропосфере и стратосфере, измерения потоков солнечного излучения, отражаемого поверхностью Земли и рассеиваемого атмосферой. Прибор работает в ультрафиолетовом диапазоне в спектральных каналах 0.24-0.295; 0.29-0.405; 0.4-0.605 и 0.59-0.79 мкм. Каждый канал содержит решетку детекторов из 1024 фотодиодов, температура которых поддерживается в пределах 39-41 $^{\circ}C$ термоэлектрическими охладителями. Вертикальное разрешение при определении концентрации озона составляет 5 км. Полоса обзора изменяется от 120 до 960 км, а пространственное разрешение – от 40 $\times$ 40 до 40 $\times$ 320 км.

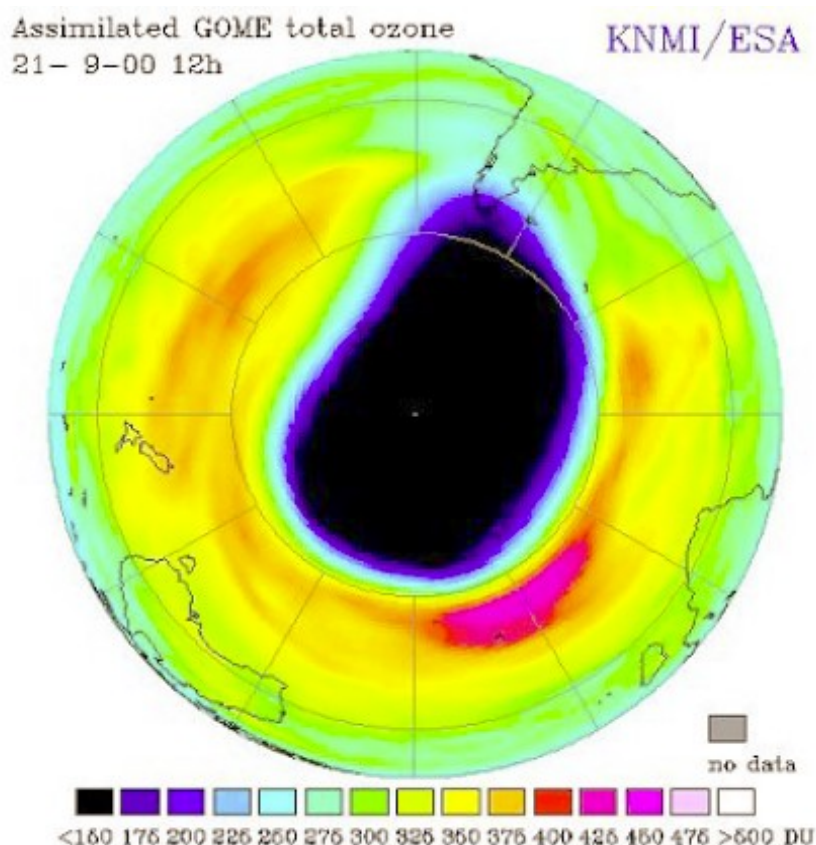


Рис.3.21. Профиль концентрации озона.

Аппаратура PRARE (Precise Range and Rate Equipment) обеспечивает определение параметров орбиты спутника путем одновременной передачи двух радиосигналов с разной частотой на сеть специальных наземных станций. Измеренная разница времени прихода сигналов позволяет выполнить коррекцию относительной дисперсии, которая обусловлена влиянием ионосферы. Информация о дальности до спутника и его радиальной скорости передается обратно на борт спутника и накапливается в специальном бортовом запоминающем устройстве, а затем передается в пункт приема информации при пролете над ним. Точность определения наклонной дальности до спутника составляет 4-8 см.

3.6. Анализ спутниковых изображений

Для эффективного использования данных ДЗ в ГИС нужно уметь извлекать полезную информацию из спутниковых изображений. Процесс интерпретации и анализа изображений ДЗ состоит из идентификации и/или измерения параметров целей наблюдения. Целями в ДЗ может быть любой объект, видимый на снимке и имеющий следующие характеристики:

- объекты могут быть представлены точками, линиями или полигонами. Это означает, что они могут иметь любую форму.
- объекты должны быть различимы друг от друга. Это означает, что изображение должно быть контрастным.

Наибольшее число интерпретаций и идентификаций объектов выполняется вручную или визуально, то есть человеком. В данном случае анализируется

аналоговая информация (фотография, макет, набросок). Если данные ДЗ преобразованы в цифровой формат, то аналитические операции проводят, используя компьютер. Цифровая обработка применяется для расширения возможностей визуальной интерпретации, для автоматизированного распознавания объектов, исключая человеческое вмешательство.

Ручная интерпретация и анализ берут начало со времен активного использования информации аэросъемки и практически не требует специализированного оборудования. Для цифровой обработки, напротив, необходимо дорогостоящее профессиональное оборудование. С другой стороны, визуальный анализ можно проводить только над однослойными изображениями, в то время как компьютерная техника способна работать с многослойными снимками. Цифровой анализ незаменим при одновременном анализе множества спектральных полос и обработке больших массивов данных.

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

Цветовой тон – это фундаментальный признак, по которому различают объекты. При помощи тона на изображении становятся различимы объекты с различной формой, размером, текстурой.

Форма относится к общему очертанию, структуре или схеме (иерархической структуре) индивидуальных объектов. Форма является одной из ключевых характеристик для интерпретации. Формы с правильными краями обычно представляют городские или сельскохозяйственные объекты, в то время как природные объекты, типа границ лесного массива, имеют неправильные формы, исключая те случаи, когда люди искусственно создают грани объектов.

Размер объектов в изображении – функция масштаба. Важно оценить размер объекта относительно других объектов в сцене, также как и абсолютный размер. Быстрая аппроксимация размера объекта может скорее привести процесс интерпретации к соответствующему результату. Например, если интерпретатор должен был различить зоны землепользования, он опознает область с рядом зданий на этой земле, при этом большие здания интерпретируются как фабрики или склады и им приписывается коммерческое использование, в свою очередь, малые здания указывают на использование в качестве жилья.

Структура относится к пространственному расположению различных объектов. Упорядоченное повторение схожих тонов и текстур позволяет отличать и, в конечном счете, распознавать модель. Хорошим 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. Неровные текстуры представляются обычно пятнистым тоном, где уровни серого цвета изменяются резко на малой площади, принимая во внимание, что гладкие текстуры имеют незначительные тональные изменения. Гладкие текстуры – это наиболее часто встречающийся результат отображения однородных поверхностей, таких как поля, асфальт или пастбища. Объект с шероховатой поверхностью и неправильной структурой,

типа лесопосадок, приводит к неровной текстуре. Текстура - один из наиболее важных элементов процесса интерпретации объектов и их особенностей.

Тень тоже полезна при интерпретации, поскольку она способна снабжать наблюдателя информацией относительно профиля и высоты объектов. Однако, тени могут также усложнять интерпретацию объектов, попадающих в их зону действия, так как объекты в пределах теней менее заметны и различимы от их окружения. Тень важна при идентификации топографии и рельефов.

Ассоциация привлекает во внимание зависимость между другими распознаваемыми объектами или их особенностями вблизи наблюдаемого объекта. Идентификация особенностей объектов, которые находятся в связи с особенностями других объектов, облегчает процесс распознавания. В примере, приведенном выше, коммерческие свойства могут быть обусловлены близостью объекта к крупным транспортным путям, при этом следует помнить, что жилые районы располагаются совместно со школами, детскими площадками и стадионами.

3.7. Связь информации ДЗ с реальным миром

Результатом процедуры обработки данных ДЗ является цифровая карта, координаты объектов которой ссылаются на действительные координаты объектов реального мира, которые они представляют. Положение объектов на сферической поверхности земного шара измеряют в градусах широты и долготы, известных как географические координаты. Значения широты равняются нулю на экваторе и достигают 90 градусов на Северном и Южном полюсах. Значение долготы равно нулю на гринвичском меридиане и увеличивается до 180 градусов по мере удаления в западном или восточном направлении от Гринвичского меридиана, рис.3.22. Градусы подразделяются на градусы, минуты и секунды.

На карте положения объектов измеряются в двухмерной системе плоских координат. Системы плоских координат описывают расстояние от точки отсчета с координатами (0, 0) по двум отдельным осям – горизонтальной оси X, представляющей восток-запад, и вертикальной оси Y, представляющей север-юг.

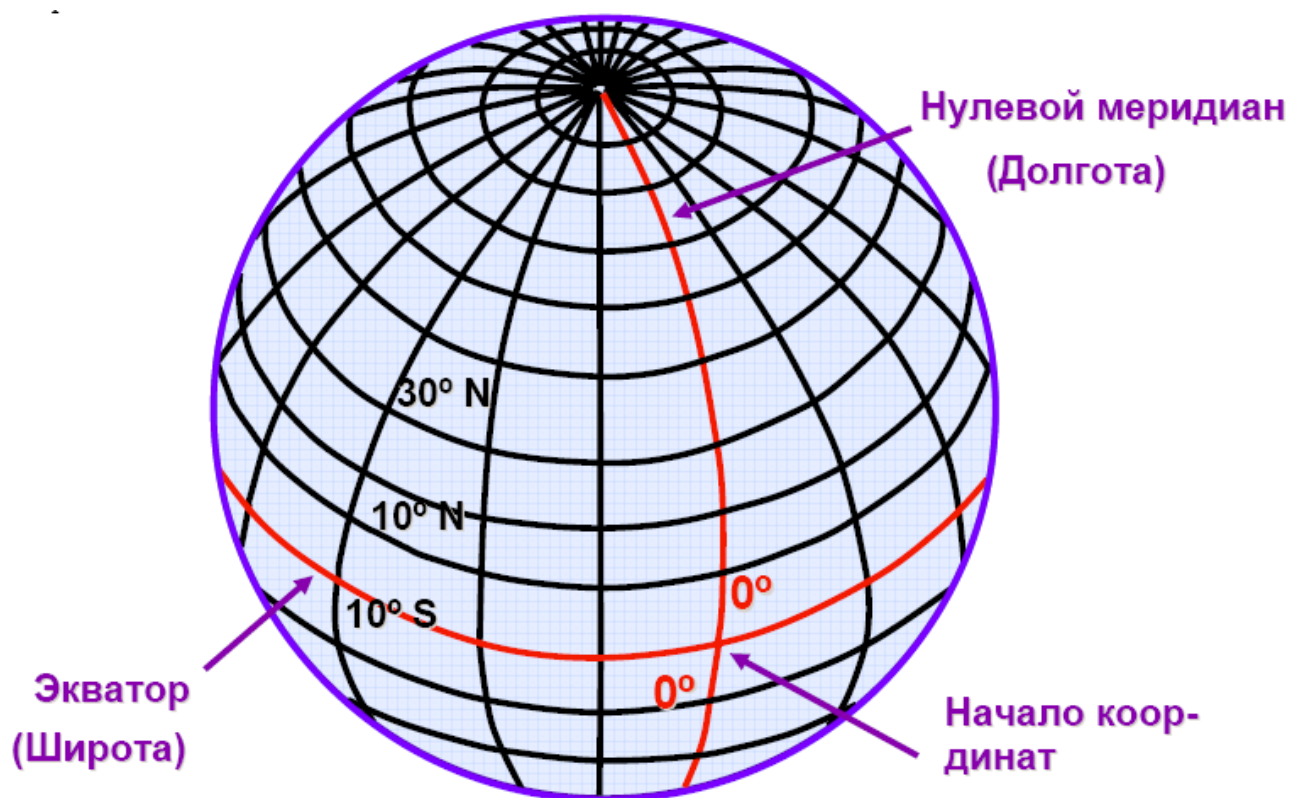


Рис.3.22. Координатная сетка на земной поверхности.

Поскольку земной шар имеет круглую форму, а карты создаются на плоской поверхности, для перенесения координат со сферической поверхности на плоскую поверхность необходимо использование математической формулы. Результатом такой операции является картографическая проекция - определенный способ отображения одной поверхности на другую, устанавливающий аналитическую зависимость между координатами точек эллипсоида (сферы) и соответствующих точек плоскости, рис.3.23.

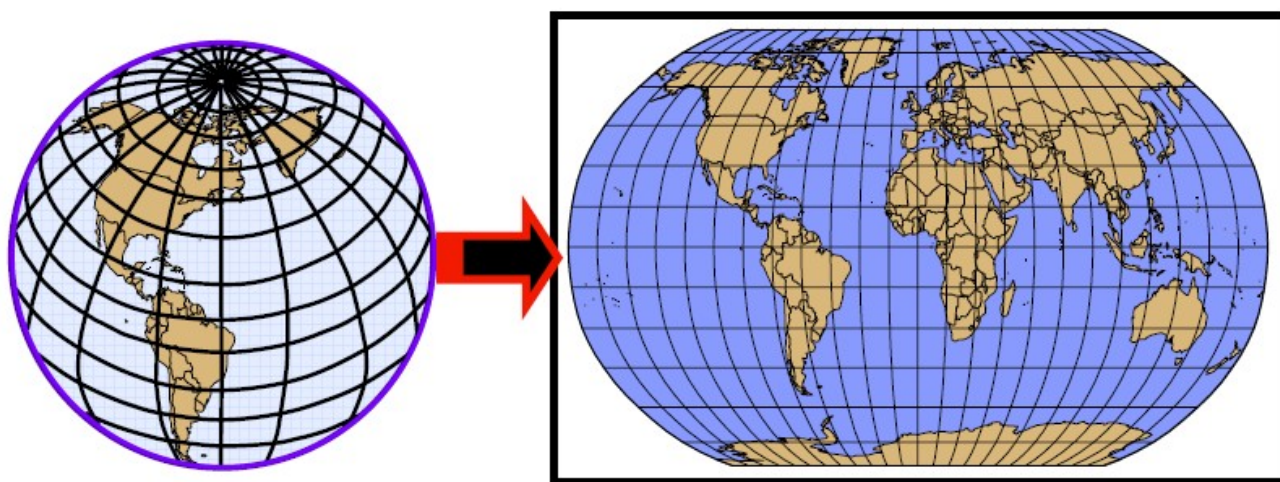


Рис.3.23. Операция картографического проецирования.

Картографическая проекция осуществляет перенос координат со сферической поверхности земного шара на плоскость карты. Подобный процесс поро-

ждает искажения формы, площади, расстояния и направления. К счастью, существует несколько разновидностей картографических проекций, которые различаются по степени своей пригодности для представления определенных частей земной поверхности. Некоторые картографические проекции сводят к минимуму искажения по одному параметру за счет увеличения искажения по другим параметрам, в то время как другие картографические проекции пытаются минимизировать все искажения в равной степени.

Ниже приводятся виды земного шара, изображенные в четырех различных проекциях. Первая проекция, которая называется проекцией Меркатора, является равновеликой, то есть сохраняющей формы в пределах небольших площадей, рис.3.24. Показания компасной стрелки в этой проекции также представляются точными. Проекция Моллвейде является проекцией точных форм, то есть стремится к сохранению свойств формы объектов, рис.3.25. Проекция Робинсона представляет собой пример компромиссной проекции: она пытается уменьшить искажение по нескольким параметрам и то же время не сохраняет точность ни по одному из параметров. Проекция Робинсона уменьшает искажения формы и площади, рис.3.25. Наконец, Азимутальная проекция является проекцией равных расстояний, рис.3.26.

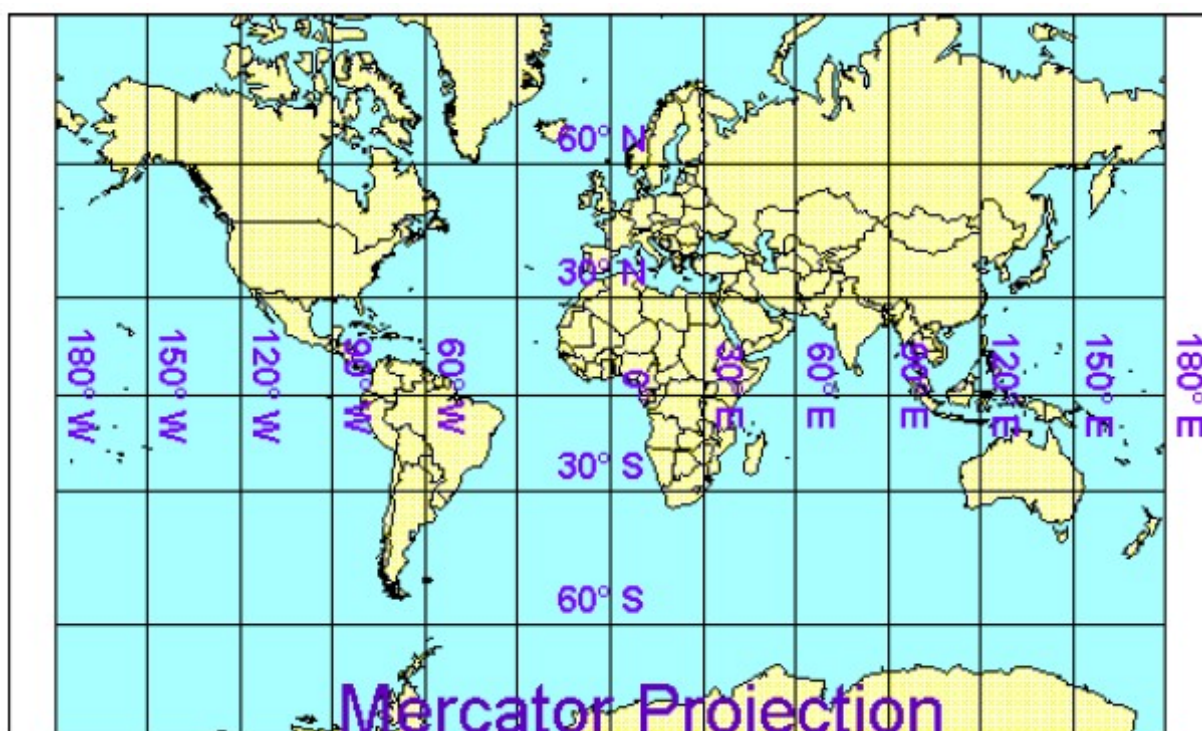


Рис.3.24. Проекция Меркатора.

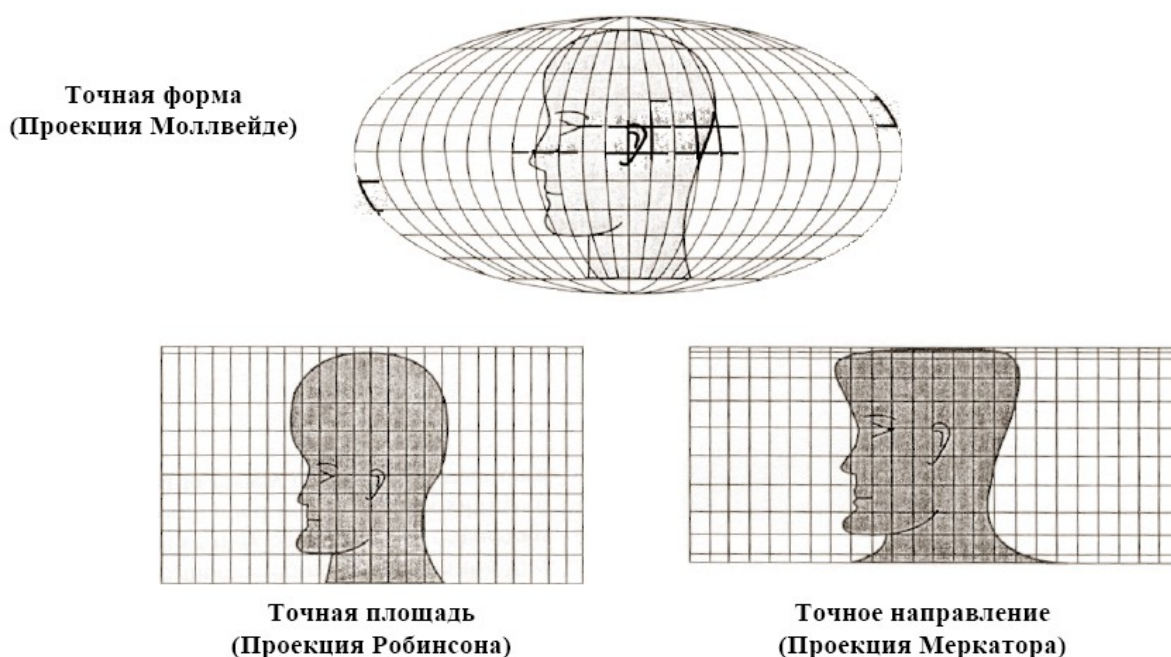


Рис.3.25. Сравнение картографических проекций.



Рис.3.26. Азимутальная проекция.

3.8. Глобальная система позиционирования

В последние годы всё чаще в обыденной жизни можно встретить аббревиатуру GPS, которая расшифровывается как Global Positioning System – Глобальная Система Позиционирования. Эта система 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 десятков километров до нескольких миллиметров) определить месторасположение объекта на земной поверхности.

Идея создания системы глобального позиционирования возникла в 50 гг. прошлого столетия и нашла свое воплощение в Университете Джона Хопкинса. GPS была создана по заказу Министерства Обороны США в 1969 году и изначально состояла из 24 спутников, вращающихся по 6 круговым орбитам на высоте около 20.2 км над уровнем моря с наклоном 55° (рис.3.27), и сети специальных наземных станций слежения, обеспечивающих регулярное определе-

ние параметров движения спутников и коррекцию бортовой информации об их орбитах. Спутники передают на Землю сигналы малой мощности, но её вполне достаточно для местонахождения любого объекта. Эта замечательная система обошлась США в 12 млрд. долларов.

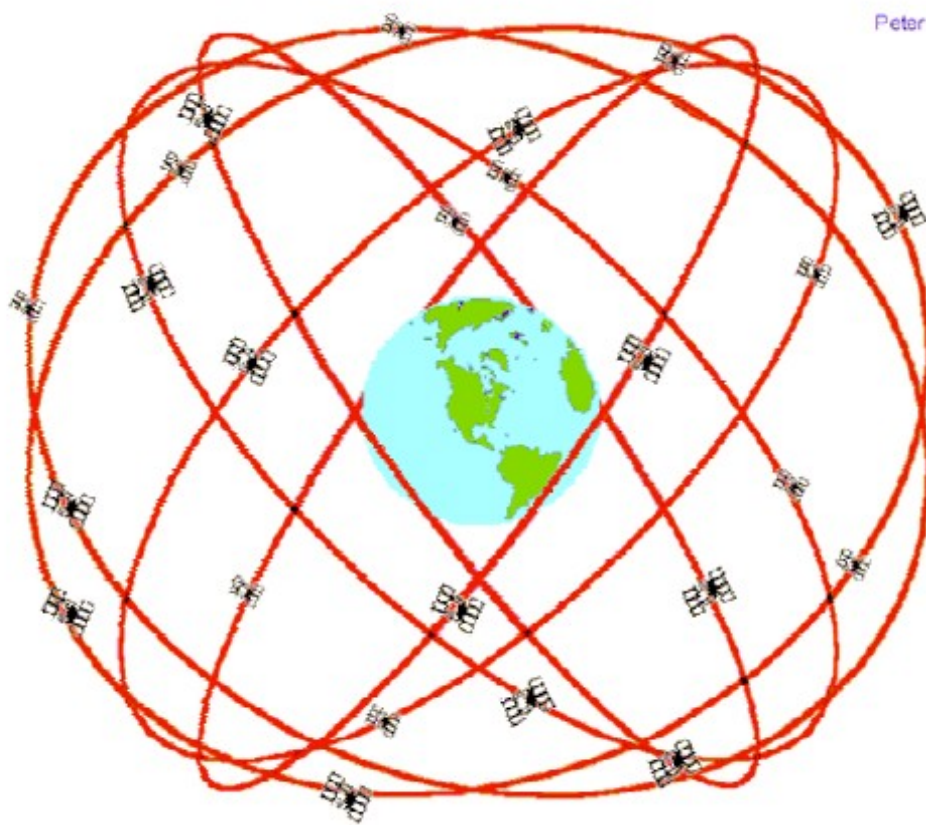


Рис.3.27. Схематическое расположение GPS спутников на орбитах.

Каждый современный спутник на своем борту несёт ряд высокотехнологического оборудования, основу которого составляют:

- четверо атомных часов;
- три кадмий-никелевые батареи;
- две солнечные батареи мощностью 1136 Вт;
- антенна коротковолнового диапазона для управления спутником;
- 12-ти элементная антенна длинноволнового диапазона для связи с пользователем.

В настоящее время используются GPS-приемники, размер которых сравним с размером сотового телефона, а вес составляет несколько сотен граммов. При этом GPS-приемник сообщает пользователю не только 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 с точностью не менее 0.1 с;
- вычисление истинного путевого угла объекта;
- прием и обработку вспомогательной информации.

На рис.3.28 пояснен принцип связи GPS приемника со спутниками и определения координат объекта.

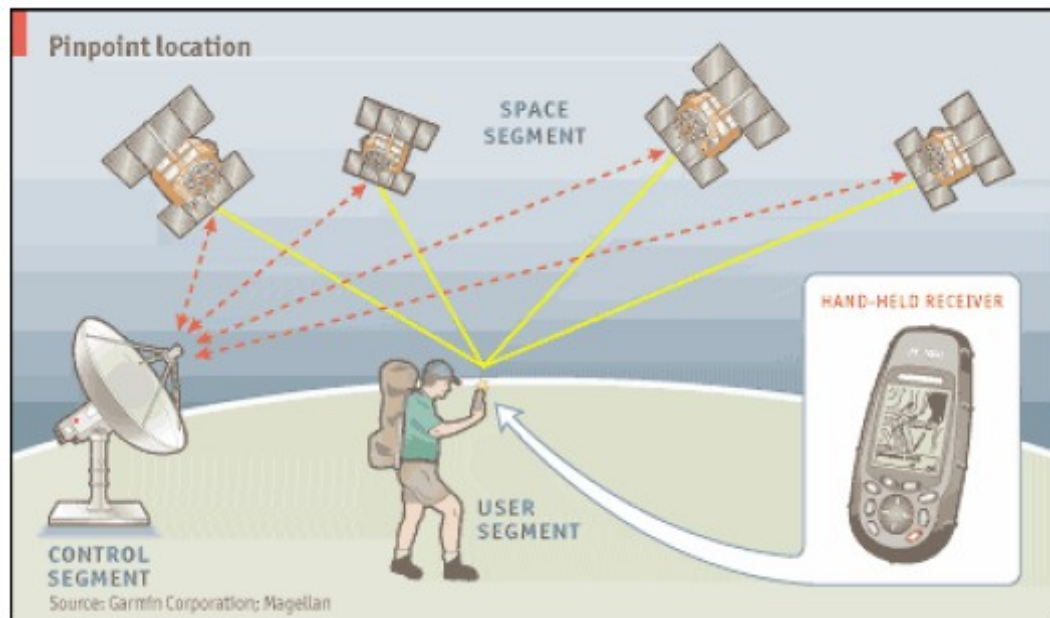


Рис.3.28. Связь GPS приемника со спутниковой системой.

В настоящее время на Земле установлено пять крупных контрольных станций, осуществляющих мониторинг и обратную связь с GPS спутниками. Управляющая станция находится в США (штат Колорадо), остальные станции распределены по всему миру: Гавай (Тихий океан), о. Вознесения (Атлантический океан), о. Диего Гарсия (Индийский океан), о. Кважален (Тихий океан).

GPS была разработана для военных целей: безошибочное перемещение отрядов по местности, оптимальное развертывание артиллерии, определение кратчайшего пути до объекта уничтожения. В начале 80-х гг. прошлого столетия GPS стала доступна и гражданскому населению. Теперь практически каждый житель Земли может по достоинству оценить функциональные возможности GPS, причем совершенно бесплатно (на самом деле услуги GPS во многих странах учтены в налоговых сборах).

GPS используется не только на земле, но также на море и в воздухе. GPS призывают на помощь везде, за исключением тех мест, где невозможно принимать сигнал (пещеры, шахты, полости).

Области применения GPS чрезвычайно широки. Это и навигация любых подвижных объектов – частных автомобилей, инкассаторских машин, кораблей и самолетов. Землеустроительные задачи, картография и координирование строительных объектов относятся к такой группе приложений, как измерение Земли и ее поверхности, рис.3.30. Здесь могут использоваться не только отдельные приемники, но и целые измерительно-вычислительные комплексы, точность измерений которыми доходит до долей сантиметра. На основе сочета-

ния возможностей GPS и других технических средств создаются информационно-измерительные системы, позволяющие получать новые качества в решении старых задач.

В качестве реального примера GPS подсистемы можно привести интегрированную систему координации транспорта Axiom.Logistics. Схема работы системы представлена на рис.3.32. Основные функциональные особенности системы Axiom.Logistics:

- Оперативное получение информации о местоположении каждого транспортного средства и груза;
- Доступ через web-интерфейс Axiom.Logistics к карте с координатами и маршрутом транспортного средства;
- Контроль графика и точности прохождения маршрута;
- Возможность экстренной связи с транспортным средством;
- Ведение базы данных клиентов, перевозчиков, транспортных средств и грузчиков в Axiom.Logistics;
- Автоматизация процедуры оформления транспортных и таможенных документов в Axiom.Logistics;
- Надежность системы, определяемая зрелостью технологий GPS и GSM;
- Низкие затраты на оборудование (используется стандартное оборудование);
- Низкие затраты на обмен информацией (используется дешевый SMS-трафик + специальный тариф);
- Безопасность доступа к данным Axiom.Logistics;
- Комплексное web-решение;
- GPS/GSM – устройство в транспортном средстве;
- Операторский центр приема и обработки SMS-сообщений при движении по маршруту в Axiom.Logistics;
- Сервер анализа и визуализации данных (SMS - сообщений).

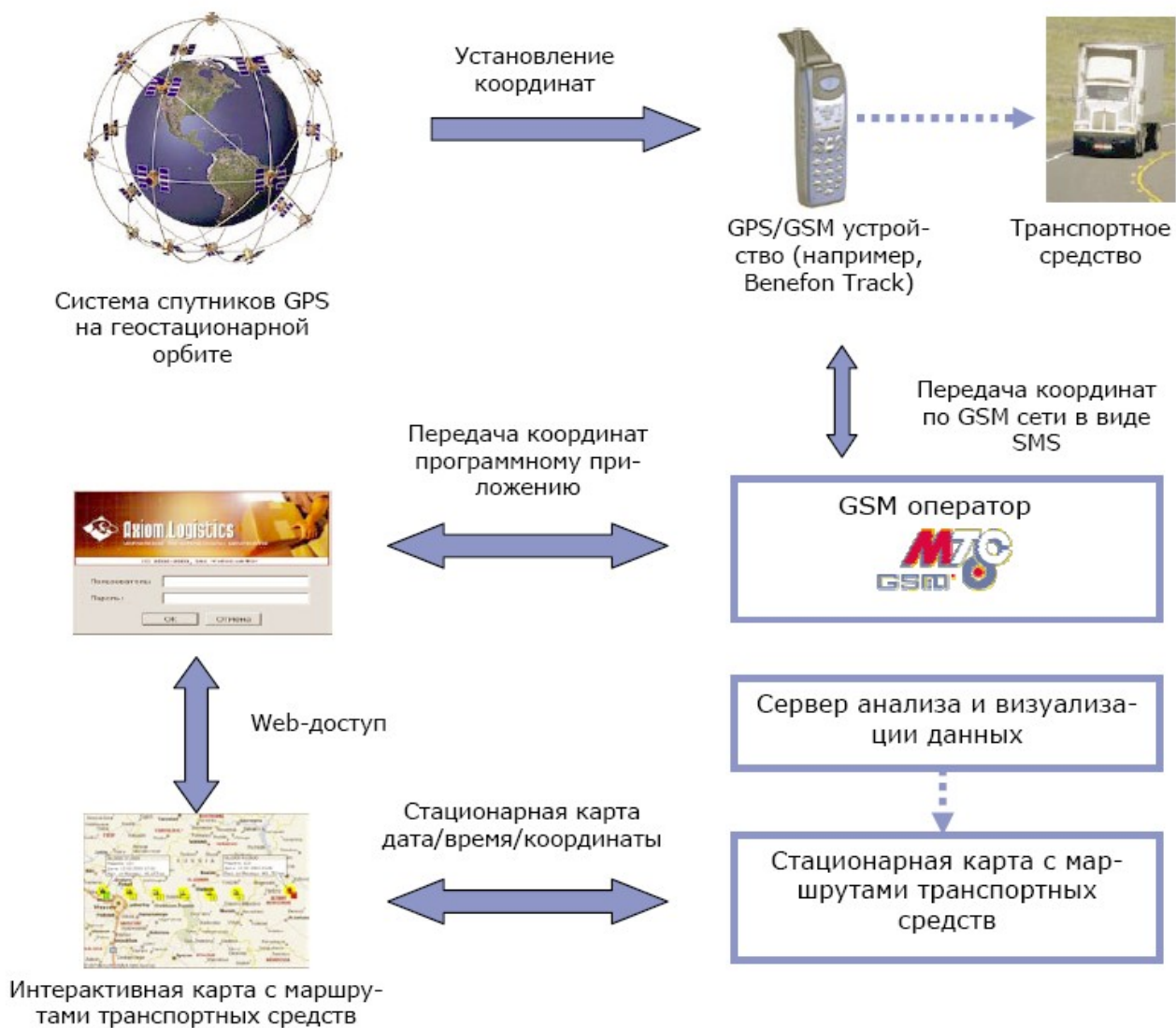


Рис.3.32. Схема работы GPS/GSM системы Axiom.Logistics.

Тема 4. Проектирование и обзор современных ГИС.

4.1. Этапы разработки ГИС

Разработка программной оболочки ГИС состоит из шести этапов:

1. Анализ требований, предъявляемых к ГИС
2. Определение спецификаций
3. Проектирование системы
4. Кодирование
5. Тестирование
6. Эксплуатация и обслуживание

Следует отметить, что для реализации каждого из этапов временные затраты различны, рис.4.1.



Рис.4.1. Затраты времени на реализацию основных этапов разработки ГИС.

Кратко проанализируем каждый из этапов. На первом этапе производится **анализ требований**, предъявляемых к разрабатываемой системе, которые сосредоточены в интерфейсе между этой системой и пользователями, которые будут её эксплуатировать. В анализ включаются такие вопросы, как время обработки информации, стоимость обработки, вероятность ошибки и др. Анализ требований может способствовать лучшему пониманию собственно решаемой проблемы и компромиссных ситуаций, что помогает выбору наилучшего решения. Следует выявить пространственно-временные ограничения, налагаемые на систему, которые в будущем могут претерпеть изменения, а также средства, используемые в её различных версиях для разных применений.

При создании ГИС перед коллективом разработчиков сразу же возникает множество проблем как технологических, так и концептуальных. Необходимо определить основные понятия, объекты и процедуры обработки информации, которые будут лежать в основе ГИС. Подходить к решению этой задачи необходимо очень ответственно, так как именно концепция будущей системы и со-

вершенство модели данных определяет её успех и живучесть на рынке. При этом разработчикам приходится учитывать множество факторов – достоинства и недостатки концепций уже существующих систем, постоянно изменяющиеся требования со стороны прикладных задач, изменения в информационных технологиях и многое другое.

На этапе **определения спецификаций** осуществляется точное описание функций системы, задается структура входных и выходных данных, решается комплекс вопросов, имеющих отношение к структуре файлов, организации доступа к данным, обновлению и удалению последних. Спецификации выполняют только те функции, которые система должна выполнять, не указывая, каким образом это достигается. Составление подробных алгоритмов реализации функций системы на данном этапе не осуществляется.

На этапе **проектирования** разрабатываются алгоритмы, задаваемые спецификациями, и формируется общая структура информационной системы. Разрабатываемую систему разбивают на небольшие части таким образом, чтобы ответственность за реализацию каждой такой части можно было возложить либо на одного разработчика, либо на группу исполнителей. При этом для каждого определенного таким образом модуля системы должны быть сформулированы предъявляемые к нему требования: реализуемые функции, размеры модулей, время выполнения и другие.

Следующий этап – **кодирование**. Этот этап наиболее простой. При его реализации используются алгоритмические языки высокого уровня, методы структурного и объектно-ориентированного программирования. Кодирование освоено лучше, чем любой другой этап разработки программного обеспечения.

Этап тестирования – один из самых дорогостоящих этапов. Затраты на тестирование составляют половину всех расходов на создание системы. Плохо спланированное тестирование часто приводит к увеличению сроков и срыву графика работ. В процессе тестирования используются данные, характерные для системы в рабочем состоянии. План проведения испытаний должен быть составлен заранее, а большую часть тестовых данных следует определить на этапе проектирования системы.

Тестирование подразделяется на три стадии:

- автономное;
- комплексное;
- системное.

При **автономном** тестировании каждый модуль проверяется с помощью данных, подготавливаемых программистами. При этом программная среда модуля имитируется с помощью программы управления тестированием, содержащей фиктивные программы вместо реальных подпрограмм (так называемые “заглушки”), к которым имеются обращения из данного модуля.

В процессе **комплексного** тестирования производится совместная проверка групп программных компонентов.

Системное или оценочное тестирование – это завершающая стадия проверки системы, то есть испытание системы в целом с помощью независимых тестов.

4.2. Особенности проектирования ГИС

По сути, геоинформационные системы представляют собой системы управления базами данных (СУБД). Но есть одно важное отличие – в ГИС совместно с атрибутивными данными обрабатывается и пространственная (географическая) информация. Поэтому при проектировании ГИС специалисты используют те же самые методики и техники, что и при разработке обычных СУБД.

Любая БД содержит информацию об определенной предметной области. Предметной областью называется определенная сфера реального мира, которая представляет интерес для изучения.

Первый этап проектирования любой информационной системы – это формализация задачи, т.е. на этом этапе строят инфологическую модель предметной области. Создание оптимальной инфологической модели включает в себя исследование информационных потоков, характерных для данной предметной области, установление объектов предметной области и описание связей, существующих между ними. Инфологическая модель создается в любом случае, независимо от программноаппаратной базы, на которой будет строиться информационная система.

Инфологическую модель используют в качестве фундамента для строительства датологической модели БД, которая отображает логические связи между элементами данных независимо от их содержания и среды хранения. На данном этапе необходимо учитывать различные ограничения, которые накладываются ПО на структуру и функциональные особенности.

На следующем этапе создается физическая модель базы данных, которая связывает датологическую модель с конкретной средой хранения. Это очень важный этап, поскольку на нем ведется разработка элементов пользовательского интерфейса, решаются вопросы целостности данных и надежности системы, распределяются права доступа и выбираются средства и методы защиты от нелегального доступа.

Проектируя географические информационные системы, помимо вышесказанного необходимо выполнить следующие действия:

- выработать требования, касаемые исходного картографического материала (нужный масштаб, проекция, система координат);
- определить размерность географических данных, с которыми придется работать (двумерные 2D и/или трехмерные 3D), а также установить модель представления пространственных данных (векторная и/или растровая);
- спроектировать послойный состав пространственной информации ГИС;
- установить наличие цифровых карт интересующих территорий.

Работая над созданием ГИС, нельзя забывать о вопросах финансирования проекта. ГИС-проекты обычно очень длительны, поэтому проблемы в финансировании могут привести к закрытию работ. Рекомендуется иметь несколько источников финансирования плюс ко всему нужно предусмотреть вариант самофинансирования проекта.

4.3. Программные средства разработки ГИС

Рассмотрим некоторые вопросы этапа кодирования программного обеспечения. Сначала дадим два важных определения.

Программа (program, routine) – последовательность команд и данных к ним, которые предназначены для управления конкретными компонентами системы обработки данных в целях реализации определенного алгоритма.

Программное обеспечение (ПО, software) – совокупность программ системы и программных документов, необходимых при эксплуатации этих программ. Различают системное и прикладное программное обеспечение.

Системное ПО (system software) включает программы, необходимые для согласования работы всего вычислительного комплекса при решении различных задач, а также при разработке новых программ.

Прикладное ПО (application software) разрабатывается и используется для решения конкретных задач пользователей ЭВМ.

ПО ГИС (GIS software) поддерживает тот или иной набор функциональных возможностей ГИС и включает специализированные программные средства, такие как:

- универсальные полнофункциональные ГИС (full GIS);
- инструментальные ГИС (GIS software tools);
- картографические визуализаторы (map viewer);
- картографические браузеры (map browser);
- средства настольного картографирования (desktop mapping);
- информационно-справочные системы (help-desk system).

Кроме того, существуют специальные программные средства, обслуживающие отдельные функциональные группы:

- конвертирование форматов;
- оцифровку;
- векторизацию;
- создание и обработку цифровых моделей рельефа;
- взаимодействие с системами спутникового позиционирования.

Комплект поставки программного обеспечения ГИС может включать отдельные функциональные модули, приобретаемые и используемые в наборе, обеспечивающем решение задач.

В комплексе с ПО ГИС используются такие программные продукты как:

- настольные издательские пакеты (Adobe Page Maker, Quark Xpress, Adobe InDesign);
- пакеты статистического анализа (Statistica);
- системы управления базами данных (MS Access, Oracle, dBase);
- системы автоматизированного проектирования (AutoCAD);
- электронные таблицы (MS Excel);
- средства цифровой обработки изображений (Adobe Photoshop).

ПО для разработки ГИС можно разделить на три группы:

1. Системы с широкими возможностями, включающими ввод данных, хранение, сложные запросы, пространственный анализ, вывод данных. Такие системы имеют собственные языки программирования, которые позволяют

расширять данную систему функциями пользователей (ArcInfo). Разработку такой системы можно сравнить с разработкой обычных программ под конкретную операционную систему. Только в данном случае в роли операционной системы будет выступать инструментальная ГИС, а в роли программы – новые функции разработчиков, которыми эта ГИС будет дополнена.

2. Программные компоненты или библиотеки, которые содержат в себе ряд полезных функций (MapObjects, GeoConstructor). Используя эти функции и ПО из третьей группы, разработчики могут создать новую систему, которая будет функционировать в операционной системе, под которую она разрабатывалась.

3. Среда разработки ПО на различных языках программирования (Visual C++, Visual Basic, Delphi). Используя их, разработчик может часть работы в новой системе переложить на программные компоненты и библиотеки из второй группы, а может создать абсолютно новую систему без привлечения дополнительных вспомогательных средств.

4.4. Инструментальная ГИС ARC/INFO 7.2.1.

Программный продукт ARC/INFO – это одна из первых профессиональных ГИС, ориентированная на работу с пространственной информацией, хранимой в базе данных. В результате её внедрения произошёл настоящий переворот в цифровой картографии и в способах работы с пространственной информацией. ARC/INFO состоит из базового комплекта программ и дополнительных модулей, которые могут приобретаться отдельно в дополнение к базовому комплекту. Базовый комплект программного обеспечения представляет собой полнофункциональную ГИС для работы в различных прикладных областях. Он поддерживает весь цикл работ по созданию и использованию ГИС от ввода данных и их редактирования до организации информационных запросов анализа пространственной информации и подготовки чистовой картографической продукции в виде твёрдых копий. На рис. 4.2. представлен интерфейс ГИС ARC/INFO.

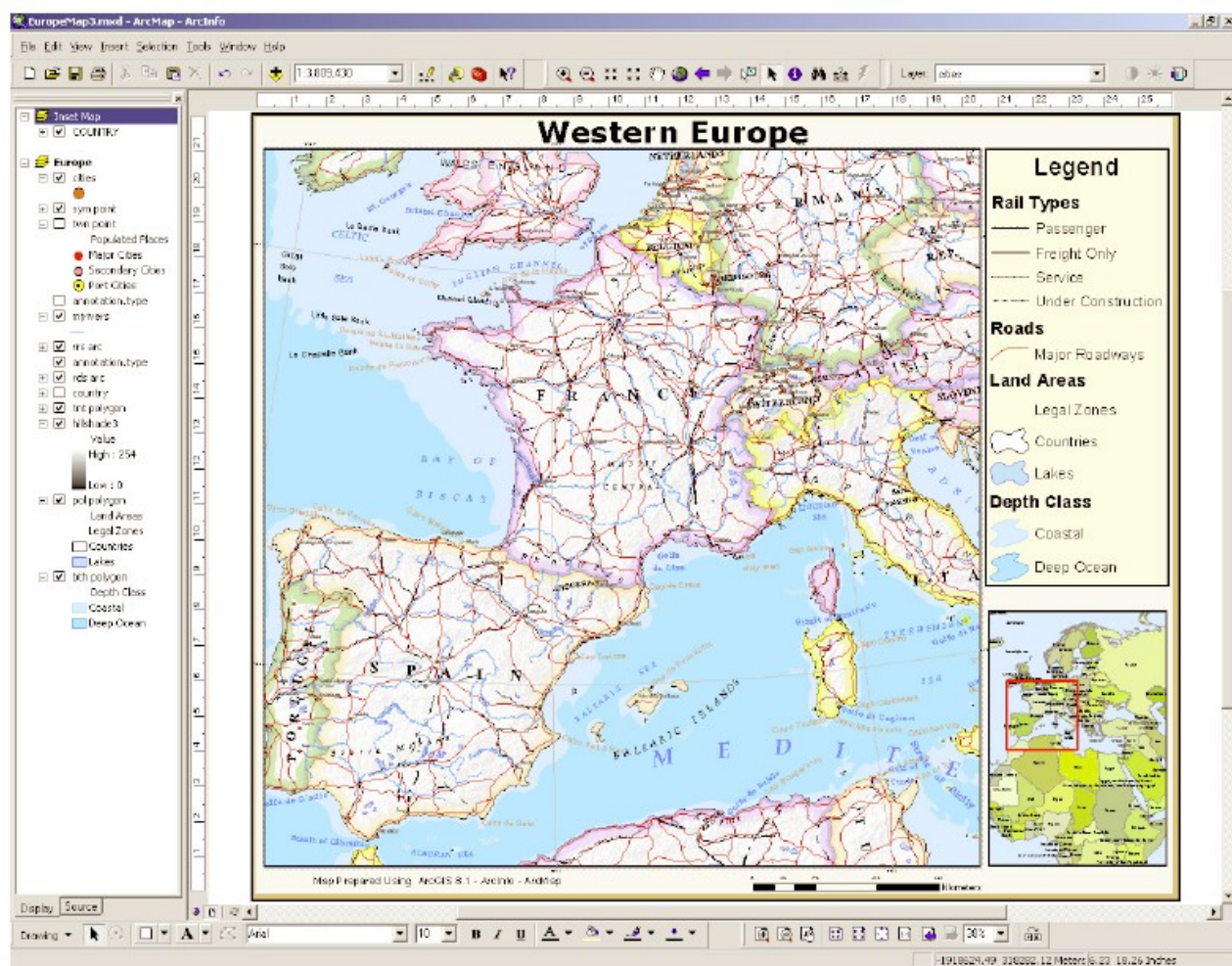


Рис.4.2. Интерфейс программы ARC/INFO.

ARC/INFO версии 7.2. для ПК с операционной средой Windows включает следующие модули COGO, GRID, TIN, NETWORK, ARCSAN, ARCEXPRESS, ARCPRESS, ARCSTORM, ARCFM, ARCSDE.

Программное обеспечение ARC/INFO включает средства для создания карт и их редактирования, ввода и преобразования данных, управления картографическими базами данных (рис.4.3), наложения карт и пространственного анализа, диалогового отображения и запроса адресного геокодирования, моделирования поверхностей и их отображения, построения карт по данным геодезической съемки, решение задач земельного кадастра, управление распределением земельных участков и др.

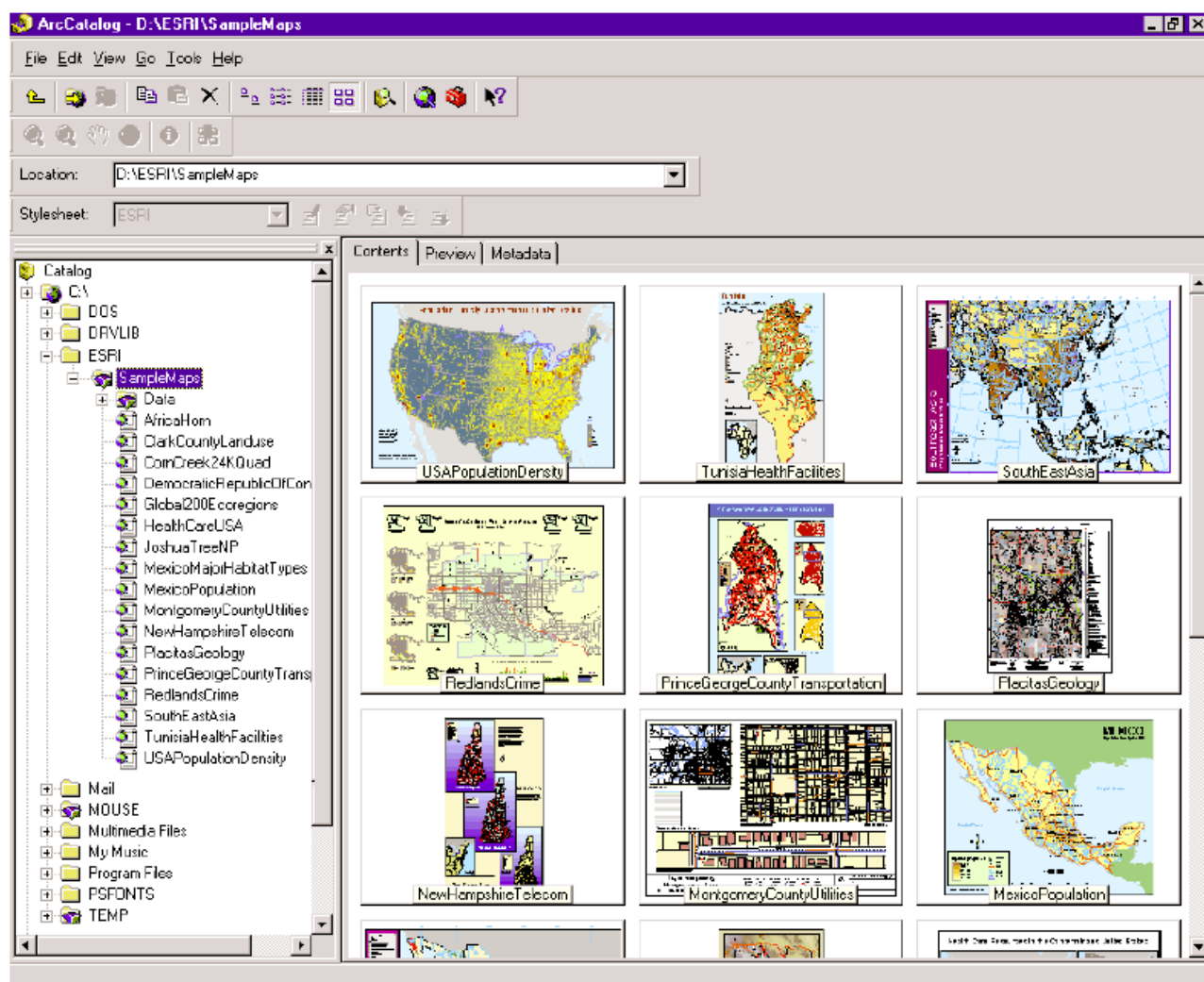


Рис.4.3. Каталог картографической информации ARC/INFO.

Для ARC/INFO характерна множественная открытость. Её функции одинаковы при работе под ОС UNIX и Windows. Существенным шагом к открытости является добавление в систему модуля ODE (Open Development Environment) – открытой среды разработки, который позволяет использовать стандартные среды программирования, такие как Visual Basic, Visual C++, Delphi, Power Builder на платформе Windows и C, Motif, Tcl/Tk – на платформе UNIX, для создания собственных интерфейсов и наборов функций для работы с ГИС.

Требования к ПК для работы с ARC/INFO: ОС Windows 2000/XP, 32 Mb RAM (минимум), место на диске: NTFS - 365Mb, RAM/FAT - 440 Mb, page files - 100Mb (минимум). Рекомендуются процессоры начиная от Pentium 133, 32Mb видеопамати, HDD 10-20 Gb, хороший большой монитор.

Программное обеспечение ARC/INFO способно использовать “плавающие рабочие места”. Это позволяет оптимально распределять вычислительные ресурсы среди пользователей ГИС в сети.

При помощи ПО ARC/INFO для рабочих станций можно управлять распределением географической информации по сети и в тоже время, поддерживать целостность базы данных. В состав ARC/INFO, начиная с версии 7.0, вхо-

дит менеджер пространственных баз данных ARCSTORM. Использование ARCSTORM позволяет обеспечить одновременный доступ большого числа пользователей в сети к картографическим базам в режиме одновременного редактирования карт, а не только в режиме получения информации. ARCSTORM обеспечивает блокировку на уровне картографических объектов, а не листов карты, причем одновременно блокируются и типологически связанные с редактируемым объектом и записи в таблицах атрибутов, в том числе и находящиеся во внешней по отношению к ARC/INFO базе данных. ARCSTORM также позволяет отслеживать всю историю изменений в картографической базе данных, как графических объектов, так и их атрибутов. Имеется возможность возврата к одному из предыдущих состояний базы данных. Это особенно полезно для таких задач, как земельный кадастр, управление распределением земельных участков.

Модуль DATABASE INTEGRATOR системы ARC/INFO для рабочих станций обеспечивает связывание картографических данных с табличными данными в самых мощных реляционных СУБД.

Таким образом, пользователь геоинформационной системы ARC/INFO имеет возможность использовать для хранения атрибутивной информации не только встроенную СУБД, входящую в комплект поставки ARC/INFO, но и такие СУБД как Oracle, Ingres, Informix, Sybase. Подключение к базам данных в этих системах происходит на уровне пользовательских команд без необходимости программирования. Помимо указанных систем, с помощью специальных средств разработчика возможно подключение и других внешних SQL СУБД.

ARC/INFO для рабочих станций является одновременно как системой для конечного пользователя ГИС с удобным графическим интерфейсом, диалоговыми системами меню и системой контекстных подсказок, так и мощным инструментальным средством разработчика. Программное обеспечение ARC/INFO для рабочих станций включает ГИС-язык четвертого поколения AML. Пользователь легко и быстро может создавать собственные макрокоманды и удобные многооконные интерфейсы и меню, а также разрабатывать собственные сложные прикладные системы для решения специфических задач. Разработчик может, например, реализовать в среде ARC/INFO свои математические модели сложных процессов, таких как распространение загрязнения в природной среде или развития лесного пожара, так что пользователь будет иметь возможность интерактивно работать с этой моделью, используя картографическое представление для отображения результатов и управления моделью. Пользователи могут применять пиктограммы, кнопки выбора и управления, прокрутку, скользящие линейки и другие графические средства.

Пакет включает усовершенствованный пользовательский интерфейс ARCTOOLS, который работает с помощью экранных форм меню. С версии 7.0 добавлены новые средства ARCTOOLS для целей редактирования, запроса/просмотра данных, сетевого моделирования поверхностей, моделирования на регулярной сетке. Поскольку весь графический интерфейс реализован на макроязыке ARC/INFO AML, и пользователю предоставляется библиотека исходных текстов этих макросов, то при необходимости интерфейс может быть адаптирован и расширен для специально разработанных приложений.

С версии 7.0 модель данных ARC/INFO расширена для поддержки класса обобщенных объектов, а именно площадных объектов, называемых регионами. Регионы напоминают концепцию “маршрута”, используемую в ARC/INFO для группировки линий. Регионы дают возможность прямого моделирования перекрывающихся полигонов и классов множественных площадных объектов, которые имеют общие геометрические части, без необходимости перестройки топологии и выполнения оверлейных операций.

С версии 7.0 расширены возможности модуля ARCEDIT. Усовершенствования включают: прямое редактирование полигонов и регионов (областей), интерактивное построение топологии, улучшенные средства редактирования трасс, непосредственная визуальная обратная связь с динамическим перемещением графического курсора, возможность редактирования групп объектов за одну операцию. Эти расширения упрощают использование ARCEDIT и ускоряют работу.

ARC/INFO для рабочих станций придерживается современных вычислительных стандартов и стандартов разработки программного обеспечения, таких как:

- Структурное программирование.
- Операционные системы UNIX и Windows NT/2000/XP.
- Архитектура реляционной базы данных с SQL.
- Коммуникационные стандарты, такие как Ethernet, TCP/IP, NFS, NCS, SNA.
- Макроязык AML – ГИС-язык четвертого поколения.
- Стандарты обмена данными – Digital Line Graphs (DLG), Integrated Geographic Encoding and Referencing (TIGER), Dual Independent Map Encoding (DIME), PostScript, AutoCAD Data Exchange File (DXF) и др.
- Поддержка технологического стандарта графики для всех современных терминалов, дигитайзеров, и соответствующей графической периферии с использованием стандартов VCGL, HPGL, HPGL2 и др.
- Интеграция с передовыми коммерческими системами управления базами данных с помощью DATABASE INTEGRATOR.

Модуль ARC/INFO COGO

Модуль напрямую связывает технологию ГИС с программными средствами, используемыми для управления земельным кадастром, данными геодезических съемок, контроля за паспортами земельных участков, составления карт-основ для инженерных и кадастровых целей. Модель данных ARC/INFO COGO расширяет определения линии, кривой, точки и области для включения описательной информации, такой как измерение расстояния, угол, азимут и площадь. Эта информация становится атрибутом линии, кривой, площади или точки.

При помощи ARC/INFO COGO можно проводить следующие работы:

- Управление земельным кадастром.
- Оценка собственности.
- Создание базовых карт для кадастров и инженерных целей.
- Контроль за развитием.

Модуль ARC/INFO GRID

Этот модуль предназначен для расширения возможностей растрового моделирования в системе ARC/INFO и превращает её в интегрированную растрово-векторную ГИС. GRID предоставляет мощный набор инструментов для анализа и манипулирования непрерывно распределенными признаками, числовыми и качественными, которые эффективно представлять в виде регулярных моделей. Модуль GRID может быть использован в таких областях как комплексный анализ непрерывных признаков и моделирование сложных процессов. GRID может применяться в области гидрологического анализа, геологического прогнозирования, анализа расстояний, многомерного статистического анализа пространственных данных, оптимизация выбора трассы с использованием стоимостной поверхности.

Модуль ARC/INFO TIN

Этот модуль является функционально полной системой моделирования топографических поверхностей для анализа и отображения непрерывных географических явлений, например, рельефа местности, а также физических поверхностей, таких как уровень шума, плотность населения, геофизические поля.

Название TIN расшифровывается как нерегулярная триангуляционная сеть (Triangulated Irregular Network). Модель данных TIN является наиболее удобным и эффективным способом представления поверхностей в трехмерном пространстве и обеспечивает высокую эффективность применения TIN. Она полностью интегрирована в среду ARC/INFO, поверхности могут быть построены как в виде триангуляционной сети, так и в виде регулярной матрицы точек с использованием в качестве исходных данные по нерегулярной сети точек, данные, заданные в виде карт изолиний и другие.

Модуль ARC/INFO NETWORK

Модуль NETWORK предназначен для работы с сетями типологически связанных объектов (трубопроводы, линии коммуникаций, водотоки и дороги), чтобы максимально эффективно оценивать и управлять ресурсами, распределенными по сетям и процессами в таких сетях. Модуль служит мощным аналитическим средством для моделирования реальных сетей, таких как улицы, трубопроводные системы, телефонные линии и линии электросвязи; для поиска объекта по его адресу (привязка табличных данных к географическим объектам). Модуль обеспечивает выполнение двух основных категорий функций: пространственный анализ географических сетей и поиск объекта по его почтовому адресу (адресное геокодирование). NETWORK позволяет: рассчитывать оптимальные маршруты движения транспорта, места размещения объектов, оптимизировать районирование с учетом доступности территорий и объектов по дорожной сети.

Модуль ARC/INFO ARCSCAN

ARCSCAN предназначен для ввода картографических данных со сканеров. Включает средства создания векторной базы данных путем сканирования растровых изображений, предварительной обработки растровых изображений, растрово-векторный редактор, интерактивный конвертор из растровой формы в векторную, вывод растровых изображений на периферийные устройства и в форматные файлы.

Модуль ARC/INFO ARCPRESS

Это программный растеризатор – система, преобразующая векторную, растровую или смешанную векторно-растровую графику в формат растрового устройства вывода, растр заданного разрешения и размера. Этот продукт, по существу, является независимой системой, а не модулем расширения ARC/INFO, хотя лицензируется по тому же принципу, что и ARC/INFO. ARCPRESS обеспечивает быструю, в большинстве случаев в разы, и более качественную распечатку растровых и растрововекторных карт и изображений на растровых устройствах вывода типа струйных и электростатических плоттеров. С векторными (перьевыми) плоттерами ARCPRESS не работает.

Модуль ARC/INFO ARCSDE

ARCSDE – обеспечивает многопользовательскую работу с большими объемами пространственных данных. В состав ARCSDE входит программа Spatial Database Engine (SDE) для систем управления реляционными базами данных (СУБД) и сервер SDE for Coverages для работы с shapefile, покрытиями и данными, которые поддерживаются в подсистеме управления пространственными данными ARC/INFO LIBRARIAN и модуле ARCSDE.

ARCSDE позволяет более эффективно работать с массивами накопленных в ARC/INFO данных, используя открытую технологию SDE с добавленными функциями доступа других клиентов к базам данных. Через ARCSDE все пользователи ARCVIEW GIS, MapObjects и AutoCAD могут обратиться к данным всех типов, которые поддерживаются продуктами ESRI. SDE поддерживает работу в режиме клиент/сервер в неоднородных сетях через протокол TCP/IP.

4.5 Программный пакет ARCVIEW GIS 3.1

ARCVIEW GIS – система, которая предназначена для отображения, редактирования, пространственного анализа, поиска и управления геопространственными данными. Это программное средство, как и ARC/INFO, разработано фирмой ESRI. На рис.4.4. показан интерфейс программы ARCVIEW GIS.

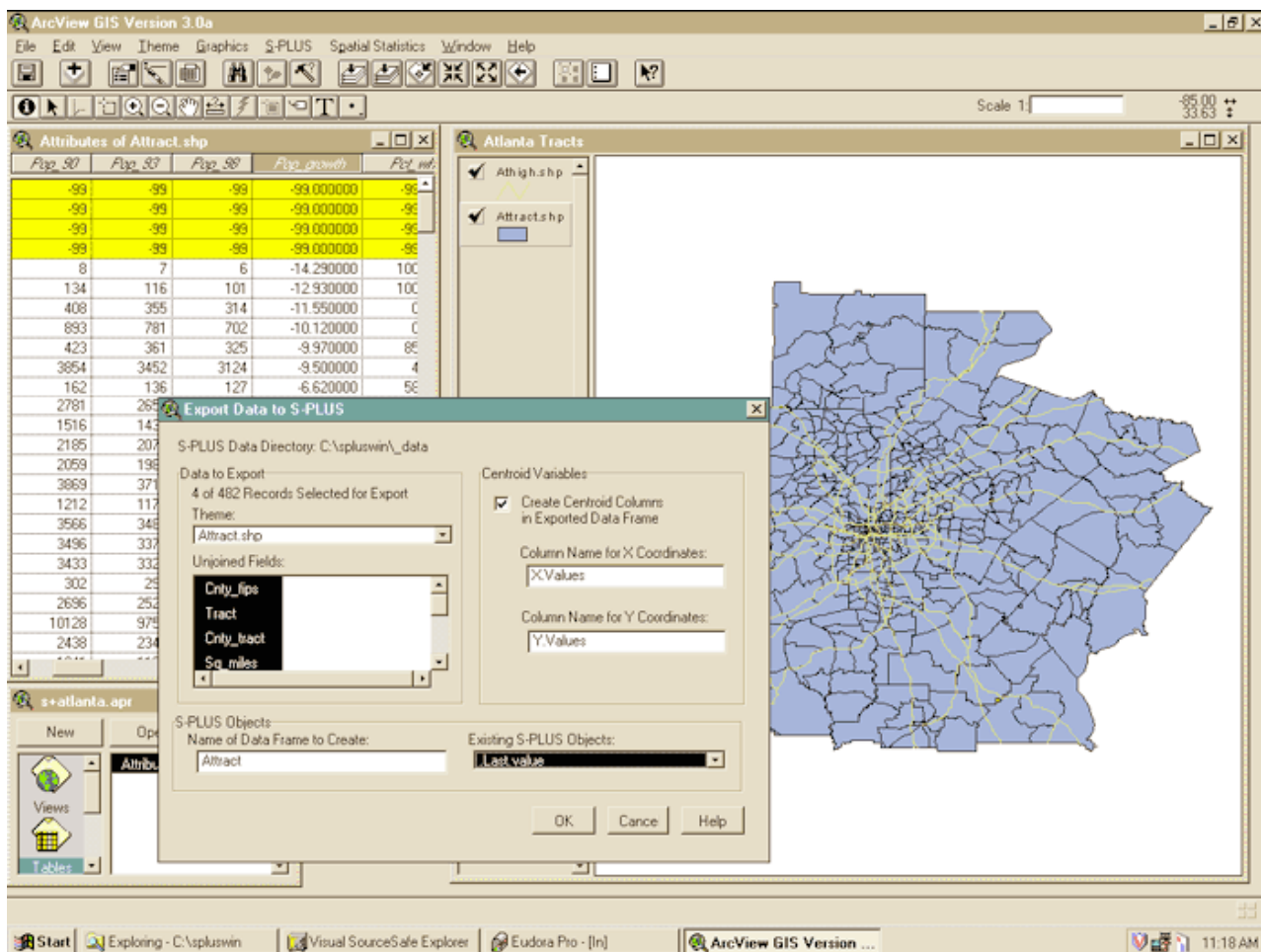


Рис.4.4. Интерфейс программы ARCVIEW GIS.

Многие пользователи программных продуктов ESRI для построения и управления своими географическими базами данных используют ARC/INFO, а для расширенной визуализации данных и их анализа применяют ARCVIEW. Для дальнейшего упрощения взаимодействия этих двух продуктов в ARCVIEW GIS 3.1 добавлены новые линейные символы, предназначенные для лучшей совместимости картографических отображений ARC/INFO и ARCVIEW. Кроме того, теперь возможен импорт в ARCVIEW многослойных и сложных линейных символов, имеющих в ARC/INFO.

Одна из привлекательных особенностей ARCVIEW GIS – включение в пакет программ-подсказчиков (Мастеров). Эти подсказчики облегчают использование множества новых инструментов и полезны как для новичков, так и опытных пользователей. Добавлены инструменты для создания координатных сеток и рамок карты (управление интервалами, типами линий, типом рамок).

Средства геообработки и анализа ARCVIEW позволяют проводить такие сложные пространственные операции с географическими данными как создание буферных зон вокруг картографических объектов, вырезка, слияние, пересечение, объединение тем и присвоение данных по местоположению.

К другим усовершенствованиям относятся расширение диапазона поддерживаемых дат (в промежутке от 5 млн. 800 тыс. лет до нашей эры до 5 млн. 800 тыс. лет нашей эры, что иногда требуется для геологических, археологических

и т.п. приложений), возможность оцифровки карт на дигитайзере в потоковом режиме.

Ключевые особенности ARCVIEW GIS:

- Удобный и понятный интерфейс
- Доступ к множеству типов данных
- Объединение диаграмм, карт, таблиц и графики
- Мощные средства визуализации карт
- Усиленная функциональность создания отчетов
- Обновление данных “на лету”
- Исключительные возможности анализа
- Адресное геокодирование
- Развитая среда редактирования
- Интеграция снимков, картографических данных, данных САПР, таблиц и SQL баз данных
- Клиент/серверный доступ к хранилищам данных
- Встроенная программа быстрого обучения
- Простые в использовании инструменты создания текста и размещения надписей
- Полная настраиваемость
- Собственная встроенная среда разработки Avenue
- Встроенная система интерактивной справки

4.6. AutoCAD Map 2000

Высокоточное программное обеспечение для создания цифровых карт и осуществления геоинформационного анализа, включающее все функциональные возможности базового продукта AutoCAD. Содержит все необходимые средства и эффективные функции для изготовления картографической основы и обработки географической информации, рис.4.5. Поддерживает любые графические форматы, осуществляет экспорт данных во все популярные программы обработки географической информации. Обеспечивает мгновенное получение дополнительных данных для геоинформационного проекта через сеть.

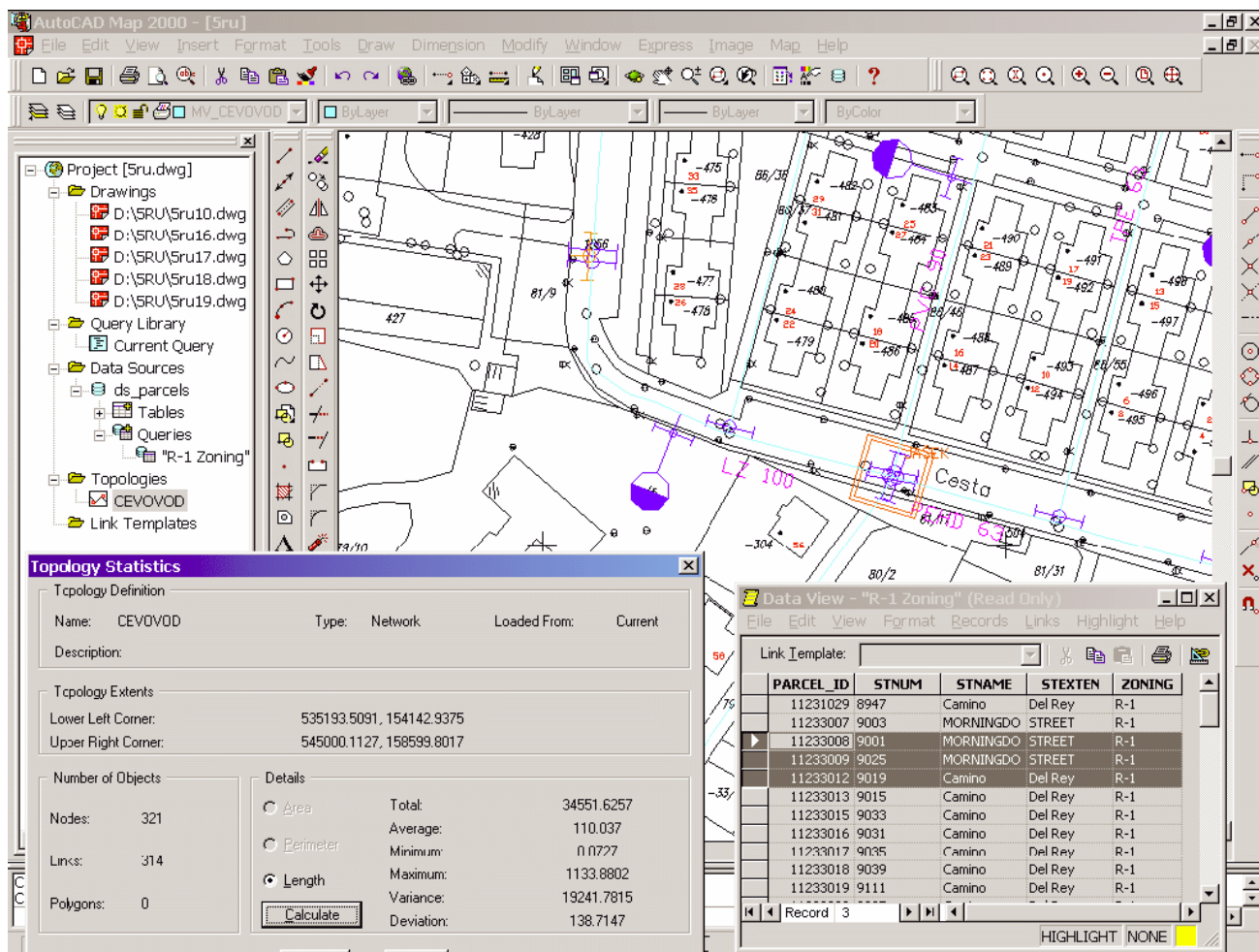


Рис.4.5. Рабочее окно программы AutoCAD Map 2000.

AutoCAD Map 2000 предоставляет разработчикам более 2 тысяч глобальных координатных систем (более 100 из них новые). AutoCAD Map 2000 дает наилучшие инструменты для быстрого и точного скалывания карт с бумажных носителей. Скалывание карт значительно ускоряет перевод бумажных карт в цифровую форму. Программное обеспечение включает мощные средства для формирования запросов, изменения свойств, пространственного анализа и отличное управление выводом на печать. Благодаря встроенным функциям Интернет AutoCAD Map 2000 приобрел совершенно новые возможности.

AutoCAD Map - высокоточное программное обеспечение для специалистов в области картографии и геоинформационных систем в сочетании с неограниченным доступом к данным через сеть Интернет. При решении геоинформационных и картографических задач AutoCAD Map опирается на мощные возможности базового продукта AutoCAD.

4.11. Программные продукты MapInfo

На сегодняшний день основными программными продуктами компании MapInfo являются:

- MapInfo Professional – полнофункциональная геоинформационная система, рис.4.6;
- MapBasic – среда программирования для MapInfo Professional;

- MapInfo SpatialWare – технология управления пространственной информацией в БД SQL Server/Informix;
- MapInfo MapX – библиотека разработчика приложений;
- MapXtreme – программное обеспечение для разработки картографических приложений для Intranet или Internet.

В дополнение к традиционным для СУБД функциям, ГИС MapInfo Professional позволяет собирать, хранить, отображать, редактировать и обрабатывать картографические данные, хранящиеся в базе данных, с учетом пространственных отношений объектов.

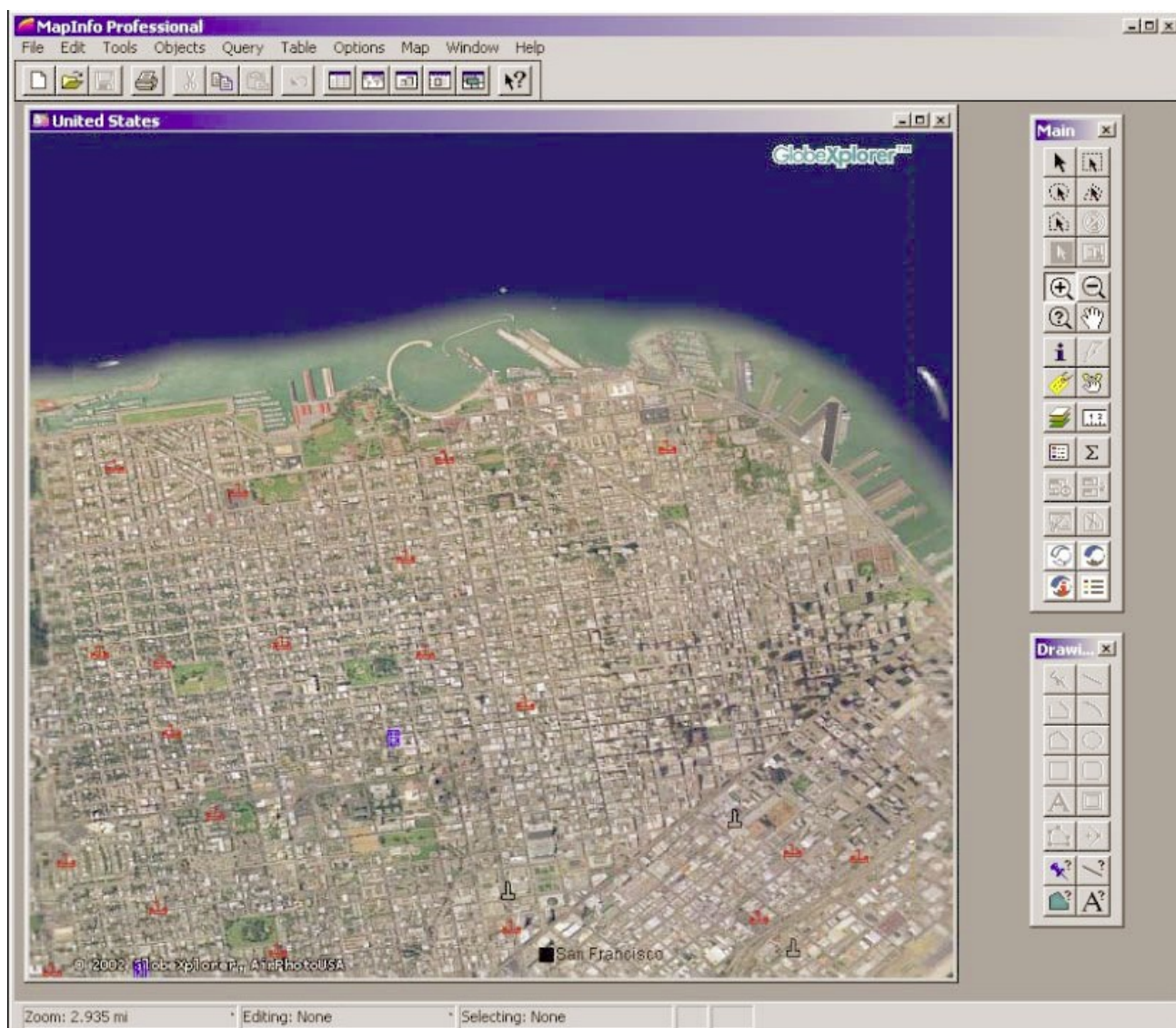


Рис.4.6. Интерфейс ГИС MapInfo.

Источники данных MapInfo:

- Обменные векторные форматы САПР и геоинформационных систем: AutoCAD (DXF, DWG), Intergraph/MicroStation Design, ESRI Shape файл, ARC/INFO Export, а также растровые карты в форматах GIF, JPEG, TIFF, PCX, BMP, MrSID, PSD, ECW, BIL (снимки SPOT) и GRID (GRA, GRD). В MapInfo можно отображать данные, полученные с помощью GPS и других электронных геодезических приборов.

- Файлы Excel, Access, xBASE, Lotus 1-2-3 и текстовые, в которых кроме атрибутивной информации могут храниться координаты точечных объектов.

- ГИС MapInfo может выступать в роли “картографического клиента” при работе с такими известными СУБД, как Oracle и DB2, поскольку поддерживает эффективный механизм взаимодействия с ними через протокол ODBC. Более того, доступ к данным из СУБД Oracle возможен и через внутренний интерфейс (OCI) этой базы данных.

В одном сеансе работы одновременно могут использоваться данные разных форматов. Встроенный язык запросов SQL, благодаря географическому расширению, позволяет организовывать выборки с учетом пространственных отношений объектов, таких как удаленность, вложенность, перекрытия, пересечения, площади объектов и т.п. Запросы к базе данных можно сохранять в виде шаблонов для дальнейшего использования. В MapInfo имеется возможность поиска и нанесения объектов на карту по координатам, адресу или системе индексов.

Способы представления данных:

Карта и список. В окне Карты доступны инструменты редактирования и создания картографических объектов, масштабирования, изменения проекций и другие функции работы с картой. Связанная с картографическими объектами атрибутивная информация хранится в виде таблиц, данные из которых можно представить в виде графиков и диаграмм различных типов.

Легенда. В окне Легенды отображаются условные обозначения объектов на карте и тематических слоях.

Отчет. В окне Отчета предоставляются средства масштабирования, макетирования, а также сохранения шаблонов многолистных карт. Работая с MapInfo, можно формировать и распечатывать отчеты с фрагментами карт, списками, графиками и надписями. При выводе на печать MapInfo использует стандартные драйверы операционной системы.

Тематические карты. Для наглядного представления и картографического анализа пространственных данных в ГИС MapInfo используется тематическое картографирование. MapInfo предлагает следующие методы построения тематических карт: диапазоны значений, столбчатые и круговые диаграммы, градуированные символы, плотность точек, отдельные значения, непрерывная поверхность. Сочетание тематических слоев и методов буферизации, районирования, слияния и разбиения объектов, пространственной и атрибутивной классификации позволяет создавать синтетические многокомпонентные карты с иерархической структурой.

Интеграция с другими приложениями:

ГИС MapInfo открывает большие возможности для разработчиков геоинформационного программного обеспечения. Использование современных методов взаимодействия между Windows приложениями позволяет интегрировать окно Карты MapInfo в программы, написанные на языках Delphi, Visual Basic, C++, PowerBuilder и др. Совместное использование MapInfo и среды разработки MapBasic дает возможность каждому создавать специфические приложения для решения конкретных прикладных задач.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

Занятие 1.

Знакомство с ArcView GIS

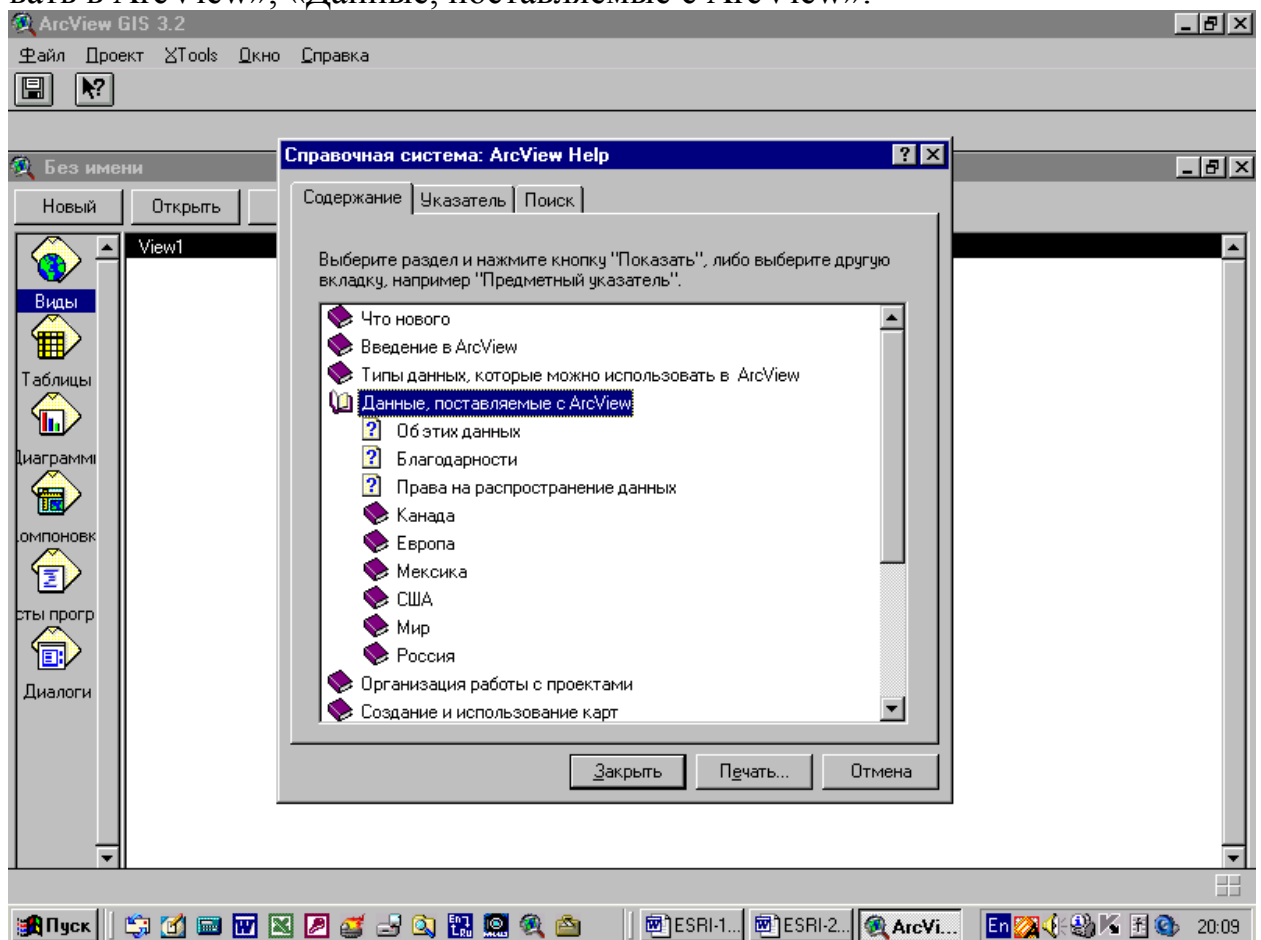
Работа со слоями карт.

1. Запустите программу ESRI, воспользуясь ярлыком ArcView GIS на рабо-



чем столе.. Ярлык для arcview.lnk

Познакомьтесь со справочной системой, воспользуясь меню «справка»/ «разделы справки»/ «Введение в ArcView», «Типы данных которые можно использовать в ArcView», «Данные, поставляемые с ArcView».



Подготовьте файл в редакторе Word «Словарь понятий ArcView». Запишите в него понятия «Вид», «Тема», «Проект», «Шейп-файл», «Компоновка».

2. Откройте файл C:/esri/esridata/world/country – на экране монитора отобразится картосхема стран мира. Каждое государство будет иметь индивидуальную раскраску.
3. Создайте шейп-файл – Тема/Преобразовать в шейп-файл и сохраните в своей папке под именем «страны мира».

- 4 Выполнить редакцию легенды- осн. меню - Тема/Редактировать легенду/ Тип легенды – «отдельный символ». Двойной клик по символу – вызов редактора легенды. Выбрать в меню раскраска (символ «заливка») неокрашенный прямоугольник. Нажать клавишу «применить».
5. Добавка слоев карты. Меню Вид/Добавить тему/ C:/esri/esridata/world/geogrid – на экране отобразятся линии градусной сетки географических координат. Что это за линии?
6. Скройте линии geogrid убрав значок «v» с легенды.
7. Добавьте в вид слои отображающие реки и озера, указав соответствующие шейп-файлы rivers.shp, lakes.shp.
8. Сохраните проект под своей фамилией в своей папке.
9. Создайте новый вид с картой США, выполнив те же операции. (сверните этот вид и создайте новый для карты США). Слои карты США находятся в папке C:/esri/esridata/USA. Подготовьте карту США со слоями границы штатов, города, реки, озера, железные дороги и автодороги.

Занятие 2.

Знакомство с ArcView GIS

Подготовка картограмм и картодиаграмм. Работа с таблицами.

1. Запустите программу ESRI, воспользуясь ярлыком ArcView GIS.



Ярлык для arcview.lnk

2. Откройте свой проект.

Подготовка картограммы плотность населения в США.

3. Создайте новый вид в который добвьте темы C:/esri/esridata/USA/states – и на экране монитора отобразится картосхема США. Каждый штат будет иметь индивидуальную раскраску.
 4. Создайте шейп-файл – Тема/Преобразовать в шейп-файл «Население США» и сохранить в своей папке.
 - 5 Выполнить редакцию легенды- осн. меню - Тема/Редактировать легенду/ (или двойной клик по символу – вызов редактора легенды) Выбрать в меню - Тип легенды – «цветовая шкала».
 6. Выбрать в меню – «Поле классификации» - Pop90_sqmi – (Плотность населения на квадратную милю)
 7. Выбрать в меню – «Цветовые линейки» - «Красный». Просмотрите полученные результаты – «Применить».
 8. Измените шкалу легенды - для большей дифференциации показателя: в столбце «значения» редактора легенды указать показатели. 1-25, 25-50, 50-100, 100-150, 150-250, 250-500, 500-1000, 1000-5000. Дополнительные значения вводятся кнопкой «+» внизу таблицы.
 9. Выбрать в меню – «Цветовые линейки» - «Оранжевый»
 10. Просмотрите результаты.
- Подготовка картодиаграммы –
1. Создайте шейп-файл «структура населения», добавьте его в тему
 - 2 Выполнить редакцию легенды - осн. меню - Тема/Редактировать легенду/ (или двойной клик по символу – вызов редактора легенды) Выбрать в меню - Тип легенды – «локализованная диаграмма». Для построения диаграммы добавит поля «Мужчины» и «Женщины» (“males”, “females”)
 3. Используя кнопку «Свойства» «Редактора легенды» укажите минимальный и максимальный размер диаграммы учитывая размер карты.
 4. Просмотрите полученные результаты.
 5. Используя кнопку «Символ фона» «Редактора легенды» сделайте фон прозрачным.
 6. Просмотрите полученные результаты.
 - 7 Сохраните проект.

* для успешно выполнивших задания:

1. Выполните экспорт полученной карты в файл графического формата (bmp) и просмотрите его в графическом редакторе (Painter)
2. В меню «Вид» выполните «компоновку» карты. Для решения вопросов воспользуйтесь «Справкой».

Занятие 3.

ArcView GIS

Работа с таблицами. Компоновка карты. Экспорт карты. Подготовка карты к печати в графическом и текстовом редакторе

1. Запустите программу ESRI, воспользуйтесь ярлыком ArcView GIS.



Ярлык для arcview.lnk

2. Откройте свой проект.

Создание картограммы «Естественный прирост населения в Амурской области»

3. Создайте новый вид. Используя меню Вид / Свойства назовите будущую карту «Амурская область».
4. Постройте схему районов Амурской области Вид/добавить тему/ найти и открыть файл Am_reg.shp
5. Откройте таблицу этого шейп-файла (воспользуйтесь кнопкой или меню)
6. В таблицу необходимо внести данные по естественному движению населения по адм. районам за 2000 г. Исходные показатели в Таблице 1 (см след страницу).
7. Начать редактирование. – Таблица/Начать редактирование
8. Редактирование/ Добавить поле
9. Имя поле – Ввести gain (англ. - прирост), Тип поля – числовое, Ширина – оставьте 16, Десятичные разряды – сделайте 1.
- 10 Внести данные в столбец из таблицы 1, предварительно включив режим ре-



дактирования – кнопку

11. После занесения и проверки данных Таблица/Прекратить редактирование.
12. Отредактируйте легенду, используя свою шкалу.
13. Цветную шкалу замените черно-белой штриховкой.
14. Выполните компоновку карты.
15. Перенесите карту в графический редактор. Добавьте нумерацию районов.
16. Завершите обработку картограммы в текстовом редакторе. Образец готовой картограммы смотри ниже.

Таблица 1

Естественный прирост, убыль (-) на 1000 человек населения

	1990	1995	1997	1998	1999	2000	Ранг
Всего по области	7,5	-1,9	-2,4	-1,7	-3,3	-4,1	
Благовещенск	7,9	-1,5	-1,2	-0,4	-1,2	-1,2	5
Белогорск	3,6	-4,4	-3,8	-4,1	-5,5	-6,6	21
Зея	5,6	-3,7	-2,5	-2,8	-3,8	-5,1	15
Райчихинск	2,2	-4,2	-5,9	-4,9	-7,4	-7,8	26
Свободный	2,7	-7,0	-7,0	-6,2	-9,5	-10,8	27

Тында	13,4	3,7	3,5	3,4	0,4	0,8	1
Шимановск	6,5	0,1	-3,8	-3,0	-6,7	-7,1	24
Архаринский	6,5	-1,7	-3,7	-2,5	-3,4	-5,9	19
Белогорский	10,7	0,5	0,3	0,6	-0,1	-2,1	6
Благовещенский	5,7	0,1	-5,4	-2,7	-2,8	-3,1	9
Бурейский	6,8	-2,7	-4,7	-2,0	-4,1	-6,6	21
Завитинский	7,6	-0,6	-0,7	-0,2	-3,3	-4,5	12
Зейский	9,5	-2,3	-3,0	-3,2	-5,0	-6,2	20
Ивановский	8,5	-0,1	-0,8	-1,5	-3,0	-5,0	14
Константиновский	12,1	1,3	0,0	1,5	1,8	0,1	3
Магдагачинский	2,4	-4,9	-4,3	-2,7	-6,1	-7,7	25
Мазановский	7,6	-1,8	-3,1	-2,4	-3,7	-3,4	11
Михайловский	8,9	-0,4	-4,3	-2,6	-1,7	-3,2	10
Октябрьский	11,1	-1,2	-1,2	-0,9	-1,8	-5,3	16
Ромненский	13,1	-3,9	-2,6	-2,7	-4,9	-4,1	12
Свободненский	14,9	-0,9	-6,1	-3,0	-5,1	-6,7	22
Селемджинский	11,1	2,7	-1,1	-0,9	-2,4	-1,1	4
Серышевский	10,9	0,8	1,2	1,5	0,1	-2,3	7
Сковородинский	5,3	-4,8	-4,0	-3,7	-5,1	-4,8	13
Тамбовский	7,7	-1,9	-3,7	-2,0	-2,2	-2,6	8
Тындинский	10,6	1,7	1,9	1,7	0,0	0,2	2
Шимановский	8,0	-4,6	-9,3	-2,3	-4,0	-6,9	23

Занятие 4.

ArcView GIS

Контрольные задания.

1. Подготовка картограммы «Размещение населения». Показать способом картограммы плотность населения по странам мира. На этой же карте указать города миллионеры с населением: 1 - 1-2 млн ч., 2 - 2-5 млн ч., 5-10 млн.ч., 4 – более 10 млн.ч.
2. Подготовить картосхему транспортной сети одного из федеральных округов Российской Федерации (по выбору студента).
3. Подготовить картограмму, отражающую изменение коэффициента рождаемости населения по административным районам Амурской области с 1990 по 2000 гг. (по данным таблицы)

Число родившихся на 1000 человек населения /человек

	1990	1995	1997	1998	1999	2000	Ранг
Всего по области	16,0	10,1	9,4	9,7	9,2	9,4	
Благовещенск	15,4	10,0	9,3	9,3	9,3	9,8	8
Белогорск	14,4	9,6	9,2	9,3	9,2	9,4	12
Зея	13,7	8,7	8,2	9,0	9,4	7,5	20
Райчихинск	13,1	10,4	8,5	9,1	8,3	8,8	15
Свободный	12,0	7,6	8,1	8,5	7,1	7,5	20
Тында	16,8	11,0	9,9	9,4	7,7	8,2	18
Шимановск	15,7	9,4	8,1	8,5	7,7	8,0	19
Архаринский	16,0	9,7	8,2	10,0	9,2	8,9	14
Белогорский	18,8	12,0	11,2	11,9	11,2	11,4	3
Благовещенский	14,8	11,8	9,5	9,9	11,0	9,5	11
Бурейский	17,5	10,1	8,9	9,4	8,8	9,3	13
Завитинский	15,3	10,3	10,2	11,0	9,3	9,4	9
Зейский	16,7	10,1	8,7	10,3	9,7	9,6	10
Ивановский	17,2	11,4	10,9	9,7	9,8	9,7	9
Константиновский	19,2	13,1	11,6	11,0	12,2	11,5	2
Магдагачинский	14,3	9,6	9,5	10,7	9,2	9,7	9
Мазановский	17,2	10,9	10,3	10,3	10,3	9,4	12
Михайловский	18,0	10,8	9,6	9,9	10,9	12,0	1
Октябрьский	20,2	11,0	10,0	10,3	9,7	9,4	12
Ромненский	21,4	9,6	9,4	9,7	8,3	8,6	16
Свободненский	25,9	11,3	10,6	11,9	10,7	12,0	1
Селемджинский	17,2	11,4	8,9	8,3	8,9	8,3	17
Серышевский	19,5	11,0	11,2	12,6	11,1	10,6	7
Сковородинский	15,9	11,6	10,7	11,4	10,0	11,1	5
Тамбовский	15,7	10,3	9,2	10,0	10,7	11,2	4
Тындинский	14,6	7,9	6,9	7,0	5,2	6,2	21
Шимановский	22,2	10,7	8,7	13,7	13,4	10,9	6

Все карты должны быть подготовлены к печати.

Занятие 5.

ArcView GIS

Работа с полигонами. Объединение полигонов. Пространственные операции.

1. Запустите программу ESRI, воспользуйтесь ярлыком ArcView GIS.

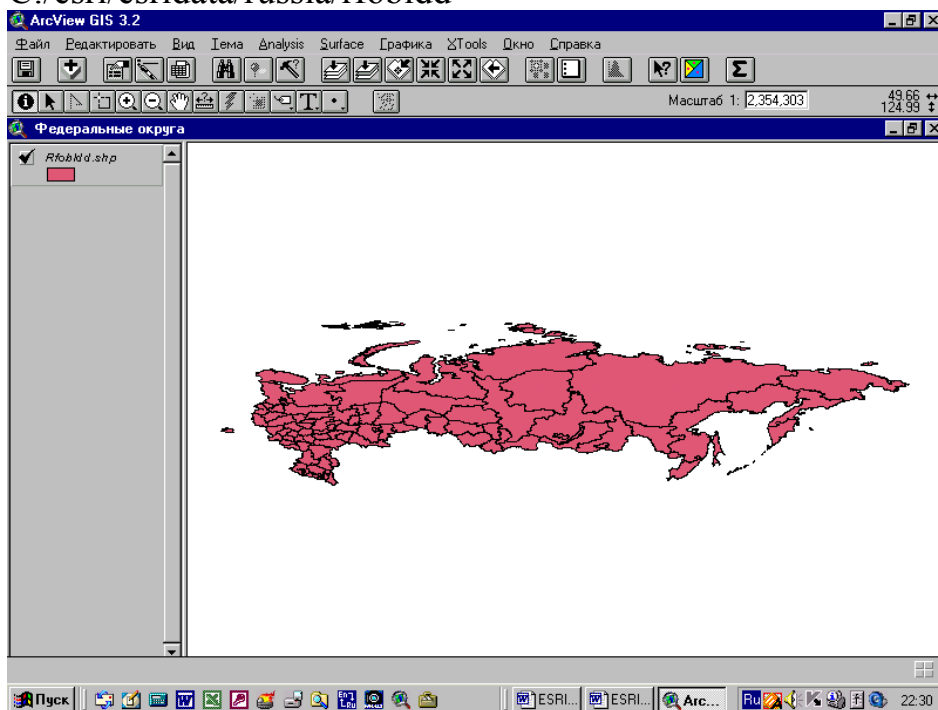


Ярлык для arcview.lnk

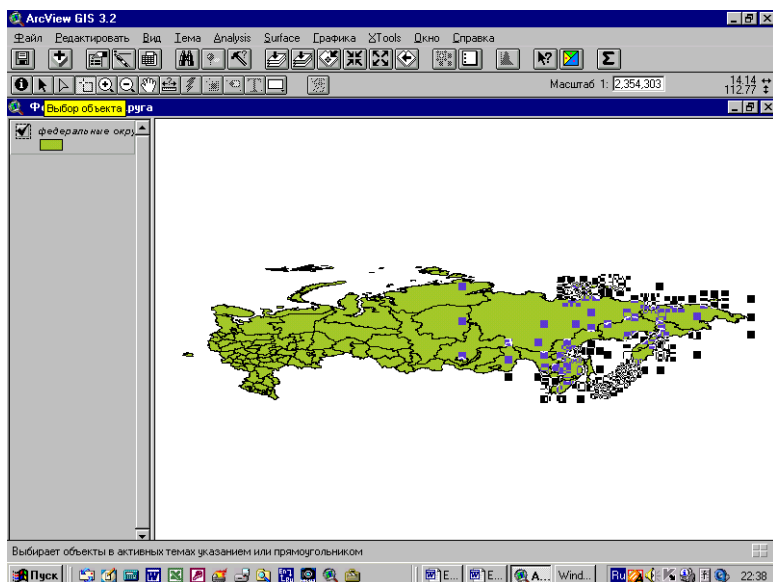
2. Откройте свой проект.

Создание картосхемы «Федеральные округа РФ»

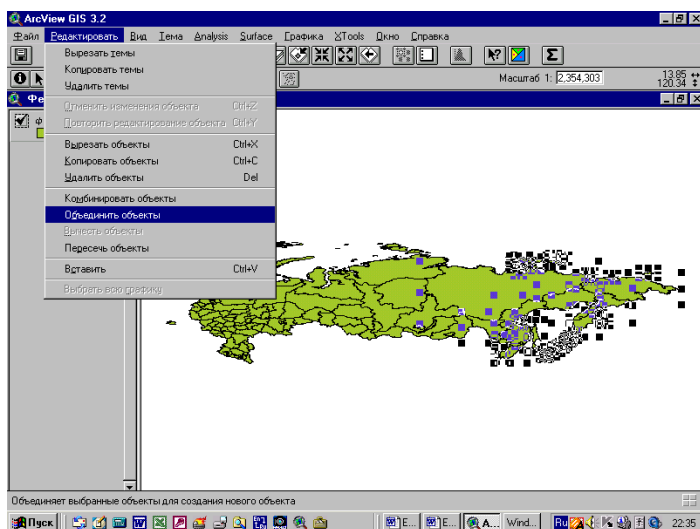
3. Создайте новый вид. Вид / Свойства назовите будущую карту «Федеральные округа».
4. Постройте картосхему «Федеральные округа РФ»- Вид/добавить тему/
C:/esri/esridata/russia/rfoblidd



5. Преобразуйте тему в шейп-файл – Тема/Преобразовать в шейп-файл сохраните в своей папке (можно под именем «Федеральные округа»).
6. Удалите исходную тему rfoblidd.
7. Главная строка меню – Тема/Начать редактирование/
8. Выделить на карте Дальний Восток используя инструмент «выбор объекта»



9. Выделите территорию ДВ используя левую кнопку «мыши». Все субъекты, входящие в Дальневосточный федеральный округ будут выделены.
10. Используя меню Редактировать/Объединить объекты. Произойдет слияние всех полигонов субъектов ДВ в один по границе округа.
11. Аналогично выполните схемы других Федеральных округов России. (Их состав можно уточнить по данным статистических справочников и по таблице «Население России» с которой Вы работали при изучении Excel/



13. Используя данные статистической таблицы, выполненной в Excel, которая находится в Вашей папке дополните таблицу вида данными по населению Федеральных округов и выполните карту (данные по вашему выбору). Можно использовать статистические справочники «Регионы России» и «Российский статистический ежегодник» на диске С.
14. Выполните компоновку карты.
15. Перенесите карту в графический редактор. Добавьте нумерацию округов. Отредактируйте легенду. Скопируйте в документ Word.

Занятие 6. Контрольная работа

1. Подготовить картосхему одного из административных районов Амурской области (можно по месту жительства).
2. Подготовить картограмму плотности населения США в 1999 году. (в расчете данных поля используйте инструмент «калькулятор», расположенный рядом со знаком «сумма»)
3. Подготовить картограмму отражающую изменение населения по штатам США за 1999-1990 гг.

*В картограммах США используйте национальные проекции.

The screenshot shows the ArcView GIS 3.2 interface. The 'Attributes' table for 'States.shp' is displayed, showing data for various US states. The 'Field Calculator' dialog box is open, showing the 'Pop99_sqmi' field being calculated as '[Pop99_sqmi] = [Pop99_sqmi]'.

State_name	State_fips	Sub_region	State_abbr	Pop1990	Pop1999	Pop90_sqmi	Pop99_sqmi	Households	Males	Females
Washington	53	Pacific	WA	4866692	5773907	72	0	1872431	2413747	2452945
Montana	30	Mtn	MT	799065	884214	5		306163	395769	403296
Maine	23	N Eng	ME	1227928	1248908	38		465312	597850	630078
North Dakota	38	W	ND					40878	318201	320599
South Dakota	46	W	SD					59034	342498	353506
Wyoming	56	MI	WY					68839	227007	226581
Wisconsin	55	E	WI					22118	2392935	2498834
Idaho	16	MI	ID					60723	500956	505793
Vermont	50	N	VT					10650	275492	287266
Minnesota	27	W	MN					47853	2145183	2229916
Oregon	41	Pc	OR					03313	1397073	1445248
New Hampshire	33	N	NH					11186	543544	565708
Iowa	19	W	IA					64325	1344802	1431953
Massachusetts	25	N	MA					47110	2888745	3127680
Nebraska	31	W	NE					02363	769439	808946
New York	36	MI	NY					39322	8625673	9364782
Pennsylvania	42	MI	PA					95966	5694265	6187376
Connecticut	09	N	CT					30479	1592873	1694243
Rhode Island	44	N	RI					77977	481496	521968
New Jersey	34	MI	NJ					94711	3735685	3994503
Indiana	18	E N Cen	IN	5544159	5936982	152		2065355	2688281	2855878
Nevada	32	Mtn	NV	1201833	1818259	11		466297	611880	589953
Utah	49	Mtn	UT	1722850	2135252	20		537273	855759	867091
California	06	Pacific	CA	29760021	33090214	189		10381206	14897627	14862394
Ohio	39	E N Cen	OH	10847115	11245293	263		4087546	5226340	5620775
Illinois	17	E N Cen	IL	11430602	12110024	203		4202240	5552233	5878360